

EDIVÂNIA MARIA GOURETE DUARTE

**ÁRVORES EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS: CICLAGEM DE
NUTRIENTES E FORMAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2011

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV

T

D812a
2011

Duarte, Edivânia Maria Gourete, 1971-
Árvores em sistemas agroflorestais : ciclagem de nutrientes
e formação da matéria orgânica do solo / Edivânia Maria
Gourete Duarte. – Viçosa, MG, 2011.
xiii, 120f. : il. (algumas col.) ; 29cm.

Inclui anexos

Orientador: Irene Maria Cardoso.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Plantas - Nutrição. 2. Solos florestais - Fertilização.
3. Humus. 4. Solos - Teor de compostos orgânicos.
5. Agrossilvicultura. 6. Biomassa vegetal. I. Universidade
Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 22. ed. 581.1335

EDIVÂNIA MARIA GOURETE DUARTE

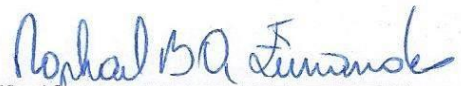
**ÁRVORES EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS: CICLAGEM DE
NUTRIENTES E FORMAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 29 de setembro de 2011.



Prof. Eduardo Sá Mendonça
(Coorientador)



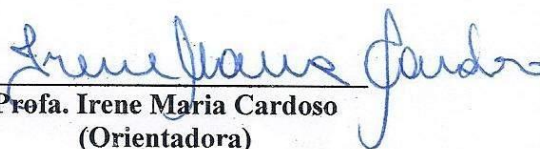
Prof. Raphael B. A. Fernandes
(Coorientador)



Prof. Teógenes Senna de Oliveira



Prof. Felipe Vaz Andrade



Profa. Irene Maria Cardoso
(Orientadora)

Às minhas filhas, Carolina e Sabrina.

Aos meus pais, Jaime e Perpétua.

Às minhas irmãs, Consola, Dora, Graça, Edi e Eli.

Aos meus irmãos, Eci Jaime, João Evangelista e José Antônio.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida.

Ao meu pai e amigo, a quem devo minha grande paixão pela natureza e pela agricultura sustentável.

À minha querida mãe, que me ensinou a dar os primeiros passos, sendo minha primeira professora que muito me auxiliou na busca e na construção do conhecimento, sendo também exemplo de força e superação.

Aos meus irmãos, meus cunhados e meus sobrinhos, pela amizade, pelo apoio e pelo incentivo nesta caminhada.

A João Batista, pelo apoio, mesmo distante.

A Irene, minha orientadora, pela confiança, pela amizade e pelo companheirismo.

Aos meus coorientadores Eduardo, Raphael e Ivo, que me oportunizaram muito aprendizado ao longo deste trabalho.

À equipe do Centro de Tecnologias Alternativas da Zona da Mata (CTA/ZM) e às organizações locais dos agricultores de Araponga e Divino, em especial aos Sindicatos dos Trabalhadores Rurais, por terem me propiciado oportunidade de trabalhar com uma linha de pesquisa tão envolvente e na qual tanto acredito.

Ao Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa e aos seus professores que muito contribuíram para a minha formação profissional e para a concretização deste trabalho.

Aos demais profissionais envolvidos no Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, os quais sempre me foram solícitos, em especial à Luciana e à Cláudia.

Aos laboratoristas, em especial àqueles que trabalham no Laboratório de Análises Florestais e Laboratório de Matéria Orgânica dos Solos, onde passei a maior parte do meu tempo durante os trabalhos.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela bolsa concedida e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pelo apoio financeiro ao projeto.

Aos colegas Rodrigo, André, Marino e Ricardo, pelo convívio harmonioso no laboratório e pelas contribuições profissionais.

A Lucas, Felipe, Mateus, Ludmila, Camila, Elislene, Diego e Marília que me auxiliaram nos trabalhos de campo e de laboratório.

A Martin, pela confecção do mapa da região.

Aos companheiros da pós-graduação, pelo convívio harmonioso e solidário.

Aos agricultores Ison, Ângelo e Dona Lurdes (*in memoriam*), João dos Santos e Santinha, Romualdo e Avanir, Alexandre e Josiane e Samuel e Rosa.

Aos amigos e amigas da Escola Família Agrícola Puris de Araponga.

Ao senhor Cosme (*in memoriam*), à senhora Amélia e a outros agricultores, pelo apoio recebido ao longo do trabalho.

BIOGRAFIA

EDIVÂNIA MARIA GOURETE DUARTE, filha de Jaime Miranda Duarte e Maria Perpétua Ferreira Duarte, nasceu em 07 de abril de 1971, em Araponga, MG.

Em 1991, ingressou no curso de Agronomia da Universidade Federal de Viçosa (UFV), colando grau em 1996.

Trabalhou por oito anos na região amazônica com agricultores familiares e ribeirinhos na região do Baixo Amazonas e nas regiões Transamazônica e Rio Xingu, conhecendo e experimentando um pouco da diversidade cultural que compõe o quadro da agropecuária brasileira.

Em agosto de 2005, iniciou o Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas na Universidade Federal de Viçosa, em nível de mestrado, concluindo-o em agosto de 2007 e, em seguida, iniciou o Doutorado na mesma instituição, concluindo-o em setembro de 2011.

Atualmente, compõe o quadro de professores do IFET Sudeste, Campus de Muriaé, onde ministra aulas ligadas ao tema Agroecologia para o Curso Técnico Integrado em Agroecologia.

SUMÁRIO

RESUMO.....	x
ABSTRACT.....	xii
INTRODUÇÃO GERAL.....	1
1. Sistemas agroflorestais e uso sustentável do solo.....	1
2. Os SAFs com café no contexto da Zona da Mata de Minas Gerais.....	2
3. O componente arbóreo e suas funções.....	4
4. A preferência dos agricultores por espécies nativas	6
5. Caracterização das áreas de SAFs onde se inserem as espécies estudadas.....	8
6. Identificando o problema de pesquisa	9
7. Selecionando as espécies potenciais	10
8. Hipótese e objetivo	11
9. Estrutura geral da tese.....	11
10. Referências.....	12
CAPÍTULO 1 - APORTE E QUALIDADE DE RESÍDUOS DE ESPÉCIES ARBÓREAS UTILIZADAS EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS.....	17
1. INTRODUÇÃO.....	17
2. MATERIAL E MÉTODOS	21
2.1. Área de estudo e espécies avaliadas.....	21
2.2. Caracterização das espécies estudadas.....	23
2.3. Aporte de resíduos aéreos	23
2.4. Coleta de material fresco.....	25
2.5. Teores de nutrientes e translocação interna	25
2.6. Aporte de nutrientes	26
2.7. Caracterização bioquímica dos resíduos	26
2.8. Análises dos dados	26
3. RESULTADOS	27

3.1. Porte das árvores	27
3.2. Aporte de resíduos.....	27
3.3. Teores de nutrientes e translocação.....	29
3.4. Conteúdo de nutrientes.....	33
3.5. Caracterização bioquímica dos resíduos	34
4. DISCUSSÃO	36
4.1. Porte das árvores	36
4.2. Aportes de resíduos	37
4.3. Teores de nutrientes e translocação.....	40
4.4. Conteúdos de nutrientes	42
4.5. Caracterização bioquímica dos resíduos	44
4.6. Liberação de nutrientes e proteção do solo	45
5. CONCLUSÃO	46
6. REFERÊNCIAS.....	47
CAPÍTULO 2 - IMPACTO DE RESÍDUOS DE ÁRVORES NATIVAS DA MATA ATLÂNTICA NA FORMAÇÃO DE FRAÇÕES ESTÁVEIS DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO	53
1. INTRODUÇÃO	54
2. MATERIAL E MÉTODOS	57
2.1. Local de estudo	57
2.2. Coleta dos resíduos e caracterização.....	58
2.3. Coleta e caracterização do solo a ser utilizado na incubação.....	59
2.4. Procedimentos da incubação	60
2.5. Coleta das amostras.....	61
2.6. Determinação da massa seca remanescente de resíduos	61
2.7. Evolução de C-CO ₂	61
2.8. Teores de C e N totais e das substâncias húmicas	62
2.9. Abundância de $\delta^{13}\text{C}$	62

2.10. Análises estatísticas.....	63
3. RESULTADOS	63
3.1. Caracterização dos resíduos	63
3.2. Massa seca remanescente de resíduos.....	63
3.3. Evolução de C-CO ₂	65
3.4. Teores de carbono e nitrogênio totais	67
3.5. C e N nas substâncias húmicas.....	68
3.5.1. Ácidos fúlvicos e ácidos húmicos.....	68
3.5.2. Fração humina.....	69
3.6. Abundância natural de ¹³ C	71
4. DISCUSSÃO	72
4.1. Caracterização dos resíduos	72
4.2. Massa seca remanescente de resíduos.....	73
4.3. Evolução de C-CO ₂	74
4.4. Teores de carbono e nitrogênio totais	74
4.5. Teores de carbono e nitrogênio das substâncias húmicas	76
4.5.1. Frações, ácidos fúlvicos e ácidos húmicos	76
4.5.2. Fração humina.....	76
4.6. Abundância de ¹³ C	78
5. CONCLUSÃO	79
6. REFERÊNCIAS.....	79
CAPÍTULO 3 - RESÍDUOS DE ÁRVORES DA MATA ATLÂNTICA E SEUS	
IMPACTOS EM FRAÇÕES LÁBEIS DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO E	
CICLAGEM DE NUTRIENTES.....	
	85
1. INTRODUÇÃO	86
2. MATERIAL E MÉTODOS	88
2.1. Local de estudo	88
2.2. Coleta dos resíduos e caracterização.....	89

2.3. Coleta e caracterização do solo a ser utilizado na incubação.....	90
2.4. Procedimentos de incubação	91
2.5. Coleta das amostras.....	92
2.6. Matéria orgânica leve-livre	92
2.7. Abundância de $\delta^{13}\text{C}$ na matéria orgânica leve livre	92
2.8. C e N da biomassa microbiana.....	93
2.9. Análise química.....	93
2.10. Análises estatísticas.....	93
3. RESULTADOS	93
3.1. Caracterização dos resíduos	93
3.2. Matéria orgânica leve-livre	94
3.3. Abundância natural de ^{13}C	95
3.4. Teores de carbono e nitrogênio na biomassa microbiana	96
3.5. Características químicas do solo	97
4. DISCUSSÃO	99
4.1. Matéria orgânica leve-livre	99
4.2. Abundância de $\delta^{13}\text{C}$	101
4.3. Teores de carbono e nitrogênio da biomassa microbiana	102
4.4. Características químicas do solo	103
5. CONCLUSÃO	105
6. REFERÊNCIAS.....	106
CONSIDERAÇÕES FINAIS	110
ANEXO A - QUADROS DE ANÁLISES DE VARIÂNCIAS (CAPÍTULO 1).....	113
ANEXO B - QUADROS DE ANÁLISES DE VARIÂNCIAS (CAPÍTULO 2).....	115
ANEXO C - QUADROS DE ANÁLISES DE VARIÂNCIAS (CAPÍTULO 3).....	119

RESUMO

DUARTE, Edivânia Maria Gourete, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, setembro de 2011. **Árvores em sistemas agroflorestais: ciclagem de nutrientes e formação da matéria orgânica do solo.** Orientadora: Irene Maria Cardoso. Coorientadores: Eduardo Sá Mendonça, Raphael Bragança Alves Fernandes e Ivo Jucksch.

Os benefícios dos sistemas agroflorestais (SAFs) na qualidade dos solos têm sido recentemente evidenciados em muitos trabalhos científicos. Porém, há necessidade de aprofundar o conhecimento sobre o potencial de ciclagem de nutrientes e a formação da matéria orgânica do solo por espécies arbóreas nativas de ambientes tropicais, com vistas ao estabelecimento de estratégias de uso e manejo dessas espécies nos SAFs. Este estudo faz parte de um conjunto de estudos realizados com os agricultores que trabalham com SAFs na região da Zona da Mata de Minas Gerais, e teve como objetivo, avaliar o aporte de resíduos e nutrientes por espécies arbóreas usadas nestes SAFs e ainda, avaliar a formação da matéria orgânica e a disponibilização de nutrientes a partir destes resíduos. As espécies selecionadas para avaliar o aporte de resíduos e nutrientes foram: *Persea americana* (abacateiro), *Luehea grandiflora* (açoita cavalo), *Zeyheria tuberculosa* (ipê preto), *Erythrina verna* (mulungu), *Aegiphila sellowiana* (papagaio), *musa sp* (bananeira), *Sollanum mauritianum* (capoeira branca), *Inga subnuda* (ingá) e *Senna macranthera* (fedegoso). Para as duas últimas espécies aprofundaram-se os estudos sobre a formação da matéria orgânica do solo e ciclagem de nutrientes. Os resíduos senescentes foram coletados durante um ano, em SAFs de agricultores nos municípios de Araponga e Divino. Ambos localizados na zona da Mata de Minas Gerais. Para a bananeira foram feitas três coletas ao longo do ano. Foi quantificada a massa seca de resíduos. Determinaram-se os teores de nutrientes nestes resíduos. Para a bananeira determinou-se também os teores de C, lignina, celulose, hemicelulose e polifenol. Para avaliar a formação da MOS no solo a partir dos resíduos de fedegoso e ingá, incubou-se por de 12 meses, solo sem resíduos e solo com 5 g de C-resíduo das espécies, os quais tiveram duas formas de disposição, incorporados, e mantidos à superfície. Foram avaliados em quatro repetições: o fluxo de C-CO₂, a massa seca remanescente de resíduos, os teores totais de C e N do solo, da biomassa microbiana e das substâncias húmicas além da matéria orgânica leve-livre. Aos 12 meses, avaliou-se também a relação ¹³C/¹²C no solo, na fração húmica e na matéria orgânica leve-livre.

Também foi feita a análise de rotina. O aporte de resíduos entre as espécies variou de 0,32 a 5,6 Mg ha⁻¹ ano⁻¹. Os aportes de N, P e K, via resíduos das espécies, variaram de 5 a 112 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N; 4,1 a 48,6 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de K e 0,2 a 6,8 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de P. O fedegoso, a capoeira branca e o ingá estão entre as três espécies que aportaram as maiores quantidades de resíduos e de N, P, K. Ingá, açoita cavalo e abacate apresentaram as maiores relações lignina mais polifenol/N e lignina/N e maiores teores de celulose, indicando lenta taxa de decomposição dos resíduos, comparadas às demais. Nos estudos de formação da matéria orgânica e ciclagem de nutrientes, ficou evidente que no tratamento com resíduos de fedegoso incorporado, houve, em curto prazo, grandes incrementos nos teores de C das frações da MOS desde as mais lábeis, às mais recalcitrantes, resultando em 37,4% de matéria orgânica derivada do resíduo na sua fração humina. Estes, com efeitos também sobre o pH, os estoques de nutrientes, a soma de bases, a CTC, além de reduções na capacidade de fixação de P e na saturação por Al³⁺ no solo. O tratamento com resíduos de ingá incorporado, apesar da lenta decomposição apresentou 33,1 % de matéria orgânica derivada do resíduo na sua fração humina. Já, o tratamento com resíduos de fedegoso incubado na superfície apresentou 27% da matéria orgânica derivada do resíduo na sua fração humina. Nestes dois tratamentos também foram verificadas melhorias nas características químicas do solo. Porém, para o ingá disposto à superfície, este apresentou 25% de matéria orgânica derivada do resíduo na sua fração humina, mesmo assim pouco se diferiu do controle no período avaliado, confirmando que os resíduos de fedegoso são mais eficientes que o ingá, tanto na ciclagem de nutrientes quanto na formação da matéria orgânica do solo, inclusive em frações mais estáveis. Tal resultado evidencia a importância de se planejar o desenho de SAFs utilizando espécies estratégicas para desempenhar as funções desejadas e mostra que é importante também incentivar práticas que promovam uma maior diversidade de fauna do solo, responsáveis pela quebra e incorporação parcial dos resíduos aportados ao solo.

ABSTRACT

DUARTE, Edivânia Maria Gourete, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, September, 2011. **Trees in agroforestry systems: ciclagem of nutrients and formation of organic matter of the soil.** Adviser: Irene Maria Cardoso. Co-advisers: Eduardo Sá Mendonça, Raphael Bragança Alves Fernandes e Ivo Jucksch.

The benefits of the agroforestry systems in the quality of the soils they have been evidenced recently in many scientific works. However, there is need to deepen the knowledge about the potential of ciclagem of nutrients and the formation of the organic matter of the soil for native arboreal species of tropical ecosystems, with views to the establishment of use strategies and management of those species in agroforestry systems. This study was demanded by farmers that work with agroforestry systems in region of the Zona da Mata of Minas Gerais, and it had as objective, to evaluate the contribution of residues and nutrients for arboreal species used in these agroforestry systems and still, to evaluate the formation of the organic matter and the disponibilization of nutrients starting from these residues. The species selected to evaluate the contribution of residues and nutrients were: *Persea americana*, *Luehea grandiflora*, *Zeyheria tuberculosa*, *Erythrina verna*, *Aegiphila sellowiana*, *musa sp*, *Sollanum mauritianum*, *Inga subnuda* and *Senna macranthera*. The last two species studies were deepened on the formation of the organic matter of the soil and ciclagem of nutrients. The litter fall were collected during one year, in farmers' agroforestry systems in the municipal districts of Araponga and Divino. Both located in the Zona da Mata of Minas Gerais. For the *m. sp* they were made three pruning along the year. The dry mass of residues was quantified. They were determined the tenors of nutrients in these residues. For the *m. sp* it was also determined the tenors of C, lignin, cellulose, hemicellulose and polyphenol. To evaluate the formation of the organic matter in the soil starting from the fedegoso residues and ingá, it was incubated for of 12 months, soil without residues, soil with 5 g of C-residue of the species incorporated, and maintained to the surface. They were appraised in 4 repetitions: the flow of C-CO₂, the dry mass remainder of residues, the total tenors of C and N of the soil, of the microbial biomass and of the substances humics besides the light-free organic matter. To the 12 months, it was also evaluated the relationship ¹³C/¹²C in the soil, in the humin fraction and in the light-free organic matter. It was also made the routine analysis. The contribution of

residues among the species varied from 0,32 to 5,6 Mg ha⁻¹ year⁻¹. The contributions of N, P and K, through residues of the species, varied from 5 to 112 kg ha⁻¹ year⁻¹ of N; 4,1 to 48,6 kg ha⁻¹ year⁻¹ of K and 0,2 to 6,8 kg ha⁻¹ year⁻¹ of P. The *S. macranthera*, the *S. mauritianum* and the *I. subnuda* are among the three species that contributed the largest amounts residues and of N, P, K. *I. subnuda*, *P. americana* and *L. grandiflora* they presented the largest relationships lignin mais polyphenol/N and lignin/N and larger cellulose tenors, indicating slow rate of decomposition of the residues, compared to the others. In the studies of formation of the organic matter and ciclagem of nutrients, it was evident that in the treatment with residues of incorporate *S. macranthera*, there was, in short period, great increments in the tenors of C of the fractions of the organic matter from the most label, to the most recalcitrant, resulting in 37,4% of derived organic matter of the residue in your humin fraction. These, with effects also on the pH, the stocks of nutrients, the sum of bases, CEC, besides reductions in the capacity of fixation of P and in the saturation for Al³⁺ in the soil, The treatment with residues of incorporate *I. subnuda*, in spite of the slow decomposition presented 33,1% of derived organic matter of the residue in your humin fraction. Already, the treatment with *S. macranthera* residues incubated in the surface it presented 27% of the derived organic matter of the residue in your humin fraction. In these two treatments improvements were also verified in the characteristics chemistries of the soil. However, for the *I. subnuda* disposed to the surface, this presented 25% of derived organic matter of the residue in your humin fraction, even so little it was differed of the control in the appraised period, confirming that the *S. macranthera* residues are more efficient than the *I. subnuda*, so much in the ciclagem of nutrients as in the formation of the organic matter of the soil, besides in stableer fractions. Such a result evidences the importance of planning the design of agroforestry systems using strategic species to carry out the wanted functions and it shows that is also important to motivate practices that promote a larger diversity of fauna of the soil, responsible for the break and partial incorporation of the residues contributed to the soil.

INTRODUÇÃO GERAL

1. Sistemas agroflorestais e uso sustentável do solo

Há muitas definições de Sistemas Agroflorestais (SAFs), mas simplificadamente, eles podem ser definidos como uma forma de cultivo múltiplo, no qual pelo menos duas espécies de plantas interagem biologicamente e pelo menos uma é arbórea, sendo que a outra é manejada para produção agrícola ou pecuária (SOMARRIBA, 1992).

Os SAFs são reconhecidos como sistemas de manejo que conciliam a produção e a conservação dos recursos naturais oferecendo vários benefícios, entre os quais as melhorias na qualidade do solo, ou a manutenção desta. Nestes sistemas, as árvores incrementam a biomassa produzida por área e promovem um eficiente uso da água e nutrientes, absorvendo-os de grandes profundidades, as quais as culturas não conseguem acessar (SANCHEZ, 1995; YOUNG, 1997). Uma fração desses nutrientes retorna à superfície do solo através do aporte de resíduos senescentes que são em parte mineralizados, aumentando assim a sua disponibilidade para as plantas (PEREZ et al., 2004, TEKLAY; MALME, 2004), ou em parte, humificados, melhorando o estoque de C no sistema (NAIR et al., 2009).

O C orgânico estocado no solo é estimado em 3,3% do estoque global de C, constituindo-se o terceiro maior compartimento de C, ficando atrás apenas do oceânico (83%) e do fóssil (9%) (BATJES, 1996). Entretanto, o C orgânico do solo é fortemente influenciado pelas formas de manejo do solo, principalmente em regiões tropicais, nas quais ele é rapidamente mineralizado, reduzindo o seu estoque em pouco tempo. Recentemente, os SAFs têm sido apontados como potencial para sequestrar C, seja na biomassa da vegetação ou no solo (KIRBY; POTVIN, 2007; NAIR et al., 2009) e, dessa forma, contribuir para a regulação das mudanças climáticas.

Além disso, a copa das árvores juntamente com a cobertura formada devido o aporte contínuo de resíduos, protege o solo das chuvas e da ação direta dos raios solares. Esta proteção previne quanto à ocorrência de processos erosivos e influencia o microclima na superfície do solo, reduzindo as oscilações térmicas e favorecendo a atividade biológica deste. Como resultado destas interações proporcionadas pelo componente arbóreo com o ambiente e com os demais componentes do sistema, tem-se, o aumento da estabilidade de agregados, a redução da densidade do solo, a melhoria da

infiltração da água e da retenção da umidade (UDAWATTA et al., 2008). Os resíduos aportados também propiciam a diversidade de ambientes, abrigo e alimento resultando no aumento de populações e comunidades de meso, macrofauna (STAMPS; LINIT, 1997) e microrganismos (XAVIER, 2009) do solo e da serrapilheira.

Outra grande vantagem dos SAFs é a maior diversidade de produção e a alternância de fontes de renda ao longo do ano, resultando em maior produtividade e demanda de trabalho constante (SOUZA et al., 2010). Além disto, a sombra das árvores promove conforto térmico, melhorando com isto o ambiente de trabalho. Tais características são importantes em um sistema de produção e, se bem compreendidas e conduzidas, podem resultar em melhoria ambiental, estabilidade econômica, redução dos riscos e incertezas de mercado e melhoria das condições de vida dos agricultores e de suas famílias, contribuindo para a manutenção do homem no campo.

2. Os SAFs com café no contexto da Zona da Mata de Minas Gerais

O café foi introduzido na Zona da Mata de Minas Gerais, região na qual se insere este estudo, no início do século XIX (VALVERDE, 1958). Historicamente, o café é a principal cultura de renda da região (CAIXETA et al., 1978; LAMAS et al., 2003). A área plantada com café é de aproximadamente 195.000 ha (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE, 2007), o que representa 5,5% da área total da região. O café é também um dos principais produtos de exportação do país e do estado de Minas Gerais, sendo que em 2010, o Brasil produziu 48,1 milhões de sacas de café, ocupando uma área de 2,1 milhões de hectares (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE CAFÉ – ABIC, 2011), metade dessa área e produção foi em terras mineiras, sendo este o principal produto de exportação do agronegócio mineiro e do país. Em 2010, as exportações brasileiras de café foram de 33,5 milhões de sacas de café, representando 7,5% das exportações do agronegócio brasileiro, movimentando US\$ 5,8 bilhões, tornando o Brasil, responsável por 34% da exportação mundial de café (ABIC, 2011).

E devido à histórica importância econômica do café em nível nacional, grande parte da cobertura original do bioma Mata Atlântica foi substituído pelas lavouras desta cultura em expansão (VALVERDE, 1958). Muitas destas foram substituídas posteriormente por pastagens. Atualmente, restam apenas 7% da cobertura original da Mata Atlântica, sendo esta considerada um dos cinco *hotspots* de biodiversidade do

planeta, devido a riqueza, mas também devido a ameaça à sua rica biodiversidade (MYERS et al., 2000).

A retirada da mata ocasionou a degradação dos recursos naturais, especialmente porque na região, o relevo é montanhoso e as lavouras de café, muitas vezes, ocupam áreas de montanha com inclinação de até 40%, aumentando-se assim os riscos de erosão. Os solos da região são profundos, altamente intemperizados, ácidos e com baixas concentrações de nutrientes (KER, 1995). O relevo acidentado e os solos profundos propiciam uma extensa rede hídrica com inúmeras nascentes e corpos d'água.

Os problemas de perda da qualidade ambiental em geral e do solo em particular levou ao declínio da produtividade das lavouras culminando com a migração das famílias do campo para as cidades. Entretanto, 18% da população ainda vive no meio rural, sendo composta predominantemente, por agricultores familiares, sendo que 45% das propriedades rurais possuem áreas menores de 10 ha (IBGE, 2000). Além do café, os agricultores familiares cultivam outras culturas como feijão, milho, mandioca, cana de açúcar, que além de vital para a subsistência da família o excedente é também comercializado (FERRARI, 1996).

O relevo acidentado, a extensa rede hídrica, o pequeno tamanho das propriedades, somado ao histórico modelo de ocupação e uso inadequado do solo acarretou muitas vezes, no uso irregular do solo em áreas de preservação permanente (FREITAS et al., 2004). Portanto, um dos desafios para alcançar a sustentabilidade agrícola dessa região é aliar uso e ocupação do solo com a conservação dos recursos naturais. Para isso é preciso compreender e respeitar as intrincadas relações ecológicas dos seres existentes nos diferentes ambientes (ALTIERI, 2004).

Com o objetivo de buscar a aliança entre produção e preservação ambiental, em 1993, o Sindicato dos Trabalhadores Rurais de Araponga, o Centro de Tecnologias Alternativas da Zona da Mata (organização não governamental que assessora os agricultores familiares da região) e a Universidade Federal de Viçosa (UFV), em parceria, realizaram no município de Araponga, um Diagnóstico Rural Participativo. Um dos principais problemas identificados para o desenvolvimento da agricultura na região foi a grande ocorrência de erosão, levando ao “enfraquecimento” do solo cultivado. Diante da constatação, uma comissão foi formada por agricultores, técnicos e pesquisadores, objetivando discutir o problema e propor soluções para o manejo e a conservação dos solos da região (CARDOSO et al., 2001).

Tendo como base o conhecimento local dos agricultores e os princípios da agroecologia, a comissão apontou os SAFs com café (*Coffea arabica*) e pastagem como uma das alternativas de uso do solo. As experiências foram iniciadas ainda em 1993/1994 em um processo de experimentação participativa e coletiva. Neste período foram implantadas 37 SAFs com café e dois SAFs com pastagens, distribuídos em 25 comunidades de onze municípios da região. A decisão da experimentação com SAFs, foi fundamentada nas diversas vantagens técnicas, econômicas, ambientais e sociais que os SAFs oferecem e porque as pastagens e o café possibilitam o cultivo sombreados. O café, principal fonte de renda dos agricultores da região, tem sua origem em matas semidecíduas da Etiópia (MATSUMOTO, 2004). Além disto, as características ambientais da região, como a profundidade do solo, atestam, pela cobertura florestal original da região, o potencial do uso de árvores nos agroecossistemas. Contribuíram também para decisão da experimentação com SAFs a discussão sobre a implantação do Parque Estadual da Serra do Brigadeiro (PESB), com uma área de 14.984 ha, que apontava a necessidade de buscar formas mais ambientalmente corretas de produzir no entorno do Parque. Experiências com novos padrões de produção com vistas à conservação do solo e dos recursos naturais da região poderiam também contribuir com áreas de preservação municipais na região somados ao já existente Parque Nacional do Caparaó (PARNA-Caparaó), com uma área de 26.220 ha.

Na Figura 1 são apresentados a localização da Zona da Mata, os municípios de Araponga e Divino, o PESB e o PARNA-Caparaó e seis experiências com SAFs.

3. O componente arbóreo e suas funções

Várias pesquisas avaliam o aporte de resíduos orgânicos ao solo e seus benefícios, incentivando práticas que priorizam esse aporte e promovam a restauração da matéria orgânica do solo. Nos SAFs as árvores aportam naturalmente, folhas, frutos, flores e galhos, ou devido às podas realizadas nas árvores. Além disso, abaixo do solo também está ocorrendo liberação de exudados pelas raízes e morte dessas, contribuindo também para adições orgânicas ao solo.

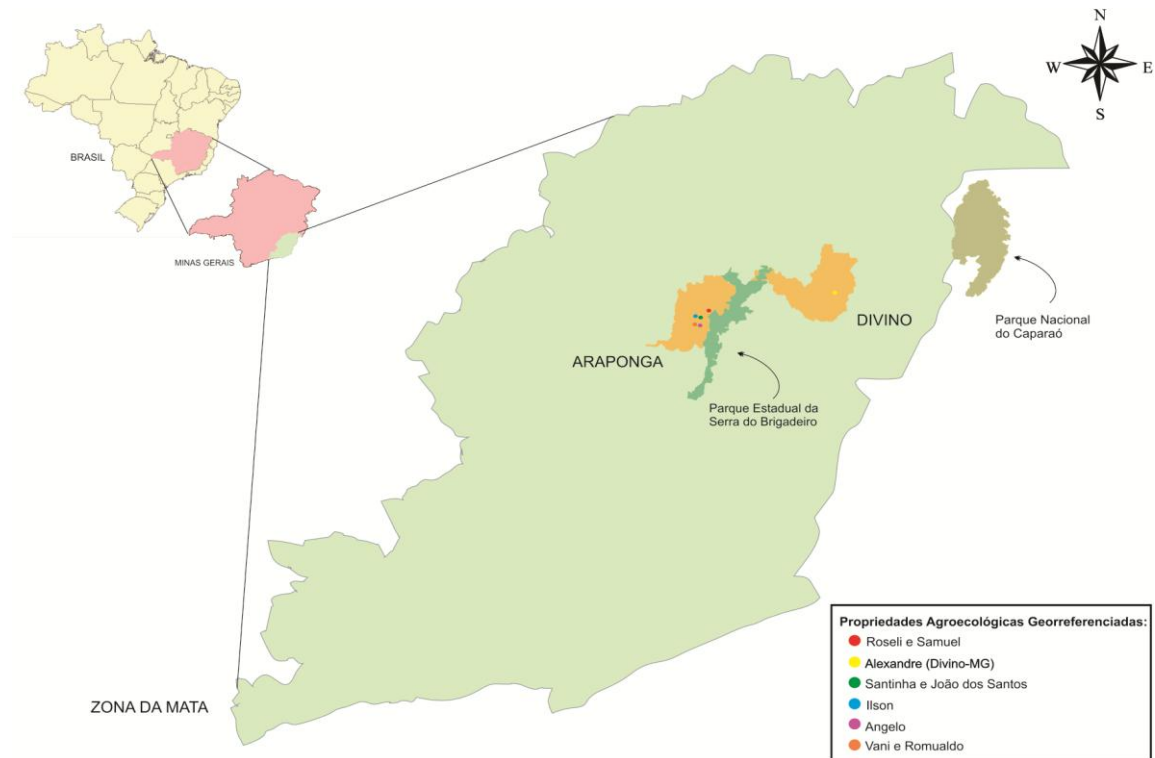


Figura 1 - Localização da Zona da Mata mineira, dos municípios Araponga e Divino, nos quais estão localizados os sistemas agroflorestais envolvidos neste estudo, o Parque Estadual da Serra do Brigadeiro e o Parque Nacional do Caparaó.

Há diversos trabalhos que ressaltam o potencial de espécies arbóreas na ciclagem de nutrientes. Por exemplo, em florestas estacionais semidecíduais da região Sudeste e Sul do Brasil, o aporte de resíduos variou de 7,7 a 11,6 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de matéria seca (MS) (DINIZ; PAGANO, 1997; DIAS; OLIVEIRA FILHO, 1997). Já em uma área de SAF na Zona da Mata de Minas Gerais, Arato et al. (2003) encontraram aportes de 10 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de MS de resíduos. Porém, este aporte não é homogêneo ao longo do tempo. Para as espécies nativas da região, o pico máximo de queda de folhas das árvores ocorre na estação seca, normalmente entre abril e agosto, em resposta ao estresse hídrico e às baixas temperaturas (MARTINS; RODRIGUES, 1999).

O material orgânico aportado mantém a umidade do solo em pleno período de seca e, ao mesmo tempo protege o solo contra a ação das chuvas que se iniciam em setembro, minimizando a erosão. Na região da Zona da Mata mineira a perda de solo em SAFs foi em média 217,3 kg ha⁻¹ ano⁻¹, enquanto que em lavouras convencionais foi de 2.611,9 kg ha⁻¹ano⁻¹ (CARVALHO; FERREIRA NETO, 2000).

4. A preferência dos agricultores por espécies nativas

Para os agricultores da Zona da Mata, as espécies nativas são preferidas, uma vez que a principal função dessas árvores está relacionada à manutenção dos níveis de matéria orgânica no solo, à ciclagem de nutrientes e à melhoria da qualidade do solo (SOUZA et al., 2010). Segundo Kanmegne et al. (1999) e Radersma (2002), a utilização de espécies nativas nos SAFs deve ser priorizada em relação as exóticas, pois estas possuem estratégias e mecanismos para conviver com altos teores de alumínio trocável e com baixos teores de nutrientes disponíveis no solo, principalmente o N e o P. As principais estratégias são: i) a menor exigência de nutrientes – via redução na taxa de crescimento; ii) a maior aquisição de nutrientes – via aumento radicular e maior relação raiz/folha, interação com microrganismos tais como micorrizas e rizóbios e aumento de exsudados radiculares e iii) melhor utilização de nutrientes - via aumento da translocação ou aumento da vida útil das folhas.

A translocação de nutrientes é um mecanismo comum em espécies decíduas e consiste na reutilização de uma parcela desses nutrientes presentes em tecidos velhos da planta, para tecidos em formação. Sendo assim, quando se faz a poda, o material aportado é muito mais rico em nutrientes, enquanto que o material senescente, normalmente apresenta menores teores de C-solúvel e nutrientes móveis (MAFONGOYA et al., 1998). A extensão da redistribuição depende, principalmente, da espécie, da estação do ano, da umidade, da fertilidade do solo, do manejo e da idade das plantas (MAFONGOYA et al., 1998; TEKLAY, 2004).

Entretanto, mesmo contendo baixas concentrações de nutrientes, as contribuições oriundas da ciclagem do material senescente das árvores são consideráveis. Segundo Vitousek e Sanford (1986), em solos sob florestas tropicais, o aporte de nutrientes pelo material senescente em solos de baixa e média fertilidade variou, respectivamente, de 115,7 a 162,4 kg ha⁻¹ de N; 2,9 a 8,78 kg ha⁻¹ de P; 19,3 a 40,7 kg ha⁻¹ de K; 54,5 a 171,2 kg ha⁻¹ de Ca e 14,5 a 37,4 kg ha⁻¹ de Mg. Tais contribuições podem ser potencializadas com a escolha das espécies que vão compor os SAFs. Há nas regiões tropicais, uma grande diversidade genética de leguminosas e outras famílias, as quais formam diversas associações simbióticas, podendo melhorar o aporte de N nestes sistemas através da fixação de N₂ (HARDARSON; ATKINS, 2003). Há também as espécies que formam simbiose com as micorrizas, as quais ampliam a superfície de absorção de água e nutrientes pelas raízes das plantas, especialmente o P

(ZANGARO et al., 2003; CARDOSO et al., 2003). Resíduos com maiores teores de nutrientes, principalmente N e P, podem ser utilizados em substituição aos fertilizantes minerais, reduzindo os custos com fertilização, pois, dependendo de sua composição bioquímica estes apresentam altas taxas de decomposição e de liberação de nutrientes.

A decomposição dos resíduos ou da matéria orgânica do solo (MOS) se caracteriza por alterações graduais na sua estrutura química original, mais especificamente, nos grupamentos de C (MATHERS et al., 2000). Esta é controlada predominantemente pelas condições edafoclimáticas (ROBERTSON; MORGAN, 1996), mas também, pela sua qualidade a qual está associada à composição química e bioquímica e à quantidade de energia necessária para a sua decomposição (PALM, 1995). Portanto, a qualidade do resíduo pode ser medida, não só pelos seus teores de C e N, mas também pelos teores de lignina, celulose e polifenóis. Quando os resíduos apresentam altos teores de N, as relações C/N são menores e estes apresentam rápida taxa de decomposição. Ao contrário, materiais com baixos conteúdos de N e altas relações C/N podem apresentar imobilização desses nutrientes pelos organismos decompositores (MAFONGOYA et al., 1998; MATOS et al., 2008). Altos teores de celulose, de lignina e de polifenóis ativos, também retardam a decomposição e liberação de nutrientes e o N aplicado via material vegetal não se torna disponível para as plantas. Este, porém, pode permanecer no solo e contribuir para manter ou elevar os níveis de MOS. Já os resíduos ricos em N, com baixos teores de lignina, polifenóis e celulose decompõem-se rapidamente promovendo uma ciclagem mais rápida (HÄTTENSCHWILER; VITOUSEK, 2000; MENDONÇA; STOTT, 2003; MATOS et al., 2008).

O conhecimento sobre o potencial de ciclagem de nutrientes (aporte de resíduos, composição, taxas de decomposição, métodos e tempo de aplicação, misturas de resíduo) pode ser usado para se estabelecer diferentes estratégias de manejo dos resíduos das árvores, especialmente no que diz respeito ao suprimento de nutrientes e à manutenção e aumento dos estoques de C no solo. Resíduos de alta qualidade (altos conteúdos de N e baixos de lignina e polifenóis) resultarão numa ciclagem rápida de nutrientes, enquanto resíduos de baixa qualidade resultarão numa imobilização de nutrientes e humificação dos resíduos. Conhecer tais características dos resíduos implica em possibilidade de sincronizar a liberação de nutrientes com a época de demanda das culturas e também potencializar serviços ambientais como o sequestro de C seja no solo ou na vegetação.

5. Caracterização das áreas de SAFs onde se inserem as espécies estudadas

Das 39 experiências implantadas na região da Zona da Mata, algumas se tornaram, ao longo da experimentação, referências em termos de desenho, composição e produtividade. Destas, foram selecionadas seis sistemas com café os quais continham nove das espécies arbóreas mais usadas nos sistemas da região. Estes SAFs estão situados nos municípios de Araponga e Divino (Figura 1).

Cada SAF tinha em média 0,5 ha e na sua maioria foram estabelecidos em solos degradados, apresentando frequentemente, sinais de erosão laminar, relacionado ao histórico de inadequado e intenso uso de terra. As áreas são similares em relação a declive, condições de solo e incidência solar. Os SAFs foram implantados no mesmo período (1993/1994), portanto, o café e as árvores estudadas estão na mesma fase de desenvolvimento. Os agricultores também têm condições sociais e econômicas semelhantes e capacidade de suporte para o manejo de tais sistemas. Antes da implantação dos SAFs, alguns agricultores usavam agrotóxicos. Hoje em dia, devido o processo de transição agroecológica, nestas propriedades o uso de agrotóxicos foi abolido.

Os SAFs consistiram em cultivos de café em espaçamento 3,0 x 1,0 m intercalados com diferentes tipos de árvores plantadas ou nascidas espontaneamente e manejadas pelos agricultores, não apresentando um desenho específico, porém com uma densidade média de 100 árvores por hectare (SOUZA et al., 2010).

A relação dos SAFs, respectivos municípios do estudo, espécies presentes nos SAFs e espécie estudada são listadas no Quadro 1.

As árvores foram utilizadas em especial com a função de restabelecer a qualidade do solo e diversificar a produção (DUARTE et al., 2008).

Quadro 1 - Relação de agricultores, respectivos municípios do estudo, espécies presentes nos SAFs e espécie estudada

Agricultor ¹ (município)	Componentes arbóreos (nomes populares) ^{2,3}	Espécie estudada
SAF _{AN} (Araponga)	Açoita cavalo, ingá, cedro, papagaio, fedegoso, capoeira branca, embaúba, ameixa, caroba, banana, pau jacaré, candeia, abacate, laranja e limão.	Abacate
SAF _{IL} (Araponga)	Angelin doce, farinha seca, canudo de pito, jacarandá caviúna, papagaio, maminha de porca, cinco folhas, capixingui, umbu, açoita cavalo, palmito, fedegoso, urucum, manga, caqui, goiaba, banana, ingá, abacate, ipê, pitanga, citrus, nozes, castanha mineira, lixia, angico vermelho, cutieira.	Fedegoso
SAF _{JS} (Araponga)	Pau pereira, mulungu, paina, sumaúma, ipê-rosa, uva-do-japão, Maria preta, caqui chocolate, fruta do conde, carobinha, graviola, cedro, palmeira, ipê roxo, jequitibá rosa, banana, manona, pêssego, citrus, jaca, mamão, abacate.	Mulungu
SAF _{SA} (Araponga)	Abacate, pêssego, banana, capoeira branca, embaúba, jequitibá, cedro, guabiroba, guatambu, araticum, ameixa, guapuruvu, manga, limão, laranja, candeia, papagaio, leiteira, quaresminha, braúna	capoeira branca, papagaio e bananeira
SAF _{AL} (Divino)	Açoita cavalo, liteira, ipê preto, ipê amarelo, tambú, cedrinho nativo, capoeira branca, crindiúva, pau-brasil, Maria preta, banana, laranja, manga, limão, graviola, ameixa, ingá, fruta do conde, acerola.	açoita-cavalo e ipê preto
SAF _{RO} (Araponga)	Ingá, sobrasil, capoeira branca, banana, limão, pêssego, ingá, mamão, palmito fedegoso, capoeira branca, embaúba, farinha seca.	Ingá

¹ As siglas referem-se as iniciais dos proprietários. ² Adaptado de Cardoso et al. (2004). ³ Obtido por entrevista com o agricultor.

6. Identificando o problema de pesquisa

Em 2005, visando resgatar e disseminar os conhecimentos adquiridos na experimentação com SAFs na região da Zona da Mata mineira, uma sistematização da experiência foi realizada também de forma participativa (SOUZA et al., 2010). Esta apontou vários benefícios da adoção dos SAFs para a região. A sistematização consistiu em várias reuniões onde os agricultores, técnicos e investigadores se uniram com o objetivo de descrever a composição e o manejo dos SAFs e reflexões sobre seu impacto na qualidade do solo e da produtividade. São descritos detalhes neste processo em Souza et al. (2010).

Além de sistematizar o grande aprendizado com os SAFs e estabelecer critérios para seleção das espécies, a sistematização apontou várias lacunas no conhecimento

necessário para o estabelecimento de estratégias de uso e manejo das espécies arbóreas nos SAFs. Uma dessas lacunas está relacionada à ciclagem de nutrientes e a manutenção ou aumento dos níveis de MOS pelas espécies arbóreas usadas. Para avaliar o potencial das espécies são necessárias informações a respeito da quantidade e qualidade dos resíduos aportados, dos mecanismos de aquisição e uso dos nutrientes e da velocidade de decomposição destes e seus impactos na MOS. Tais informações inexistem ou são escassas para as espécies nativas da Mata Atlântica.

7. Selecionando as espécies potenciais

Na Zona da Mata, os SAFs podem contribuir para a conexão das unidades de conservação e os fragmentos de mata, existentes na região (áreas de reserva legal e áreas de preservação permanente), pois os mesmos podem contribuir com o fluxo gênico entre estes fragmentos, atualmente isolados por lavouras de café a pleno sol ou pastagens abertas, ambos sem a presença de árvores (VANDERMEER; PERFECTO, 2007). Além disso, os SAFs contribuem para a criação de um modelo de desenvolvimento agrícola sustentável, com base em princípios agroecológicos, que deve ser difundido e oportunizado, tendo em vista as características do bioma, o potencial de conexão entre áreas e a organização social existente.

Entretanto, a escolha das árvores a serem utilizadas nos SAFs deve-se criteriosa. A sistematização apontou os critérios definidos pelos agricultores para seleção das espécies arbóreas a compor os SAFs. O principal deles foi a compatibilidade da árvore com o cafeeiro, avaliada pelo sistema radicular os quais devem ser profundos, evitando a competição por água e nutrientes. Outros critérios foram a alta produção de biomassa, a diversificação da produção e o caráter decíduo das espécies (SOUZA et al., 2010).

Com base nesses critérios, as espécies *Persea americana* (abacateiro), *Luehea grandiflora* (açoita-cavalo), *Inga subnuda* (ingá), *Zeyheria tuberculosa* (ipê-preto), *Senna macranthera* (fedegoso), *Erythrina verna* (mulungu), *Aegiphila sellowiana* (papagaio), *Musa sp* (bananeira) e *Sollanum mauritianum* (capoeira branca) foram apontadas pelos agricultores experimentadores como algumas das mais compatíveis com o café (SOUZA et al., 2010). A exceção do abacateiro e da bananeira, as demais são nativas da Mata Atlântica o que reflete a prioridade para a utilização dessas nos SAFs. Segundo Souza et al. (2010), são encontradas nos SAFs na região uma densidade

média de 100 árvores por hectare, sendo estas, de diferentes espécies. Fernandes (2007) encontrou em média, 11 a 35 espécies de leguminosas arbóreas nestes SAFs. Segundo este autor, as espécies inseridas visaram principalmente, proporcionar o controle da erosão e melhorar a qualidade do solo. Algumas destas espécies nunca haviam sido citadas em consórcios com o café.

8. Hipótese e objetivo

A hipótese desse trabalho parte do pressuposto de que o aporte e a decomposição de resíduos de diferentes espécies envolvem processos distintos. Portanto, as contribuições destas espécies na recuperação e melhoria da qualidade do solo, devido ao aumento dos teores de matéria orgânica e ciclagem de nutrientes, bem como pela proteção conferida ao solo sob tais sistemas, também são diferentes. Assim, a hipótese deste trabalho é de que, espécies como o fedegoso e a capoeira branca que produzem grande quantidade de resíduos e estes não se acumulam no solo, são espécies que contribuem para uma ciclagem rápida de nutrientes no sistema. Já espécies como o ingá e o açoita cavalo que produzem grande quantidade de resíduos os quais se acumulam no solo, são espécies que contribuem para uma maior proteção do solo contra processos erosivos. Dessa forma, este trabalho tem como objetivo, avaliar mecanismos envolvidos na ciclagem de nutrientes e formação da matéria orgânica do solo por espécies arbóreas usadas em SAFs na Mata Atlântica, visando destacar o potencial dessas espécies para desenvolver sistemas de manejo e uso do solo mais sustentáveis.

9. Estrutura geral da tese

O primeiro capítulo avaliou a quantidade e a qualidade de resíduos senescentes aportados por nove espécies (sete nativas da Mata Atlântica e duas exóticas frutíferas) usadas em SAFs da região. Foi quantificado o aporte de resíduos ao solo e os conteúdos de nutrientes, além dos componentes bioquímicos nos resíduos. Estas informações contribuem para avaliar o potencial das espécies para a ciclagem de nutrientes, e também compreender os benefícios e as possibilidades de uso dos resíduos de cada espécie no sistema.

No segundo capítulo foi estudado o efeito dos resíduos senescentes de fedegoso e ingá, na formação e estabilização da matéria orgânica do solo (MOS), sob

duas formas de disposição dos resíduos: incorporados e dispostos à superfície. Ambas as espécies usadas são leguminosas e aportam aos SAFs grandes quantidades de resíduos ricos em nutrientes. Porém o fedegoso é de rápida taxa de decomposição, enquanto o ingá é de lenta decomposição. Avaliou-se a evolução de C-CO₂, a massa seca de resíduos remanescentes, os teores de C e N totais do solo, C e N das substâncias húmicas do solo (ácidos fúlvicos, ácidos húmicos e humina). Quantificaram-se ainda os percentuais de matéria orgânica derivada dos resíduos, no solo e na fração húmica do solo através da relação isotópica ¹³C/¹²C.

No terceiro capítulo foi estudado o efeito dos resíduos senescentes de fedegoso e ingá na ciclagem de nutrientes. Quantificou-se no mesmo experimento anterior (Capítulo 2) os percentuais de matéria orgânica leve-livre (MOL-livre), os teores de C e N da biomassa microbiana do solo, os teores P, P remanescente, K⁺, Ca⁺², Mg⁺², Al⁺³, H⁺ + Al³⁺ e pH na solução do solo. Quantificou-se ainda, os percentuais de matéria orgânica derivada dos resíduos na MOL-livre do solo pela relação isotópica ¹³C/¹²C.

E, finalmente, são apresentadas as principais conclusões da tese e as considerações finais comentando alguns pontos importantes que podem direcionar pesquisas futuras para os SAFs, principalmente, na Zona da Mata de Minas Gerais.

10. Referências

ALTIERI, M. Linking ecologists and traditional farmers in the search for sustainable agriculture. **Front. Ecol. Environ.**, v. 2, p. 35-42, 2004.

ARATO, H.D.; MARTINS, S.V.; FERRARI, S.H.S. Produção e decomposição de serapilheira em um sistema agroflorestal implantado para recuperação de área degradada em Viçosa-MG. **Rev. Árvore**, v. 5, n. 27, p. 715-721, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE CAFÉ – ABIC. **Indicadores da indústria de café no Brasil**. Disponível em: <www.abic.com.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?sid=61#tabevol2011>. Acesso em: 20 mar. 2011.

BATJES, N.H. Total C and N in soils of the world. **Eur. J. Soil Sci.**, n. 47, p. 151-163, 1996.

CAIXETA, G.Z.; NACIF, J.M.; TEIXEIRA, J.G. **A cafeicultura da Zona da Mata de Minas Gerais**. Belo Horizonte, 1978. (Série Programação, 39).

CARDOSO, I.M.; GUIJT, I.; FRANCO, F.S. et al. Continual learning for agroforestry system design: university, NGO and farmer partnership in Minas Gerais. **Agric. Syst.**, v. 69, p. 235-257, 2001.

CARDOSO, I.M.; MEER, P.V.; OENEMA, O. et al. Analysis of phosphorus by PNMR in oxissols under agroforestry and conventional coffee systems in Brazil. **Geoderma**, v. 112, p. 51-70, 2003.

CARVALHO, A.F.; FERREIRA NETO, P.S. Evolving leaning in designing agroecological farming systems with small-scaler farmers in Zona da Mata, Brazil. In: GUIJT, I.; BERDEGUÉ, J.A.; LOEVINSOHN, M.; HALL, F. (Eds.). **Deepening the basis of rural resource management**. The Hague: ISNAR, 2000. p. 73-88.

DIAS, H.C.T.; OLIVEIRA FILHO, A.T. Variação temporal e espacial da produção de serapilheira em uma área de floresta estacional semidecídua montana em Lavras-MG. **Rev. Árvore**, v. 21, p. 11-26, 1997.

DINIZ, S.; PAGANO, S.N. Dinâmica de folheto em floresta mesófila semidecídua no município de Araras-SP: I - Produção, decomposição e acúmulo. **Rev. do Instituto Florestal**, v. 9, p. 27-36, 1997.

DUARTE, E.M.G.; CARDOSO, I.M.; FAVERO, C. Terra forte. **Rev. Agriculturas**, v. 5, n. 3, p. 11-16, 2008.

FERNANDES, J.M. **Taxonomia e etnobotânica de Leguminosae Adans. em fragmentos florestais e sistemas agroflorestais na Zona da Mata mineira**. 2007. 223 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

FERRARI, E.A. Desenvolvimento da agricultura familiar: a experiência do CTA-ZM. In: ALVAREZ, V.H.; FONTES, L.E.F.; FONTES, M.P.F. (Eds.). **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa: JARD, 1996. p. 233-250.

FREITAS, H.R.; CARDOSO, I.M.; JUCKSCH, I. Legislação ambiental e uso da terra: o caso da Zona da Mata de Minas Gerais. **Boletim Informativo [da] Rev. Bras. Ci. Solo**, v. 29, p. 22-27, 2004.

HARDARSON, G.; ATKINS, C. Optimising biological N₂ fixation by legumes in farming systems. **Plant and Soil**, v. 252, p. 41-54, 2003.

HÄTTENSCHWILER, S.; VITOUSEK, P.M. The role of polyphenols in terrestrial ecosystem nutrient cycling. **Tree**, v. 15, p. 238-243, 2000.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Censo Demográfico - 2000**. Rio de Janeiro, 2000.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Lavoura permanente - 2005**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/default.php>>. Acesso em: 28 jul. 2007.

KANMEGNE, J.; DUGMA, B.; HENROT, J.; ISIRIMAH, N.O. Soil fertility enhancement by planted tree-fallow species in the humid lowlands of Cameroon. **Agrofor. Syst.**, v. 46, p. 239-249, 1999.

KER, J.C. **Mineralogia, sorção e dessorção de fosfato, magnetização e elementos traços de latossolos do Brasil**. 1995. 181 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

KIRBY, K.R.; POTVIN, C. Variation in carbon storage among tree species: implications for the management of a small scale carbon sink project. **For. Ecol. Manage.**, v. 246, p. 208-221, 2007.

LAMAS, F.G.; SARAIVA, L.F.; ALMICO, R.C.S. **A Zona da Mata mineira: subsídios para uma historiografia**. 2003. 26 p.

MAFONGOYA, P.L.; NAIR, P.K.R.; DZOWLA, B.H. Mineralization of nitrogen from decomposing leaves of multipurpose trees as affected by their chemical composition. **Biol. and Fertil. Soils**, v. 27, p. 143-148, 1998.

MARTINS, S.V.; RODRIGUES, R.R. Produção de serapilheira em clareiras de uma floresta estacional semidecidual no município de Campinas-SP. **Rev. Bras. de Botânica**, v. 22, n. 3, p. 405-412, 1999.

MATHERS, N.J.; MAO, X.A.; XU, Z.H. et al. Recent advances in the application of ¹³C and ¹⁵N NMRS to soil organic matter studies. **Austral. J. of Soil Res.**, v. 38, p. 769-787, 2000.

MATOS, E.S.; MENDONÇA, E.S.; LIMA, P.C. et al. Green manure in coffee systems in the region of Zona da Mata, Minas Gerais: characteristics and kinetics of carbon and nitrogen mineralization. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 32, p. 2027-2035, 2008.

MATSUMOTO, S.N. (Org.). **Arborização de cafezais no Brasil**. Vitória da Conquista: UESB, 2004. 213 p.

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

MYERS, N.; MITTERMEIER, R.A.; MITTTERMEIER, C.G. et al. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, p. 853-858, 2000.

NAIR, P.K.R.; KUMAR, B.M.; NAIR, V.D. Agroforestry as a strategy for carbon sequestration. **J. Plant Nutr. Soil Sci.**, v. 172, p. 10-23, 2009.

PALM, C.A. Contribution of agroforestry trees to nutrient requirements of intercropped plants. **Agrof. Syst.**, v. 30, p. 105-124, 1995.

PEREZ, M.M.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E.S.; COSTA, L.M. Impactos da implementação de um sistema agroflorestral com café na qualidade do solo. **Agropecuária Técnica**, v. 25, p. 25-36, 2004.

RADERSMA, S. **Tree effects on crop growth on a phosphorus-fixing ferralsols**. 2002. Thesis (Ph.D.) – Wageningen University Research Center, Wageningen, NL.

ROBERTSON, F.A.; MORGAN, W.C. Effects of management history and legume green manure on soil microorganisms under organic vegetable production. **Australian J. of Soil Res.**, v. 34, p. 427-440, 1996.

SANCHEZ, P.A. Science in agroforestry. **Agrof. Syst.**, v. 30, p. 5-55, 1995.

SOMARRIBA, E. Revisiting the past: an essay on agroforestry definition. **Agrofor. Syst.**, v. 9, p. 233-240, 1992.

SOUZA, H.N.; CARDOSO, I.M.; FERNANDES, J.M. et al. Selection of native trees for intercropping with coffee in the Atlantic Rainforest biome. **Agrofor. Syst.**, v. 80, p. 1-16, 2010.

STAMPS, W.T.; LINIT, M.J. Plant diversity and arthropod communities: implications for temperate agroforestry. **Agrofor. Syst.**, v. 39, p. 73-89, 1997.

TEKLAY, T. Sazonal dynamics in the concentration of macronutrients and organics constituents in green and senesced leaves of tree agroforestry species in Southern Ethiopia. **Plant and Soil**, v. 267, p. 297-307, 2004.

TEKLAY, T.; MALME, A. Decomposition of leaves from two indigenous trees of contrasting qualities under shaded-coffee and agricultural land-uses during the dry season at Wondo Genet, Ethiopia. **Soil. Biol. & Biochem.**, v. 36, p. 777-786, 2004.

UDAWATTA, R.P.; KREMER, R.J.; ADAMSON, B.W.; ANDERSON, S.H. Variations in soil aggregate stability and enzyme activities in a temperate agroforestry practice. **Appl Soil Ecol.**, v. 39, p. 153-160, 2008.

VALVERDE, O. Estudo regional da Zona da Mata, de Minas Gerais. **Rev. Bras. de Geog.**, v. 20, p. 3-82, 1958.

VANDERMEER, J.; PERFECTO, I. The agricultural matrix and a future paradigm for conservation. **Conserv. Biol.**, v. 21, n. 1, p. 274-277, 2007.

VITOUSEK, P.M.; SANFORD, J.R.L. Nutrient cycling in moist tropical forest. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 17, p. 137-167, 1986.

XAVIER, F.A.S. **Soil organic matter stock and quality in agroforestry and full sun coffee systems**. 2009. 153 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

YOUNG, A. **Agroforestry for soil management**. 2.ed. Wallingford, UK: ICRAF and CAB International, 1997.

ZANGARO, W.; NISIZAK, S.M.A.; DOMINGOS, J.C.B.; NAKANO, E.M. Mycorrhizal response and successional status in 80 woody species from south Brazil. **J. of Trop. Ecol.**, v. 19, p. 315-324, 2003.

CAPÍTULO 1

APORTE E QUALIDADE DE RESÍDUOS DE ESPÉCIES ARBÓREAS UTILIZADAS EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS

Resumo: Os benefícios dos sistemas agroflorestais na qualidade dos solos têm sido recentemente evidenciados em muitos trabalhos científicos. Porém, poucos estudos avaliam o potencial de ciclagem de nutrientes por espécies arbóreas nativas tropicais. Há necessidade de aprofundar o conhecimento desses processos, visando estabelecer estratégias de uso e manejo dessas espécies. Este estudo foi demandado por agricultores que trabalham com sistemas agroflorestais na região da Zona da Mata mineira e teve como objetivo avaliar a quantidade e a qualidade de resíduos senescentes aportados pelas espécies arbóreas usadas. Selecionou-se para o estudo: *Persea americana* (abacateiro), *Luehea grandiflora* (açoita cavalo), *Inga subnuda* (ingá), *Zeyheria tuberculosa* (ipê preto), *Senna macranthera* (fedegoso), *Erythrina verna* (mulungu), *Aegiphila sellowiana* (papagaio), *musa sp* (bananeira) e *Sollanum mauritianum* (capoeira branca). Os resíduos das espécies foram coletados em sistemas agroflorestais de agricultores nos municípios de Araponga e Divino e quantificados para cada espécie. Os teores de N, P, K, Ca, Mg, Zn, Cu, além de C, lignina, celulose, hemicelulose e polifenol foram determinados. O aporte de resíduos entre as espécies variou de 0,3 a 5,6 Mg ha⁻¹ ano⁻¹. Fedegoso, capoeira branca e ingá aportaram maior quantidade de resíduos. Cada espécie apresentou resíduos ricos em um determinado nutriente. Os resíduos de bananeira foram os mais ricos em K (2,98 dag kg⁻¹), os de capoeira branca foram os mais ricos em N (2,14 dag kg⁻¹), P (0,15 dag kg⁻¹) e Ca (1,69 dag kg⁻¹), de Ipê preto foram mais ricos em Mg (0,35 dag kg⁻¹) e Zn (36,48 mg kg⁻¹) e os resíduos de papagaio, mais rico em Cu (18,10 mg kg⁻¹). Os aportes de nutrientes pelas espécies variaram de 5 a 112 kg ha⁻¹ano⁻¹ de N; 4,1 a 48,6 kg ha⁻¹ano⁻¹ de K; 6,3 a 77,8 kg ha⁻¹ano⁻¹ de Ca; 0,2 a 6,8 kg ha⁻¹ano⁻¹ de P; 1,0 a 9,6 kg ha⁻¹ano⁻¹ de Mg; 5,5 a 118,5g ha⁻¹ano⁻¹ de Zn e de 3,8 a 65,3 g ha⁻¹ano⁻¹ de Cu. O fedegoso e a capoeira branca estão entre as espécies que aportaram os maiores conteúdos de N, P, K, Ca, Mg, Zn e Cu. Ingá também aportou grandes quantidades de N, P, Ca, Mg e Cu. A bananeira aportou maior quantidade de K, e o açoita cavalo maior quantidade de Zn e Cu. Ingá, açoita cavalo e abacate apresentaram altas relações (lignina mais polifenol)/N e lignina/N e mais lenta taxa de decomposição. Estes resultados evidenciam um grande potencial de ciclagem de nutrientes para fedegoso, capoeira branca e bananeira. Ingá, açoita cavalo e abacate, devido à lenta decomposição, mantém a cobertura do solo protegendo-o da erosão.

Palavras-chave: Ciclagem de nutrientes; sincronismo; espécies arbóreas nativas; Mata Atlântica.

1. INTRODUÇÃO

Em ambientes tropicais os solos normalmente apresentam baixa disponibilidade de nutrientes. Nas florestas dessas regiões, a deposição contínua de material senescente das árvores representa a forma mais eficiente de ciclagem de

nutrientes (YOUNG, 1997; SCHROTH; SINCLAIR, 2003). Nos ecossistemas agrícolas convencionais, em geral, há quebra desta ciclagem natural, mas os sistemas agroflorestais (SAFs), em particular, imitam as florestas aportando continuamente material senescente ao solo e apresentando um ciclo mais fechado de nutrientes, comparado à maioria dos sistemas agrícolas (MAFONGOYA et al., 1998; SANCHEZ, 1995). Com isso, os SAFs desencadeiam processos de grande importância melhorando características químicas, biológicas e físicas do solo (YOUNG, 1997; KIBBLEWHITE et al., 2008; JOSE, 2009).

Nos trópicos, devido à grande diversidade de espécies, as árvores nativas constituem boas opções para serem utilizadas em SAFs (REIS et al., 2010; DUARTE et al., 2012). Elas podem desenvolver mecanismos eficientes (fixação biológica de N₂, associação com micorrizas, liberação de exudatos) para conviver com os altos teores de alumínio trocável e também para utilizar eficientemente os limitados nutrientes disponíveis no solo (KANMENGE et al., 1999; RADERSMA, 2002). Assim, tais espécies são capazes de produzir maiores quantidades de biomassa, acima e abaixo do solo e, dependendo da sua qualidade, contribuir para uma maior ciclagem de nutrientes e aumento dos níveis de matéria orgânica do solo (MOS).

Na maioria dos SAFs prioriza-se o uso de espécies leguminosas e utiliza-se uma alta densidade de árvores, que são podadas constantemente para fornecer ao solo material orgânico com altos teores de nutrientes (CONSTANTINIDES; FOWNES, 1994; MAFONGOYA et al., 1998). Entretanto, há SAFs em que, raramente, os agricultores podam as árvores. Nestes, o aporte de resíduos acontece devido à queda natural de folhas, ramos e estruturas reprodutivas, exigindo assim menos gasto de mão de obra para sua condução (SOUZA et al., 2010). Neste caso, os resíduos aportados (resíduos senescentes) possuem menores teores de nutrientes. Isto acontece devido à translocação desses nutrientes pelas espécies, os quais são redistribuídos de tecidos velhos para tecidos em formação (CONSTANTINIDES; FOWNES, 1994).

O aporte de resíduos senescentes pelas árvores de florestas decíduas e semidecíduas, como no Bioma Mata Atlântica (Brasil) apresenta uma dinâmica sazonal, a qual é influenciada principalmente pelo estresse hídrico (MARTINS; RODRIGUES, 1999), e pelas baixas temperaturas, o que acontece no período do inverno. Neste período de seca, o material orgânico aportado em maior quantidade, contribui para a manutenção da umidade do solo e para a redução das oscilações de temperatura, ambos de grande importância na manutenção da atividade microbiana. Além disso, o material

orgânico protege o solo contra a ação das chuvas que se iniciam em setembro, minimizando o problema da erosão (CARVALHO; FERREIRA NETO, 2000).

No solo, os resíduos senescentes são transformados pela ação dos organismos presentes. Esta transformação pode ocorrer de forma rápida ou lenta, dependendo da composição química e bioquímica dos resíduos. Normalmente, resíduos com altas concentrações de N, P e hemicelulose, e menores concentrações de lignina, celulose, e polifenóis, resultam em altas taxas de decomposição, considerando as mesmas condições edafoclimáticas (HÄTTENSCHWILER; VITOUSEK, 2000; MENDONÇA; STOTT, 2003; PRAVEEN-KUMAR et al., 2003). Por outro lado, para que haja uma maior proteção do solo, é desejável uma decomposição mais lenta dos resíduos e a sua acumulação sobre o solo, reduzindo as perdas por processos erosivos (MATOS et al., 2008).

Na Zona da Mata de Minas Gerais, Bioma Mata Atlântica, onde esse trabalho foi desenvolvido, os solos são altamente intemperizados, ácidos, e com baixas concentrações de nutrientes (CARDOSO et al., 2001). O relevo é muito movimentado, sendo observadas lavouras de café (*Coffea arabica*) ocupando encostas de montanhas com altas declividades e problemas de erosão laminar. Além disso, esses solos são dependentes do aporte de material orgânico para melhorar suas características químicas como, o aumento da soma de bases, a disponibilização de P e a redução da saturação de alumínio e da acidez do solo (CARDOSO et al., 2001). Neste caso, os SAFs propiciam cobertura eficiente do solo, tanto pela copa das árvores, quanto pela camada de serrapilheira, contribuindo para a redução da erosão e para a manutenção dos níveis de matéria orgânica, tornando-se uma alternativa de uso sustentável do solo (CARVALHO; FERREIRA NETO, 2000; PEREZ et al., 2004).

O café, principal cultura de renda da região (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA – IBGE, 2007), é originário de matas semidecíduas da Etiópia (MATSUMOTO, 2004) o que indica sua aptidão natural para o cultivo sombreado (MOGUEL; TOLEDO, 1999). Com isto, SAFs com café conciliam produção, renda, conservação do solo e ainda, prestação de adicionais serviços de ecossistemas, atribuídos muitas vezes, à sua diversidade (SOTO-PINTO et al., 2000; BEER et al., 2003; JOSE, 2009). Os SAFs, ao contrário de café a pleno sol, contribuem para conectar fragmentos de florestas presentes na região, diminuindo o isolamento e facilitando o fluxo gênico entre estes contribuindo para a conservação da biodiversidade no Bioma

Mata Atlântica (VANDERMEER; PERFECTO, 2007), uma das principais reservas de biodiversidade do mundo, porém se encontra mais ameaçada (MYERS et al., 2000).

Os benefícios advindos das árvores nos SAFs podem ser potencializados com a adequada escolha da espécie, ou pela combinação destas e do manejo a ser adotado no sistema. Na Zona da Mata, os agricultores apontaram como critérios para a seleção das espécies arbóreas a compor os SAFs: a sua compatibilidade com o café, indicada pela profundidade das raízes das árvores e aspectos sanitários do café; a quantidade de biomassa produzida; a necessidade de mão de obra para manejá-las; a diversificação da produção entre outros (SOUZA et al., 2010).

Com base nestes critérios, as espécies arbóreas, *Luehea grandiflora* (açoita cavalo), *Inga subnuda* (ingá), *Zeyheria tuberculosa* (ipê preto), *Senna macranthera* (fedegoso), *Erythrina verna* (mulungu), *Aegiphila sellowiana* (papagaio) e *Solanum mauritianum* (capoeira branca), nativas da Mata Atlântica, foram indicadas pelos agricultores como algumas das mais compatíveis com o café. As espécies frutíferas *Persea americana* (abacateiro) e *Musa sp* (bananeira), principalmente a variedade prata, embora exóticas, também estão entre as espécies mais indicadas, as quais diversificam a produção e a renda nestes sistemas. No caso da bananeira, diferente das árvores, o aporte de resíduos ocorre através do desbaste de perfilhos que brotam constantemente na touceira, e também pelo corte de plantas após a colheita.

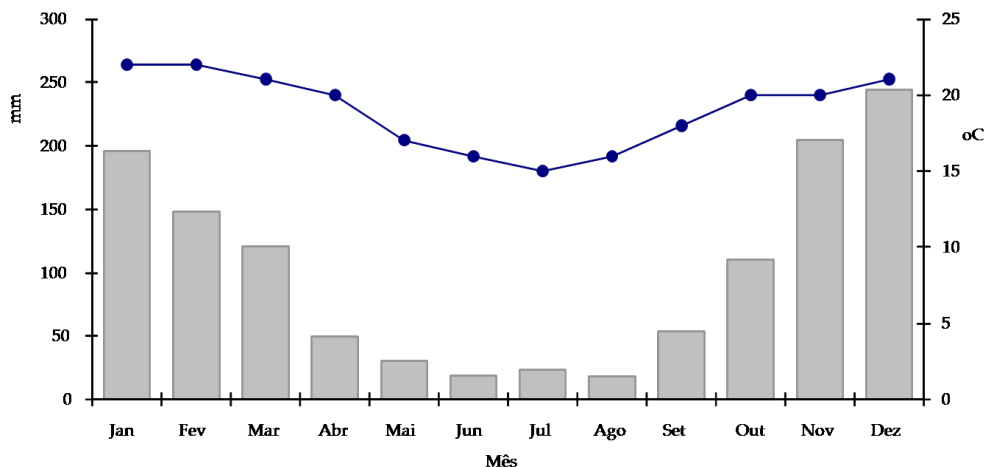
Apesar de a clareza dos critérios de escolha das espécies a serem utilizadas nos SAFs, os agricultores apontaram como um dos problemas na condução das experiências, a escassez ou inexistência de informações sobre o potencial de ciclagem das espécies arbóreas utilizadas. Espera-se que a quantidade, qualidade e distribuição temporal do resíduo aportado aos sistemas pelas espécies sejam diferentes entre si, e por isto influenciam diferentemente a ciclagem de nutrientes e a proteção do solo. O melhor conhecimento destas diferenças pode contribuir para o entendimento dos potenciais serviços de ecossistemas desempenhado por tais espécies e para o estabelecimento de estratégias de uso e manejo das espécies arbóreas nos SAFs (DUARTE et al., 2008), aumentando com isto, o numero de agricultores e de áreas manejadas com SAFs.

Dessa forma, este trabalho teve como objetivos avaliar: i) a quantidade de resíduo aportado pelas espécies ao longo do ano ii) os teores e aporte de nutrientes nos resíduos, iii) a translocação interna de nutrientes e, iv) as características químicas e bioquímicas que interferem na decomposição destes resíduos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de estudo e espécies avaliadas

A amostragem do material foi realizada em seis áreas de SAFs com café em propriedades de agricultores nos municípios de Araponga e Divino, localizados na Zona da Mata (Figura 1 da Introdução Geral). Nesta região o relevo é montanhoso com declividade variando de 20 a 45% nas encostas (GOLFARI, 1975) e predominam os Latossolos (KER, 1995). A agricultura local é caracterizada pela presença majoritária de agricultores familiares, sendo que, 42% das propriedades possuem área menor do que 10 ha e em média, 18% da população reside no meio rural (IBGE, 2000). A temperatura média é de 19°C e a precipitação média anual é de 1.300 mm (Figura 1), com um período seco de dois a quatro meses e precipitação mensal acima de 100 mm nos períodos de outubro a março. Na região, SAFs com café estão sendo experimentados, com sucesso, desde 1994 quando se iniciou uma experimentação participativa com 39 famílias de agricultores (CARDOSO et al., 2001).



Fonte: Disponível em www.inpe.br.

Figura 1 - Média mensal de temperatura (°C) e precipitação mensal (mm) na Zona da Mata, Minas Gerais (1960-1990).

Na região da Zona da Mata mineira, os SAFs, além de devolver as áreas degradadas ao sistema de produção, melhorando as características físicas, químicas e biológicas do solo (CARVALHO; FERREIRA NETO, 2000; MENDONÇA et al.,

2001; PEREZ et al., 2004), restabelecem a paisagem e conectam unidades de conservação e fragmentos de floresta isolados, reduzindo o efeito de borda nestes e contribuindo para a conservação da biodiversidade do Bioma Mata Atlântica (VANDERMEER; PERFECTO, 2007; SOUZA et al., 2010). Um exemplo pode ser dado pelas estruturas reprodutivas do ingá, fedegoso, mulungu, papagaio e capoeira branca, presentes nos SAFs, que constituem forte atrativo para pássaros e polinizadores (LORENZI, 1992). Os frutos de abacateiro e bananeira, além de melhorarem a alimentação e a renda da família, quando comercializados, contribuem para a alimentação da fauna, ampliando e equilibrando as redes alimentares do sistema.

As principais espécies utilizadas nestes experimentos, e selecionadas para o presente estudo, identificadas pelo nome científico, nome comum e família encontram-se no Quadro 1. Para as espécies açoita cavalo, ingá, ipê preto, fedegoso, mulungu e abacateiro as amostragens e análises foram feitas no período de 2005/2006 e o papagaio, a capoeira branca, e a bananeira foram amostrados em 2008/2010. Foram amostrados e analisados quatro indivíduos arbóreos em cada SAF (consideradas repetições).

Quadro 1 - Localização dos sistemas agroflorestais e classificação de espécies arbóreas usadas nestes sistemas nos municípios de Araponga e Divino, Zona da Mata de Minas Gerais, selecionadas para estudo de características relacionadas à ciclagem de nutrientes.

Coordenadas*	Município (comunidade)	Nome comum	Nome científico	Família
20°42'11,9"S e 42°31'10,8"W	Araponga (Lanas)	Abacate Papagaio	<i>Persea americana</i> Mill. <i>Aegiphila sellowiana</i> Cham.	Lauraceae Verbenaceae
20°41'40,7"S e 42°31'34,9"W	Araponga (Lanas)	Ingá	<i>Inga subnuda</i> subsp. <i>luschnathiana</i> (Benth.) T. D. Penn	Leguminosae
20°39'56,7"S e 42°32'40,2"W	Araponga (São Joaquim)	Mulungu	<i>Erythrina verna</i> Vell	Leguminosae
20°40'11,1"S e 42°33'11,6"W	Araponga (São Joaquim)	Fedegoso	<i>Senna macranthera</i> (DC. ex Collad.) H.S. Irwin & Barneby	Leguminosae
20°38'38,9"S e 42°30'00,6"W	Araponga (Pedra Redonda)	Capoeira branca Banana	<i>Sollanun mauritianum</i> <i>Musa sp.</i> cv. prata	Solanaceae Musaceae
20°40'56,6"S e 42°07'45,5"W	Divino (Carolinas)	Ipê preto Açoita cavalo	<i>Zeyheria tuberculosa</i> (Vell.) Bur. <i>Luehea grandiflora</i> Mart	Bignoniaceae Tiliaceae

* Coordenadas em DMS.

Também foram medidos o diâmetro da copa, a altura das árvores e o diâmetro à altura do peito (DAP) tomando-se estas no início e no final do período de coleta e calculando-se o valor médio. Para o diâmetro da copa tomou-se o raio da árvore em quatro direções perpendiculares com uma trena, considerando o formato da copa como circular. Para a altura utilizou-se uma vara graduada e, para o diâmetro à altura do peito (DAP), mediu-se com o auxílio de uma fita métrica, a circunferência à altura do peito (CAP) a qual foi usada no cálculo do DAP (SOARES et al., 2006).

2.2. Caracterização das espécies estudadas

As espécies avaliadas são heliófitas, pioneiras (capoeira branca, açoita cavalo, fedegoso, mulungu e papagaio) ou secundárias iniciais (ingá) e adaptam-se facilmente a solos pobres. Por sua vez, o ipê preto é mais exigente em fertilidade, mas todas podem ser utilizadas para o estabelecimento de SAFs em áreas degradadas. Algumas destas pertencem a gêneros de grande ocorrência em toda a extensão da Mata Atlântica, e até em outros biomas de ecossistemas tropicais (LORENZI, 1992; CARVALHO, 1994). Em sua maioria, apresentam característica decídua ou semidecídua aportando ao solo, principalmente, resíduos foliares. O abacateiro e a bananeira, embora sendo espécies exóticas, são muito bem adaptada às condições edafoclimáticas da região, produzindo e aportando grande quantidade de biomassa. As folhas do abacateiro são renovadas a cada dois anos e esta renovação é mais acentuada no período de florescimento da espécie (CASTRO; KUGLE, 2003). A bananeira apresenta perfilhamento abundante e necessita constantemente de podas de condução, gerando restos vegetais que são distribuídos sobre o solo da lavoura (ALVES et al., 2004). Dessa forma, é esperada de tais espécies, uma contribuição para a redução dos problemas de erosão do solo, além de aumento dos níveis de matéria orgânica e ciclagem de nutrientes já que nesta região, o relevo é muito movimentado e os solos são pobres em nutrientes, ácidos e com alta saturação por Al, conforme verificado por Ker (1995).

2.3. Aporte de resíduos aéreos

O material senescente das árvores foi coletado separado por árvore durante o período de um ano, uma vez que o espaçamento entre as árvores permitia um isolamento completo da copa, exceto para o ingá, cujas copas se encontravam. Para isso,

coletores de 0,25 m² (0,5 x 0,5 m), feitos de madeira e tela de nylon (malha de 2 x 2 mm) foram instalados sob a copa de cada árvore, a uma altura aproximada de 60 cm do chão. O material interceptado nos coletores foi mensalmente retirado e levado para o laboratório onde foram separados em folhas, estruturas reprodutivas (flores + frutos e sementes) e ramos menores que 2 cm de diâmetro. Em seguida estes foram submetidos à secagem (65°C por 72 horas), pesagem para quantificação de matéria seca (MS) e posteriormente moídos em moinho tipo Wiley, com peneira cuja abertura de malha era de 1 mm.

A massa seca total de material senescente foi calculada extrapolando, proporcionalmente, o aporte da área do coletor para a área média da copa (medidas inicial e final), considerando o aporte homogêneo em toda a extensão da copa. O cálculo para 1 ha de SAF foi feito utilizando-se o número médio de 100 árvores (espaçamento de 10 x 10 m), normalmente encontrado nestes SAFs, conforme citado em Souza et al. (2010). Assim foram calculados os aportes por mês, estação e ano.

Para a bananeira, foram selecionadas quatro touceiras saudáveis (consideradas repetições) e de porte representativo da área para amostragem. O mês de janeiro de 2009 foi o ponto inicial da avaliação. Neste período foi realizada uma poda de condução das plantas, deixando nas touceiras apenas as plantas mãe, filha e neta desejadas (ALVES et al., 2004). Três podas semelhantes à anterior foram realizadas em todas as repetições, no período de um ano: abril e setembro de 2009 e em janeiro de 2010. Todo o material podado foi separado em pseudocaule e folhas e, em seguida, pesados para quantificação da sua massa fresca. Amostrou-se o pseudocaule de duas plantas por touceira para verificação da MS e análises. Destes foram retirados três discos de 5 cm de espessura, sendo um disco no centro e os outros dois próximos das duas extremidades (base e ápice). Em cada disco retirou-se um pedaço no formato tipo “pizza” de tamanho correspondente a ¼, amostrando todo o material do centro até a parte mais externa. Os pedaços compuseram a amostra de pseudocaule na repetição. Para amostragem de folhas, coletou-se a terceira e quarta folha (a contar da mais nova para a mais velha) de várias plantas na touceira. Foram feitos cortes transversais na parte central das folhas retirando um pedaço de, aproximadamente, sete centímetros de comprimento, de modo que a amostra fosse composta por todos esses pedaços de folhas. A metodologia de coleta foi adaptada de Gomes (1988) e Faria (1997).

Na primeira coleta (abril), amostras de 300 a 500 g de cada órgão podado das plantas foram coletadas. Estas foram imediatamente pesadas (no campo) e levadas à

estufa (65°C, 72 h) para verificação da MS de resíduos. A MS aportada de folhas e de pseudocaule para cada coleta foi obtida pela soma das massas de material fresco de cada órgão da planta, descontando-se a umidade. O aporte total para cada tempo (coleta, ou ano) foi obtido pela soma da MS de folhas e MS de pseudocaule. Extrapolou-se o cálculo para um hectare de SAF, utilizando-se o número médio de 200 touceiras (espaçamento 7 x 7 m) por ha de SAF.

2.4. Coleta de material fresco

Foi coletado, mensalmente durante o mesmo período, o material fresco das árvores, tomando-se para tal, ramos localizados à altura mediana da copa. Destes ramos foram selecionados o terceiro e o quarto par de folhas, ramos inferiores a dois centímetros de diâmetro e estruturas reprodutivas presentes. As amostras foram secas (65°C por 72 h) e moídas.

2.5. Teores de nutrientes e translocação interna

O material seco e moído de cada órgão da planta (árvores) foi agrupado por estação (verão, outono, inverno e primavera) utilizando proporcionalmente, a mesma quantidade de material de cada mês da estação (g de MS). Tomou-se, por exemplo, material dos meses de janeiro, fevereiro e março, para compor a amostra coletada no verão.

Em todas as amostras, inclusiva as amostras de cada coleta da bananeira, determinou-se os teores de N, P, K, Ca, Mg, e também de Cu e Zn, sendo estes micronutrientes, de grande importância na nutrição do cafeeiro. Para a determinação de N utilizou-se o método Kjeldahl e os demais elementos foram analisados após digestão nítrico-perclórica. As determinações de P foram feitas por colorimetria, conforme Braga e Defelipo (1974), K por fotometria de chama e Ca, Mg, Cu, e Zn por espectrofotometria de absorção atômica (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA, 1999).

O teor médio anual de nutrientes no material coletado fresco na copa das árvores e no material senescente foi calculado pela média aritmética dos teores obtidos nas estações.

A translocação de nutrientes foi avaliada subtraindo-se os teores de nutrientes no material fresco dos teores no material senescente.

2.6. Aporte de nutrientes

O aporte anual de nutrientes pelas espécies foi obtido pelo produto dos teores de nutrientes dos resíduos e a quantidade de MS de material senescente aportado,

2.7. Caracterização bioquímica dos resíduos

A caracterização bioquímica foi realizada em amostras compostas de todas as repetições para cada órgão vegetal. Por exemplo, para a bananeira, a amostra de folhas foi composta de amostras de folhas da repetição 1 + folhas da repetição 2 + folhas da repetição 3 + folhas da repetição 4. O mesmo se fez para amostras de pseudocaule. Para as espécies arbóreas analisaram-se as folhas, estruturas reprodutivas e ramos. Os teores de N foram determinados pelo método de Kjeldhal, os polifenóis solúveis (PP) foram extraídos com metanol (50%) e determinados por colorimetria (ANDERSON; INGRAN, 1993). Lignina (LG), celulose (CL) e hemicelulose (HC) foram determinadas pelo método da fibra em detergente neutro (FDN) e fibra detergente ácido (FDA), ou método de Van Soest (GOERING; VAN SOEST, 1975). Os valores de hemicelulose no material analisado foram determinados por diferença, subtraindo da FDN a FDA. Os teores de celulose também foram obtidos subtraindo lignina da FDA.

2.8. Análises dos dados

Os dados de aporte de MS e de nutrientes no material senescente das espécies foram previamente normalizados de forma a atender os pressupostos de normalidade (Liliefors $p = 0,05$) e homocedasticidade (Cochran $p = 0,01$). Análises de variância, seguida do teste de médias (Scott Knott, $p < 0,05$) foram feitas para testar diferenças entre as espécies. Os dados foram apresentados sem as transformações para melhor compreensão da informação.

3. RESULTADOS

3.1. Porte das árvores

A altura, o diâmetro da copa e o diâmetro à altura do peito de cada espécie avaliada são apresentados no Quadro 2.

A área média da copa variou de 11,2 m² para ipê preto a 101,2 m² para capoeira branca, sendo as espécies capoeira branca, fedegoso e ingá as que apresentaram maior tamanho de copa e o ipê preto e o mulungu as que apresentaram menor tamanho de copa. A altura média das árvores não variou muito entre espécies sendo de 8,1 m para abacateiro a 10,3 m para mulungu e o DAP de 13,6 para ingá a 26,1 para capoeira branca.

Quadro 2 - Área da copa, altura e diâmetro a altura do peito de árvores, usadas em sistemas agroflorestais nos municípios de Araçuaia e Divino, Zona da Mata de Minas Gerais (n=4).

Espécies	Área média da copa (m ²)	Altura (m)	DAP (cm)
Abacate	26,4 ± 1,1	8,6 ± 1,1	16,5 ± 1,8
Açoita-cavalo	20,9 ± 3,5	8,1 ± 0,8	21,8 ± 1,2
Fedegoso	53,8 ± 11,9	9,2 ± 1,0	18,0 ± 2,8
Ingá	44,1 ± 10,3	9,2 ± 0,5	13,6 ± 0,9
Ipê-preto	11,2 ± 2,9	8,8 ± 0,9	16,0 ± 3,0
Mulungu	16,3 ± 4,2	10,3 ± 1,1	20,1 ± 2,8
Papagaio	42,6 ± 11,5	10,2 ± 0,7	20,6 ± 3,2
Capoeira branca	101,2 ± 3,6	9,9 ± 0,7	26,1 ± 2,6

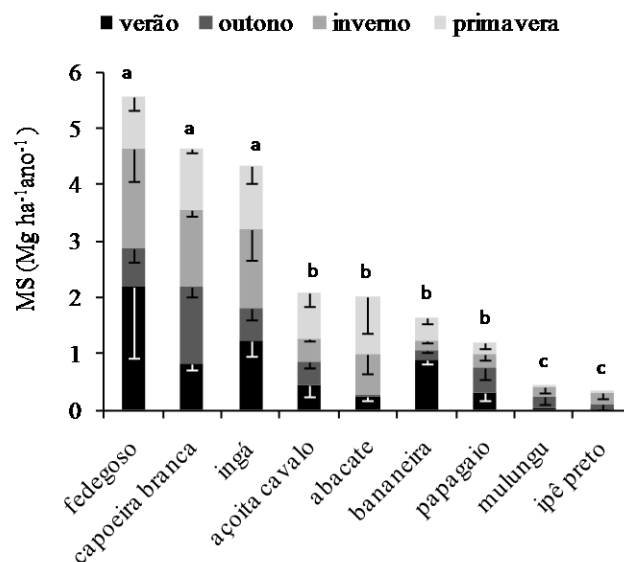
3.2. Aporte de resíduos

A Figura 2 apresenta os dados de aporte anual de material senescente de espécies utilizadas nos SAFs da Zona da Mata de Minas Gerais. No Anexo A, encontra-se o quadro de ANOVA de MS. A MS de resíduos aportada variou entre as espécies ($p < 0,05$), possibilitando a formação de três grupos. O fedegoso, a capoeira branca e o ingá, formaram o grupo das espécies que aportaram maior quantidade, variando de 4,3 a

5,6 Mg ha⁻¹ ano⁻¹. O açoita cavalo o abacateiro, a bananeira e o papagaio formaram o grupo intermediário, com aportes de 1,2 a 2,1 Mg ha⁻¹ ano⁻¹. Já o mulungu e o ipê preto formaram o grupo das espécies com o menor aporte sendo este de 0,3 a 0,4 Mg ha⁻¹ ano⁻¹.

Dividindo-se o ano em período chuvoso (primavera/verão), e período seco (outono/inverno), verificou-se que o fedegoso, o ingá e a capoeira branca aportaram quantidades de material mais uniformemente distribuídas nestes dois períodos. O fedegoso aportou 56% e 44% no período chuvoso e seco, respectivamente, enquanto para o ingá este foi de 53 e 46% e para a capoeira branca, 42 e 58 %. O mulungu, o ipê preto e o papagaio concentraram o aporte no período mais seco sendo este de 65, 92 e 57%, respectivamente. O abacateiro e a bananeira reduziram a produção de biomassa no período seco, concentrando-a no período chuvoso.

Em média, houve predomínio de folhas (60%), seguida de estruturas reprodutivas (28%) e ramos (12%) nos resíduos das espécies arbóreas. Entretanto, para os resíduos de fedegoso e abacateiro houve predomínio de estruturas reprodutivas em relação ao total sendo estes percentuais de 47 e 62%, respectivamente. O papagaio também apresentou 43% de estruturas reprodutivas no total de resíduos senescentes (dados não apresentados).



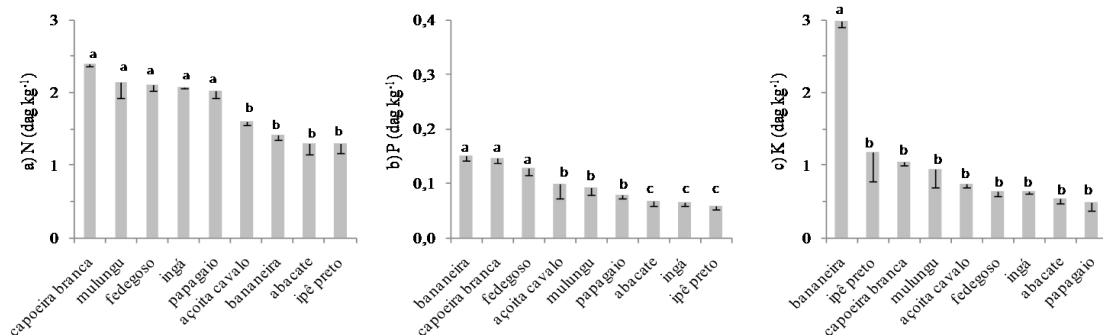
Médias com a mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott Knott ($p < 0,05$).

Figura 2 - Aporte sazonal de material senescente de espécies arbóreas e bananeira em sistemas agroflorestais nos municípios de Araponga e Divino, Zona da Mata de Minas Gerais.

A quantidade de água presente nos órgãos da bananeira foi em média de 90%, sendo esta quantidade de água muito maior do que a presente nos órgãos das demais espécies. O pseudocaule da bananeira apresentou 94,4%, a ráquis 90,5% e o limbo 81,1% de umidade.

3.3. Teores de nutrientes e translocação

As Figuras 3, 4 e 5 apresentam os teores médios de macro e micronutrientes em resíduos senescentes das principais espécies utilizadas nos SAFs. No Anexo A, encontra-se o quadro de ANOVA de teores de nutrientes. Teores de todos os nutrientes avaliados (N, K, Ca, P, Mg, Zn e Cu) variaram entre as espécies ($p < 0,05$). O N (Figura 3a) foi o nutriente presente em maior concentração nos resíduos das espécies em geral, exceto em resíduos de bananeira. As espécies: capoeira branca, mulungu, fedegoso, ingá e papagaio apresentaram os maiores teores de N (2,0 a 2,4 dag kg⁻¹) e não diferiram entre si. As demais espécies: bananeira, abacate, papagaio e açoita cavalo apresentaram teores menores variando de 1,3 a 1,6 dag kg⁻¹ não se diferenciando entre si.



Médias com letras iguais não diferem entre si pelo teste de Scott Knott ($p < 0,05$).

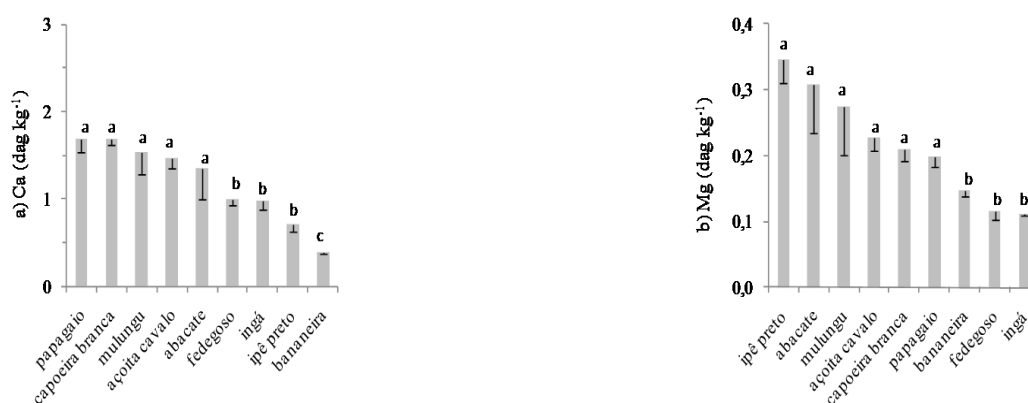
Figura 3 - Teores médios de N (a), P (b) e K (c) em resíduos senescentes das espécies arbóreas e bananeira em sistemas agroflorestais nos municípios de Araponga e Divino, Zona da Mata de Minas Gerais.

Quanto às concentrações de P (Figura 3b) as espécies diferiram entre si formando três grupos sendo que a bananeira, a capoeira branca e o fedegoso formaram o grupo das espécies com maior teor (0,13 a 0,15 dag kg⁻¹). O açoita cavalo, mulungu e

papagaio formaram o grupo com teores intermediários (0,08 a 0,10 dag kg⁻¹). O abacate, ingá e ipê preto formaram o grupo com menores teores (0,07 dag kg⁻¹).

A bananeira diferiu das demais espécies sendo a mais rica em K (Figura 3c), com concentração de 3,0 dag kg⁻¹. As demais espécies não diferiram entre si quanto aos teores de K que variaram de 0,5 a 1,2 dag kg⁻¹. Assim o K em resíduos de bananeira é de 2,5 a 6 vezes mais concentrado do que em resíduos das demais espécies.

O Ca foi o segundo nutriente mais abundante nos resíduos senescentes de maioria das espécies (Figura 4a).



Médias com letras iguais não diferem entre si pelo teste de Scott Knott ($p < 0,05$).

Figura 4 - Teores médios de Ca (a) e Mg (b) em resíduos senescentes de espécies arbóreas e bananeira em sistemas agroflorestais nos municípios de Araponga e Divino, Zona da Mata de Minas Gerais.

O papagaio, a capoeira branca, o mulungu, o açoita cavalo e o abacateiro não diferiram entre si e apresentaram os maiores teores (1,36 a 1,69 dag kg⁻¹) comparados com o fedegoso, o ingá e o ipê preto, os quais também não diferiram entre si e apresentaram teores maiores (0,71 a 1,01 dag kg⁻¹) do que os da bananeira (0,39 dag kg⁻¹). As espécies que apresentaram os maiores teores de Mg (Figura 4b) foram o ipê preto, abacateiro, mulungu, açoita cavalo, capoeira branca e papagaio (0,20 a 0,35 dag kg⁻¹). Apresentaram os menores teores (de 0,10 a 0,15 dag kg⁻¹) a bananeira, o fedegoso e o ingá.

Para o Zn (Figura 5a), as espécies, ipê preto, açoita cavalo, papagaio e capoeira branca apresentaram em seus resíduos de 25,5 a 36,5 mg kg⁻¹ de MS, não diferindo entre si.

Para as demais espécies os teores foram menores e similares entre si, variando de 12,6 mg kg⁻¹ a 21,9 mg kg⁻¹. Já para o Cu, as espécies que apresentaram as maiores concentrações (Figura 5b) em seus resíduos foram papagaio, mulungu, açoita cavalo, fedegoso, ipê preto, ingá e abacateiro (8,4 a 18,3 mg kg⁻¹), não diferindo entre si. Por sua vez, capoeira branca e bananeira (2,4 a 5,5 mg kg⁻¹) apresentaram os menores teores sendo estes similares entre si.



Médias com letras iguais não diferem entre si pelo teste de Scott Knott ($p < 0,05$).

Figura 5 - Teores médios de Zn (a) e Cu (b) em resíduos senescentes de espécies arbóreas e bananeira em sistemas agroflorestais nos municípios de Araponga e Divino, Zona da Mata de Minas Gerais.

No Quadro 3, verifica-se a translocação de nutrientes, sendo estes redistribuídos (valores positivos) ou acumulados (valores negativos) nos diferentes órgãos (folhas, estruturas reprodutivas e ramos) das espécies avaliadas.

O N foi redistribuído do material senescente de maioria das espécies avaliadas, portanto, deixando este material mais pobre em N, comparado ao material fresco retirado da copa da árvore. Tomando-se os teores como 100% no material fresco (folhas, estruturas reprodutivas e ramos), a redistribuição ou perda de N em folhas senescentes das espécies foi de 17 a 45%. Em estruturas reprodutivas senescentes de fedegoso, ingá e capoeira branca também houve redistribuição de menos de 10% do N, enquanto as demais espécies, pelo contrário, acumularam até 70% a mais de N nestas estruturas. Já em ramos senescentes de mulungu e da capoeira branca este também foi redistribuído (até 20%) enquanto que nas demais espécies o teor deste foi acumulado em até 50%.

Quadro 3 - Redistribuição interna (valores positivos) ou acumulação (valores negativos) de nutrientes em folhas, estruturas reprodutivas e ramos de espécies arbóreas utilizadas em sistemas agroflorestais nos municípios de Araponga e Divino, Zona da Mata de Minas Gerais

Espécies	N	P	K	Ca	Mg	Zn	Cu
 dag kg ⁻¹ mg kg ⁻¹
	Folhas						
Abacate	0,92	0,06	0,49	-0,53	-0,09	2,56	-1,80
Açoita cavalo	0,48	0,05	0,51	-0,46	-0,04	-5,94	0,75
Mulungu	1,52	0,11	0,73	-0,18	0,05	5,88	-3,43
Fedegoso	1,42	0,12	0,77	-0,31	0,01	2,79	1,44
Ingá	1,03	0,08	0,20	-0,27	0,00	1,77	-1,28
Ipê preto	0,25	0,02	0,13	-0,29	-0,05	-6,81	4,93
Papagaio	0,49	0,06	0,79	-0,65	0,09	0,94	-0,95
Capoeira branca	1,61	0,15	1,61	-0,66	0,05	8,99	0,76
	Estruturas reprodutivas						
Abacate	-0,64	-0,01	0,24	-0,23	-0,09	-10,73	-5,78
Açoita cavalo	-0,27	0,00	0,09	-0,34	-0,07	-10,37	-4,82
Mulungu ¹	-	-	-	-	-	-	-
Fedegoso	0,24	0,08	0,53	-0,32	0,03	1,14	-0,08
Ingá	0,11	0,07	0,69	-0,35	-0,02	-2,43	-2,26
Ipê preto	-0,76	-0,05	-0,27	-0,02	-0,12	-11,20	-9,25
Papagaio	-0,42	-0,01	0,64	-0,26	0,01	3,12	-5,49
Capoeira branca	0,25	0,02	0,91	-0,43	-0,04	7,62	-1,19
	Ramos						
Abacate	-0,09	0,03	0,06	-0,33	-0,26	0,40	-2,99
Açoita cavalo	-0,28	0,01	0,23	-0,57	-0,13	-55,95	-12,05
Mulungu	0,38	0,06	0,36	-1,39	-0,10	7,30	-4,30
Fedegoso	-0,43	0,03	-0,05	-0,36	0,01	0,18	-2,06
Ingá	-0,29	0,02	0,16	-0,40	-0,06	-5,14	-14,19
Ipê preto	-0,18	0,06	1,14	-0,40	-0,01	-12,66	-2,69
Papagaio	-0,42	0,00	0,65	-0,47	-0,02	-17,42	-8,62
Capoeira branca	0,03	0,07	1,46	-0,67	-0,01	3,93	-1,93

¹Mulungu não apresentou estruturas reprodutivas durante o período deste estudo.

O P e o K foram redistribuídos (ou lixiviados, no caso do K) de folhas, estruturas reprodutivas e ramos senescentes de maioria das espécies estudadas (Quadro 3). Para o P a redistribuição (entre 40 e 58% para maioria das espécies) aconteceu em folhas e ramos de todas as espécies, excetuando-se a isto o abacateiro, ipê preto e papagaio, que sinalizaram acúmulo de P em suas estruturas reprodutivas senescentes. Para o K, o ipê preto acumulou pequenas somas deste nutriente (2 a 19%) em folhas e estruturas reprodutivas, e o fedegoso acumulou até 7%, em ramos. Para as demais espécies a redistribuição ou perdas em qualquer das estruturas foi de 7 até 70% , sendo acima de 40% para a maioria das espécies. Em estruturas reprodutivas observaram-se menores percentuais de redistribuição, comparada a folhas e ramos.

O Ca foi acumulado em resíduos de todas as espécies somando-se percentuais acima de 15% em resíduos foliares de todas as espécies e chegando a 60 e até 100 % de acúmulo sobre os valores observados, respectivamente, no material foliar e estruturas reprodutivas frescas. Mg também foi acumulado (30% para a maioria e até 100% em outras), principalmente em estruturas reprodutivas e ramos de maioria das espécies e redistribuído em outras, sendo menores os percentuais de redistribuição (raramente chegando a 20%). O Zn foi acumulado em ramos e estruturas reprodutivas de maioria das espécies (Quadro 3). Porém nas folhas, o Zn só foi acumulado para o açoita cavalo e o ipê preto, sendo os percentuais de acúmulo normalmente maiores (comuns entre 60 e 100%) do que os de redistribuição (até 30%). O Cu foi acumulado em ramos e estruturas reprodutivas de todas as espécies avaliadas e em folhas de metade delas, sendo comuns percentuais de acúmulos entre 30 e 50%. A redistribuição (8 a 23%) foi observada em folhas de açoita cavalo, fedegoso, ipê preto e capoeira branca.

3.4. Conteúdo de nutrientes

Os aportes de nutrientes nos resíduos senescentes das espécies apresentaram, no geral, a seguinte ordem decrescente: $N > Ca > K > Mg > P$ e $Zn > Cu$. Os maiores aportes de N (112, 111 e 91 kg ha⁻¹ ano⁻¹) foram respectivamente verificados em resíduos de fedegoso, capoeira branca e ingá. O açoita cavalo, bananeira papagaio e abacateiro aportaram quantidades intermediárias (22 a 33 kg ha⁻¹ ano⁻¹). O mulungu (8 kg ha⁻¹ ano⁻¹) e o ipê preto (5 kg ha⁻¹ ano⁻¹) aportaram as menores quantidades.

Para o Ca, os maiores aportes foram verificados em resíduos de capoeira branca, fedegoso e ingá (41 a 78 kg ha⁻¹ ano⁻¹). O açoita cavalo, o papagaio e o

abacateiro (18 a 30 kg ha⁻¹ano⁻¹) aportaram quantidades intermediárias enquanto o mulungu, a bananeira e o ipê preto aportaram menores quantidades (2 a 8 kg ha⁻¹ano⁻¹).

Para o K, os maiores aportes foram verificados em resíduos de bananeira, capoeira branca, fedegoso, e ingá (28 a 49 kg ha⁻¹ano⁻¹). O açoita cavalo e abacateiro (10 a 16 kg ha⁻¹ano⁻¹) aportaram quantidades intermediárias enquanto o mulungu, papagaio e ipê preto aportaram as menores quantidades de K (4 a 5 kg ha⁻¹ ano⁻¹).

O maior aporte de Mg foi verificado em resíduos de capoeira branca (9,6 kg ha⁻¹ano⁻¹). Para fedegoso, ingá, açoita cavalo e abacateiro estes aportes foram intermediários (4,2 a 5,8 kg ha⁻¹ano⁻¹), e para bananeira, papagaio, mulungu e ipê preto estes foram menores (1,0 a 2,4 kg ha⁻¹ano⁻¹).

Quanto ao P, os maiores aportes (2,5 a 6,8 kg ha⁻¹ano⁻¹) foram verificados para a capoeira branca, fedegoso, ingá e bananeira. O açoita cavalo, abacateiro e papagaio, aportaram quantidades intermediárias (1,0 a 1,8 kg ha⁻¹ano⁻¹), enquanto o mulungu e ipê preto aportaram as menores quantidades (0,2 a 0,3 kg ha⁻¹ano⁻¹).

Em termos de micronutrientes os maiores aportes de Zn (62 a 119 g ha⁻¹ano⁻¹) foram verificados para a capoeira branca, fedegoso, açoita cavalo, e ingá. O papagaio, abacateiro e a bananeira também apresentaram aportes consideráveis sendo estes de 21 a 40 g ha⁻¹ ano⁻¹. O ipê preto e o mulungu aportaram as menores quantidades (6 a 8 g ha⁻¹ano⁻¹). Já para o Cu, o maior aporte foi verificado para o fedegoso (65 g ha⁻¹ano⁻¹). O ingá, o açoita cavalo, a capoeira branca, o papagaio e o abacateiro (15 a 37 g ha⁻¹ano⁻¹). O mulungu, a bananeira e o ipê preto (4 a 6 g ha⁻¹ ano⁻¹) aportaram as menores quantidades.

3.5. Caracterização bioquímica dos resíduos

Os teores de N, celulose, lignina, polifenóis, e relações LG/N, LG/PP, PP/N e (LG + PP)/N em folhas, ramos e frutos de espécies arbóreas avaliadas são apresentadas no Quadro 4. Os maiores teores de N (3,2 a 3,9 %) foram verificados em folhas de mulungu, fedegoso, ingá, ambas leguminosas, além do papagaio e capoeira branca. Estruturas reprodutivas das espécies apresentaram teores frequentemente acima que 2,5 dag kg⁻¹. Nos ramos estes foram menores.

Quadro 4 - Teores de nitrogênio (N), celulose (CL), lignina (LG), polifenóis (PP), e relações LG/N, LG /PP, PP/N e (LG + PP)/N em folhas, ramos e frutos de espécies arbóreas utilizadas em sistemas agroflorestais na Zona da Mata de Minas Gerais

Espécies	N	CL	LG	PP	LG/N	LG /PP	(LG+PP)/N
	(%)						
	Folhas						
Abacate ¹	2,1	12,8	21	7,3	10,2	2,9	13,8
Açoita-cavalo ¹	2,1	17,2	13,6	8,3	6,4	1,6	10,3
Mulungu ¹	3,3	13,4	7,7	6,4	2,0	1,2	3,7
Fedegoso ¹	3,6	11,3	15,4	7,6	4,2	2,0	6,3
Ingá ¹	3,2	21,3	27,3	4,8	8,6	5,7	10,1
Ipê-preto ¹	2,2	15,5	14,5	4,4	6,5	3,3	8,4
Papagaio ¹	3,8	14,7	18,2	4,9	4,8	3,7	6,0
Capoeira branca ²	3,9	22,4	7,5	3,7	1,9	2,0	2,9
Bananeira	1,8	27,8	33,8	6,5	19,3	5,2	23,0
	Ramos						
Abacate ³	0,64	29,2	11,9	2,0	18,6	6,0	21,7
Açoita-cavalo ³	0,79	33,1	14,5	3,9	18,4	3,7	23,3
Mulungu ³	1,6	28	11,9	2,9	7,4	4,1	9,3
Fedegoso ³	0,96	34,5	13,2	3,3	13,8	4,0	17,2
Ingá ³	1,1	38,4	20,3	1,5	18,5	13,5	19,8
Ipê-preto ³	0,97	32	15	3,1	15,5	4,8	18,7
Papagaio ³	1,33	33,4	17,3	2,2	13,0	7,9	14,7
Capoeira branca ²	1,3	46,6	14,6	0,8	11,2	18,3	11,8
Bananeira	1,58	41,6	12,9	3,6	8,2	3,6	10,5
	Estruturas reprodutivas						
Açoita-cavalo ³	1,53	27,4	14,1	7,3	9,2	1,9	14,0
Fedegoso ³	2,61	14,7	5,4	6,4	2,1	0,8	4,5
Ingá ³	2,54	20,7	14,2	6,5	5,6	2,2	8,1
Ipê-preto ³	1,05	15,1	9,8	4,8	9,3	2,0	13,9
Papagaio	2,26	43,9	34,7	7,5	15,3	4,6	18,6
Capoeira branca ²	2,61	39,1	15,2	16,6	5,8	0,9	12,2

Fonte: Adaptado de ¹Duarte et al. (2012); ²Mendonça e Stott (2003); ³Duarte (2007).

Altos teores de celulose foram verificados em ramos (28 a 47%) e estruturas reprodutivas (15 a 44%) comparados com esses teores nas folhas (13 a 28%) das espécies. Os teores de lignina foram elevados (mais de 20%) em folhas de bananeira, ingá, papagaio, em ramos de ingá e em estruturas reprodutivas de papagaio. Os menores teores (menos de 10%) foram verificados em folhas de mulungu e capoeira branca e em estruturas reprodutivas de fedegoso e de ipê-preto. Os teores de polifenóis foram mais

elevados em estruturas reprodutivas de capoeira branca (16,6%) e baixas em ramos no geral (0,8 a 3,9%).

Maiores valores de relações LG/N, LG/PP e (LG + PP)/N foram obtidos em ramos de espécies arbóreas e em folhas da bananeira, tendo em vista os baixos teores de N e altos teores de lignina e celulose. Também foram observados altas relações LG/N e (LG + PP)/N em estruturas reprodutivas de papagaio e alta relação (LG + PP)/N em estruturas reprodutivas de capoeira branca. Comparando entre espécies, os teores de celulose foram superiores a 15% em folhas e estruturas reprodutivas de açoita cavalo, ingá, capoeira branca e bananeira e em ramos de todas as espécies.

As relações LG/N foram ≥ 5 em folhas e em estruturas reprodutivas de açoita cavalo, ingá, papagaio e de ipê preto, em folhas de abacateiro e bananeira e em ramos de todas as espécies; relações LG/PP > 3 foram observadas em folhas e estruturas reprodutivas de papagaio, em folhas de abacateiro, ingá, ipê preto e bananeira e em ramos de todas as espécies. Relações (LG + PP)/N > 10 foram observadas em folhas de abacateiro, açoita cavalo, ingá e bananeira, em estruturas reprodutivas de abacate, ipê-preto e papagaio, e em ramos de todas as espécies exceto de mulungu.

4. DISCUSSÃO

4.1. Porte das árvores

O diâmetro da copa das árvores, apresentados no Quadro 2 mostra uma relação direta com a quantidade de resíduos aportados. As espécies que apresentaram maior diâmetro de copa (capoeira branca, fedegoso e ingá) foram também as que aportaram maior MS de resíduos (mais de 4 Mg ha⁻¹ano⁻¹ de MS). As espécies que apresentaram menor diâmetro de copa (mulungu e ipê preto) foram também as que aportaram menor MS de resíduos. O maior diâmetro de copa e maior aporte de resíduos, possivelmente, tem uma aplicação prática promovendo uma eficiente cobertura do solo e controle de plantas espontâneas. A altura das árvores (8,5 a 10,5 m) e o DAP (14,0 a 26,0 cm) sinalizam que estas foram avaliadas em estágio adulto, sendo que os SAFs foram implantados entre 1994 e 1995.

4.2. Aportes de resíduos

Este estudo revelou o grande potencial de espécies como a capoeira branca, o fedegoso, o ingá, o açoita cavalo, o abacateiro, a bananeira e o papagaio em aportar resíduos ao solo e ciclar nutrientes. Estudos realizados nestes mesmos SAFs mostraram que a grande maioria das espécies arbóreas utilizadas possui a função de proteger o solo e melhorar sua qualidade (FERNANDES, 2007) por meio de constante aporte de material orgânico, além de diversificar a produção, como a bananeira e o abacateiro (SOUZA et al., 2010). A inserção de árvores nos cultivos além de ampliar a oferta de alimentos e habitat (MORENO-CALLES, 2010), mantém nestes, os serviços de ecossistemas (JOSE, 2009).

Em florestas estacionais semidecíduais da região Sudeste e Sul do Brasil, o aporte de MS de resíduos pode variar de 7,7 a 11,6 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ (DINIZ; PAGANO, 1997; DIAS; OLIVEIRA FILHO, 1997; KÖNIG, 2002). Por sua vez, Montagnini et al. (1995) quantificou o acúmulo de resíduos em mata primária, secundária e em área de reflorestamento heterogêneo com 14 a 15 anos de idade e encontrou valores de 12, 15 e 10 Mg ha⁻¹ano⁻¹, respectivamente. Em um SAF na Zona da Mata de Minas Gerais, Arato et al. (2003) encontraram aporte de 10 Mg ha⁻¹ano⁻¹. Entretanto, nesses ambientes o aporte foi calculado considerando uma total cobertura da área, além de ser mais densa e diversa em espécies. Neste estudo, o cálculo considerou apenas a contribuição isolada de cada espécie, numa densidade média de 100 árvores por hectare, citado por Souza et al. (2010) e, no caso da bananeira, 200 touceiras por hectare, o que não é suficiente para uma cobertura total da área (Figura 2). É importante ressaltar também que o aporte contabilizado é apenas do componente arbóreo, entretanto, os SAFs possuem também outros extratos que contribuem com o aporte de resíduos ao solo, no caso, o arbustivo (café, dentre outros) e o herbáceo (plantas espontâneas). Também é importante considerar que a contribuição contabilizada se dá acima do solo, mas existe também a contribuição abaixo deste, pela morte e renovação de raízes a qual não foi contabilizada.

Estudos do aporte de material senescente de espécies arbóreas individualizadas são escassos. São mais comuns quantificações feitas em florestas, ou seja, de uma mistura de espécies, não sendo encontrados valores de referência para as espécies incluídas neste estudo. Reis et al. (2010) quantificaram os resíduos e nutrientes aportados pelo ipê preto conduzido em sistema silvopastoril com 10 anos de

implantação, localizado em área de cerrado, em Minas Gerais, numa densidade de 160 árvores por hectare. O aporte foi de 4,4 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de MS (ou 2,8 Mg, se considerados 100 plantas por hectare), valor bem superior aos 0,3 kg ha⁻¹ verificados neste estudo. Porém neste, as mensurações foram feitas em plantas jovens, ainda sem frutificação enquanto Reis et al. (2010) estudaram plantas no cerrado (clima mais seco, que favorece a maior queda de folhas) já em estágio de frutificação. O fruto do ipê preto é grande e pesado incrementando consideravelmente a MS de resíduos aportada pela espécie. Em avaliações feitas em SAFs, em Rondônia, Correa et al. (2006) encontraram aportes de 2,7 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ para o abacateiro, sendo este valor também superior ao deste estudo (2,0 Mg ha⁻¹ ano⁻¹). As condições climáticas da região Amazônica, cuja precipitação e temperatura mais elevadas o ano inteiro, favorecem uma maior produção de biomassa comparada à Mata Atlântica.

Montagnini et al. (1995) quantificaram o acúmulo de serapilheira de 20 espécies nativas da Mata Atlântica, entre elas a espécie *Inga afinis*, com idade entre 14 e 15 anos, e espaçamento 2,0 x 2,0 m, chegando a um acúmulo de resíduos de 23 Mg ha⁻¹ano⁻¹ (ou 0,92 Mg ha⁻¹, se consideramos espaçamento de 10 x 10 m), portanto, inferior ao encontrado neste estudo (4,3 Mg ha⁻¹ano⁻¹). Entretanto estudamos *I. subnuda* e não *I. afinis*.

Na maioria das espécies arbóreas, as folhas predominaram nos resíduos com percentual médio de 60% em relação ao total aportado, concordando com a maioria dos estudos realizados em diversos ambientes florestais tropicais, no qual estes percentuais variaram de 68 a 72% (ARATO et al., 2003; MEENTMEYER et al., 1982; DIAS; OLIVEIRA FILHO, 1997). Entretanto, algumas espécies apresentaram predomínio das estruturas reprodutivas como o abacate (62%) e fedegoso (47%).

Neste estudo cada espécie avaliada apresentou uma dinâmica sazonal característica de aporte de resíduo. As condições edafoclimáticas locais, a fisiologia da planta e o uso de diferentes mecanismos de alocação e assimilação de recursos (energia, água, nutriente) interferem no aporte de resíduos pelas espécies. Algumas florescem ou frutificam abundantemente por vários meses. Tal característica interfere na quantidade de resíduos e na distribuição temporal de aporte desses pela espécie. Estas são classificadas como espécies de floração estendida (FERNANDES, 2007). Um exemplo de espécies com esse comportamento é o fedegoso, cujo aporte de estruturas produtivas foi superior a 30% do total de resíduos aportado em todas as estações.

A implicação prática do aporte de resíduos no qual predominam as estruturas reprodutivas é a alta ciclagem de P, cuja concentração é alta nestas estruturas, superiores àquelas apresentadas nas folhas. Tal característica torna essas espécies interessantes, sendo o P um dos nutrientes mais responsivos em cultivos de ambientes tropicais, pois é facilmente fixado pelas argilas do solo, tornando-se pouco disponível para as plantas.

Em nosso estudo, 64 % do P aportado no material senescente de papagaio foi proveniente de estruturas reprodutivas. Este percentual foi de 71% para o fedegoso e 76% para o abacate. A ciclagem de P em solos tropicais é de grande importância,

Em geral, o aporte médio de material senescente das espécies arbóreas foi maior no inverno, período seco, sendo este resultado esperado para espécies nativas de florestas estacionais semidecíduais, cujo pico máximo de queda de folhas das árvores ocorre no período seco (MARTINS; RODRIGUES, 1999). Este comportamento é atribuído a pouca umidade do solo que provoca na planta estresse hídrico seguido de uma série de eventos fisiológicos resultando na abscisão foliar (WRIGHT, 1977; APELBAUN; YANG, 1981). Para König (2002), a temperatura também influencia. Espécies mais sensíveis como o mulungu, a capoeira branca e o papagaio perdem as folhas ainda no final do outono. O abacateiro por ser frutífera e exótica apresenta uma dinâmica diferente de aporte, direcionando os maiores aporte para o período de frutificação e amadurecimento de fruto, concentrando-se no inverno e na primavera. Já a bananeira é uma espécie sensível ao estresse hídrico e a baixas temperaturas reduzindo o crescimento e também as podas e o aporte neste período.

A perda de folhas no período do inverno é desejável para os agricultores e é um critério adotado por eles na seleção das espécies para compor os SAFs (SOUZA et al., 2010), pois esta característica permite o aumento da incidência do sol para o cafeeiro, que necessita de maior insolação para que haja a indução floral e esta acontece no período de abril a junho, nesta região. Nesta época, o sombreamento da lavoura não deve exceder 30%, caso contrário, a indução floral fica prejudicada com reflexos na produtividade da lavoura (BAGGIO et al., 1997, citado por MATSUMOTO, 2004). Esta sincronia entre a perda de folhas pelas espécies e a indução floral do cafeeiro diminui a necessidade de podas das árvores (SOUZA et al., 2010) resultando em menor gasto de mão de obra na condução do sistema.

Outro efeito importante do maior aporte de resíduos no inverno é o acúmulo de uma espessa camada de material, protegendo o solo contra a ação das chuvas que se

iniciam em setembro e minimizando a erosão. Em SAFs da região, a perda de solo foi de 217,3 kg ha⁻¹ ano⁻¹, enquanto que em lavouras convencionais, essa perda foi em torno de 2.611,9 kg ha⁻¹ ano⁻¹ (CARVALHO; FERREIRA NETO, 2000). Além disso, esse aporte de material senescente ao solo no período mais seco do ano, mantém a umidade do solo resultando em maior estabilidade hídrica e térmica destes sistemas. Este efeito é ainda de grande importância para manter, mesmo que reduzida, a atividade biológica do solo.

4.3. Teores de nutrientes e translocação

Há poucos estudos sobre os teores de nutrientes em resíduos senescentes de espécies arbóreas nativas da Mata Atlântica. Montagnini et al. (1995) encontraram teores de N variando de 1,0 a 1,9 dag kg⁻¹ para espécies leguminosas e de 0,7 a 1,5 dag kg⁻¹ para outras espécies. Portanto menores que os encontrados neste estudo cujos teores variaram de 1,8 a 2,3 dag kg⁻¹ (Figura 3a) e foram superiores a 2,0 dag kg⁻¹ para as leguminosas (fedegoso, ingá e mulungu) e para a capoeira branca e o papagaio. Os mesmos autores avaliaram também os teores de P que variaram de 0,01 a 0,04 dag kg⁻¹ para todas as espécies, sendo estes muito baixos se comparados com os encontrados neste estudo 0,07 e 0,15 dag kg⁻¹ (Figura 3b). Valores ainda mais discrepantes foram encontrados pelos autores para teores de K que variaram de 0,04 a 0,4 dag kg⁻¹, enquanto neste estudo estes variaram entre 0,5 e 1,18 dag kg⁻¹, alcançando até 2,98 dag kg⁻¹ para a bananeira (Figura 3c).

Já os teores de Ca e Mg (Figuras 4a e 4b) encontrados nestes estudo estão dentro da faixa encontrada por Montagnini et al. (1995), variando de 0,41 a 2,08 dag kg⁻¹ de Ca e 0,02 a 0,47 dag kg⁻¹ de Mg em todas as espécies estudadas.

Os maiores teores de N, P e K apresentados neste estudo são atribuídos, possivelmente, a diferenças no método de coleta utilizado nos dois estudos. Neste, os resíduos foram coletados mensalmente e armazenados secos em laboratório, e também continham uma proporção de estruturas reprodutivas, as quais possuíam maior concentração desses nutrientes. No estudo de Montagnini et al. (1995), foram analisadas apenas as folhas, e estas permaneceram acumuladas sobre o solo ao longo de um ano, provavelmente úmidas e sob ação de decompositores, que promoveram algum nível de transformação e liberação de nutrientes desses resíduos. Para o K, essa diferença foi ainda maior, uma vez o K se encontra na forma iônica nos tecidos vegetais

(MALAVOLTA, 1980) sendo facilmente lixiviado enquanto o N e o P se encontram na estrutura dos tecidos.

Entre as espécies estudadas, a capoeira branca e o mulungu apresentaram material senescente com maiores teores de N, P, K (Figuras 3a, 3b e 3c), Ca e Mg. (Figuras 4a e 4b). O papagaio também apresentou altos teores desses nutrientes, exceto K. O fedegoso apresentou-se rico em N e P e a bananeira, rica em K e P. Todas as espécies estudadas mostraram contribuir com a ciclagem nestes sistemas, cada uma aportando resíduo rico em algum nutriente, mostrando assim a importância de diversificar os sistemas, promovendo uma ciclagem mais equilibrada.

O aporte de resíduos de bananeira tem uma particularidade em relação às espécies arbóreas, pois possui em média, 90% de água e alta concentração de K, P, e N. Assim, com o manejo da bananeira, há um aporte de $1,6 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de MS de resíduos orgânicos (Figura 2) e cerca de $14.4000 \text{ L ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de seiva, que são distribuídos ao longo do ano no sistema. Segundo Feriotti (2010), a seiva da bananeira é tão rica em nutrientes que é considerada uma solução isotônica, semelhante à água de coco. Dessa forma, esperam-se grandes contribuições em termos de nutrição de plantas quando se adiciona resíduos de bananeira ao solo.

Entretanto, para as espécies arbóreas, ao comparar as concentrações de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, Cu e Zn) nos resíduos senescentes com aquelas presentes nos resíduos frescos das espécies, observou-se que resíduos frescos foram mais ricos em N, P, K e, houve redistribuição interna desses nutrientes, principalmente em folhas das espécies avaliadas (Quadro 3). Isto aconteceu porque o N, P e K são móveis nos tecidos da planta, enquanto o Mg é de média mobilidade e o Ca, Cu e Zn são de baixa mobilidade (MALAVOLTA, 1980). Assim, parte do N, P e K é redistribuído das folhas antes da sua senescência (MAFONGOYA et al., 1998) sendo estes redirecionados para a formação de novos órgãos. Também se observou a redistribuição de P e K em estruturas reprodutivas, porém em menor magnitude, já que este é um tecido de reserva destinado à reprodução das espécies tendendo normalmente a acumular estes nutrientes. O Ca foi acumulado em todos os tecidos senescentes da planta devido a sua baixa mobilidade enquanto o Mg foi redistribuído em folhas senescentes de algumas espécies e acumulado em ramos e estruturas reprodutivas. Entretanto, é comum o Mg se acumular também em folhas mais velhas (MALAVOLTA, 1980), como se observou neste estudo para abacate, açoita cavalo e ipê preto.

A translocação é uma das estratégias de sobrevivência utilizada pelas plantas para a melhor utilização dos nutrientes, principalmente em situações de estresse nutricional (KANMEGNE et al., 1999; RADERSMA, 2002). Dessa forma, a planta reduz a perda de nutrientes adquiridos e mantém as atividades metabólicas. É um mecanismo de compensação muito útil para espécies nativas de ecossistemas tropicais, onde os solos são normalmente intemperizados, com elevados teores de Al trocáveis e baixa disponibilidade de nutrientes. A extensão da translocação é influenciada, pela estação do ano, níveis de umidade e fertilidade do solo, manejo da espécie e pela idade das plantas (MAFONGOYA et al., 1998).

Do ponto de vista do manejo destes resíduos, ao se fazer a poda das árvores é possível aportar maior quantidade de nutrientes aos sistemas (MAFONGOYA et al., 1998; TEKLAY, 2004). Entretanto pouco se sabe sobre o manejo dessas espécies, por exemplo, se as podas interferem no tempo de vida das árvores e o quanto a poda pode interferir na extração de água e de nutrientes do sistema. Estudos dessa natureza são importantes para uma melhor compreensão a esse respeito.

4.4. Conteúdos de nutrientes

Avaliando as quantidades de nutrientes aportados pelos resíduos das espécies e listando as cinco espécies com maior potencial de aportar cada nutriente avaliado, a capoeira branca foi a espécie que se destacou aportando aos sistemas, anualmente, a maior quantidade de P ($6,83 \text{ kg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$), Ca ($77,81 \text{ kg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$), Mg ($9,57 \text{ kg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$), e Zn ($118,5 \text{ g ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$) e a segunda espécie a aportar mais N ($111 \text{ kg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$) e K ($42,3 \text{ kg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$) e considerável quantidade de Cu ($26,2 \text{ g ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$). O fedegoso assim como a capoeira branca aportou grandes quantidades de todos os nutrientes, seguido pelo ingá. Recentemente, alguns agricultores estão realizando a poda da espécie, aportando assim, resíduos muito mais concentrados em N, P, K (Figuras 3a, 3b e 3c) e Zn (Figura 5a), aumentando a ciclagem destes nutrientes.

Outras espécies com grande potencial de ciclagem também se destacam neste estudo. Este é o caso da bananeira que aportou maior quantidade de K ($48,6 \text{ kg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$), mesmo com um aporte de resíduos três vezes menores do que o apresentado pelo fedegoso. A bananeira aportou ainda grande quantidade de P ($2,5 \text{ kg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$) e N ($23,3 \text{ kg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$). O açoita cavalo também contribuiu com aportes consideráveis de

todos os nutrientes e o papagaio contribuiu com consideráveis aportes de Ca (21,3 kg ha⁻¹ano⁻¹), Cu (21,85 g ha⁻¹ano⁻¹), e Zn (40,3 g ha⁻¹ano⁻¹).

O ipê preto e o mulungu não se destacaram em termos de conteúdo aportado de nutrientes, devido a baixa produção de resíduos, menos de 0,5 Mg ha⁻¹ ano⁻¹. Porém, o resíduo de mulungu é um dos mais concentrados em N, P, Ca, Mg e Cu (Figuras 3a e 3b; 4a e 4b e 5b) e os resíduos de ipê preto, um dos mais concentrados em K, Mg, Zn e Cu (Figuras 3c, 4b, 5a e 5b). Por outro lado, o fedegoso e o ingá embora possuam menores teores de alguns nutrientes como K, Ca, Mg e Zn aportam maior quantidade destes nutrientes em relação às outras espécies devido a maior produção de resíduos.

Vitousek e Sanford (1986) encontraram em solos sob florestas tropicais aporte de nutrientes variando de 115,7 a 162,4 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N; 2,9 a 8,78 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de P; 19,3 a 40,7 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de K; 54,5 a 171,2 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Ca e 14,5 a 37,4 kg ha⁻¹ano⁻¹ de Mg, respectivamente no material senescente das árvores, em solos de baixa e de média fertilidade. O valor verificado no presente estudo, está dentro desta faixa ou muito próximos para algumas espécies, sendo estes de 5 a 112,2 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N; 0,33 a 6,83 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de P; 4,05 a 48,60 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de K; 2 a 77,81 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Ca; 0,98 a 9,57 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Mg, e principalmente, considerando que os aportes de resíduos em solos sob florestas são maiores uma vez que a cobertura da área por pelas espécies também é maior.

Espécies como o fedegoso, a capoeira branca e o ingá, que aportam grandes quantidades de N e P aos sistemas, constituem espécies estratégicas nos desenhos de SAFs, já que o P e o N são os principais limitantes para a produção em ecossistemas tropicais (WOOD; LASS, 2001).

Porém, a quantidade de MS e a concentração de nutrientes nas plantas, nem sempre é um bom indicador do efeito da espécie no solo. Esta informação nos dá uma ideia do potencial de ciclagem, entretanto, dependendo da qualidade, este material pode ser de lenta decomposição e acumular-se sob a copa ou pode se decompor de forma rápida, promovendo a ciclagem.

Conhecendo os conteúdos de nutrientes aportados anualmente pelas espécies, as quantidades exportadas pela produção do café, e a demanda da lavoura, é possível desenhar sistemas diversificados e que atendam a demanda nutricional do cafeeiro. Porém, isto depende de fatores como a velocidade de decomposição desses resíduos. Tais informações são de grande importância para os agricultores no desenho e manejo destes sistemas.

4.5. Caracterização bioquímica dos resíduos

Segundo Praveen-Kumar et al. (2003), resíduos com relação LG/N maior que cinco possuem taxa de decomposição lenta. Por sua vez, Palm (1995) afirma que se a concentração de N for maior que 1,74%, mas a de lignina for maior que 15% e a de polifenóis maior que 3% (uma relação (lignina + polifenol)/N, em torno de 10) a taxa de mineralização, também diminuirá.

Para a bananeira, as relações LG/N e (LG + PP)/N (Quadro 4) tanto em folhas quanto em pseudocaule foram mais elevados do que os valores limites estabelecidos por Praveen-Kumar et al. (2003) e Palm (1995) indicando, então, uma lenta taxa de decomposição para estes resíduos. Entretanto, em campo verifica-se que os resíduos da bananeira decompõem-se rapidamente. É provável que os grandes percentuais de água (90%) possam estar influenciando a velocidade de decomposição e liberação destes nutrientes em relação ao índice utilizado. Para as demais espécies, a maior concentração de N nas folhas e frutos e menores teores de lignina, em relação aos ramos resultou em menores valores de relações LG/N, PP/N e (LG + PP)/N (Quadro 4) em folhas e estruturas reprodutivas, enquanto nos ramos estas foram maiores. Resultados semelhantes foram encontrados por Mendonça e Stott (2003) e explicam a decomposição mais lenta dos ramos em relação às demais estruturas.

Segundo Duarte et al. (2012), a relação (LG + PP)/N, LG/N e celulose, correlacionaram negativamente com a evolução de C-CO₂, explicando as menores taxas de mineralização das folhas de açoita cavalo, ingá e abacate. Açoita cavalo e abacate apresentaram nos resíduos foliares, relações LG/N e (LG + PP)/N, mais altas que o limite indicado anteriormente pelos autores, enquanto ingá apresentou maior relação LG/N e (LG + PP)/N e também altos percentuais de celulose. A celulose, componente mais recalcitrante (PALM, 1995; MANFONGOYA et al., 1998; MENDONÇA; STOTT, 2003) pode, no longo prazo, influenciar a decomposição dos resíduos (MATOS et al., 2008; PUTTASO et al., 2011).

Para a capoeira branca, as relações LG/N e (LG + PP)/N foram as menores verificadas, 1,9 e 2,9, respectivamente, o que indica rápida decomposição dos resíduos (MENDONÇA; STOTT, 2003), concordando com a observação dos agricultores que afirmam ser esta espécie, de rápida decomposição. Entretanto, os teores de celulose da espécie (22,4%) se assemelham àqueles do ingá (21%), parecendo que a celulose não determina isoladamente a sua decomposição.

4.6. Liberação de nutrientes e proteção do solo

Devido aos menores percentuais de componentes recalcitrantes em seus tecidos, espera-se que os nutrientes presentes nos resíduos de capoeira branca, fedegoso, e papagaio sejam liberados rapidamente. Já aqueles presentes nos resíduos do ingá, bananeira, açoita cavalo e abacate espera-se que sejam liberados mais lentamente. Entretanto, mesmo que a liberação dos nutrientes seja lenta, nos SAFs o aporte de resíduos é contínuo e a decomposição e liberação de nutrientes também. No caso de culturas permanentes como o café, estes nutrientes mesmo liberados lentamente podem ser utilizados pela cultura (PALM, 1995). Conhecendo-se a capacidade de aporte de MS e nutrientes das espécies e a velocidade de decomposição destes, deve-se estar atento para que a disponibilização dos nutrientes presentes nos resíduos coincida com o momento de maior requerimento da cultura principal, no caso, o café. O aporte contínuo de resíduos nos sistemas agroflorestais facilita de alguma forma este sincronismo, pois constantemente haverá material em decomposição.

Se por um lado os resíduos de decomposição mais lenta retardam a liberação de nutrientes, por outro lado, eles proporcionam maior acúmulo de material e, conseqüentemente, maior proteção, umidade e menor perda de solo por erosão, sendo o controle desse processo, de grande importância em solos de regiões de relevo movimentado como a Zona da Mata (CARVALHO; FERREIRA NETO, 2000).

Outra estratégia que já vem sendo utilizada por alguns agricultores é o plantio de espécies que produzem resíduos de lenta decomposição, mas que aportam grandes quantidades de material e nutrientes, ao lado de outra espécie de resíduos de rápida decomposição. Dessa forma, a mistura de material acontece naturalmente adquirindo uma taxa de decomposição intermediária, atendendo a necessidade de ciclagem e, ao mesmo tempo, mantendo a camada de resíduos sobre o solo. Segundo Byard et al. (1996), as taxas de decomposição de resíduos quando se tem maior diversidade de espécies é mais acelerada do que em sistemas monoespecíficos, pois uma mistura tem maior chance de satisfazer as demandas de nutrientes e substâncias químicas dos organismos decompositores. Para Zeugin et al. (2010), a maior diversidade de espécies pode beneficiar a absorção de N e P, comparado à sistemas monoespecíficos. A maior disponibilidade desses nutrientes influencia a decomposição e ciclagem de nutrientes. Estes resultados ajudam a justificar as estratégias utilizadas pelos agricultores nestes sistemas.

As espécies nativas aqui estudadas são em sua maioria pioneiras, bem adaptadas em solos com baixa disponibilidade de nutrientes. O ingá, fedegoso, capoeira branca, bananeira, açoita cavalo e abacate foram muito eficientes na produção de biomassa rica em nutrientes sinalizando, como sugerido por Kanmegne et al. (1999) e Radersma (2002), o uso de alguma estratégia para a sua aquisição, uma vez que são normalmente escassos nestes solos. As estratégias mais comuns são as associações com micorrizas, que ampliam a absorção de nutrientes, principalmente P pelo sistema radicular; a interação com rizóbios, que utilizam o N atmosférico, e a liberação de exsudados radiculares que alteram a solubilidade de nutrientes na região da rizosfera.

Segundo Sprent (2001), muitas espécies do gênero *Inga* e *Erythrina* nodulam e fixam N₂ atmosférico. Duarte et al. (2012), utilizando a técnica da abundância natural encontraram 22,6%, de fixação biológica de N₂ para o mulungu, 16,6% para o fedegoso e 20,6% para o ingá, sendo estes no geral, percentuais muito baixos de fixação. Porém, mesmo nesta taxa, considerando 100 árvores por ha de SAF (SOUZA et al., 2010), anualmente, foram fixados 69,2 kg ha⁻¹ de N pelo mulungu, 48,5 kg ha⁻¹ pelo fedegoso e 10,3 kg ha⁻¹ pelo ingá.

De acordo com Zangaro et al. (2003) que estudaram a colonização de raízes de algumas dessas espécies por micorrizas arbusculares, o ipê preto não apresentou colonização enquanto o fedegoso e o papagaio apresentaram altas taxas de colonização sendo estas respectivamente, de 86,6% e 77,8% em casa de vegetação, e de 54,2% e 57,2%, em campo. Tal fato pode ajudar a explicar o elevado acúmulo de nutrientes encontrados nos tecidos dessas espécies, porém para conclusões a este, recomenda-se um estudo mais aprofundado dos mecanismos possíveis de serem usados por estas espécies para aquisição de nutrientes.

5. CONCLUSÃO

As espécies avaliadas, capoeira branca, fedegoso, ingá, bananeira e açoita cavalo contribuíram com os maiores aportes de resíduo e de nutrientes (N, P, K Ca, Mg, Cu e Zn) ao solo. Destacam-se entre estas o fedegoso e a capoeira branca pelos maiores aportes e pela rápida decomposição dos resíduos e liberação de nutrientes. Já o ingá e o açoita cavalo, devido à grande quantidade de material aportado e sendo este de lenta taxa de decomposição, vão contribuir para uma maior proteção do solo.

O uso da poda das árvores nos SAFs pode favorecer o aporte de maiores conteúdos de N, P, K ao sistema já que resíduos frescos são mais ricos nesses nutrientes. Quando não se realiza a poda, o aporte espontâneo de resíduos senescentes leva a adições maiores de Ca, Cu e em alguns casos de Mg e Zn.

O material oriundo da poda das bananeiras pode aportar grande quantidade de água e contribuir na manutenção da umidade do solo melhorando a absorção de nutrientes pelas plantas nos sistemas. Novos estudos são necessários para aprofundar essa informação.

O uso de diferentes espécies arbóreas, com decomposição diferenciada, em um mesmo SAF permite o aporte contínuo de material senescente com qualidades distintas ao solo os quais podem exercer diferentes funções-chaves no sistema, tais como a proteção do solo, a manutenção da umidade e a ciclagem de nutrientes.

6. REFERÊNCIAS

ALVES, A. et al. Tratos culturais e colheita. In: BORGES, A.L.; SOUZA, L.S. (Eds.). **O cultivo da bananeira**. Cruz das Almas: EMBRAPA, 2004. p. 107-131.

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

APELBAUN, A.; YANG, S.F. Biosynthesis of stress ethylene induced by water deficit. **Plant Physiology**, v. 3, n. 68, p. 594-596, 1981.

ARATO, H.D.; MARTINS, S.V.; FERRARI, S.H.S. Produção e decomposição de serapilheira em um sistema agroflorestal implantado para recuperação de área degradada em Viçosa-MG. **Rev. Árvore**, v. 5, n. 27, p. 715-721, 2003.

BEER, J.; HARVEY, C.; IBRAHIM, M. et al. Servicios ambientales de los sistemas agroflorestales. **Agroforestería em las Americas**, v. 10, n. 37/38, p. 80-87, 2003.

BRAGA, J.M.; DEFELIPO, B.V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solos e plantas. **Rev. Ceres**, v. 113, n. 1, p. 73-85, 1974.

BYARD, R.; LEWIS, K.C.; MONTAGNINI, F. Leaf litter decomposition and mulch performance from mixed and monospecific plantations of native tree species in Costa Rica. **Agri. Ecosyst. Environ.**, v. 58, p. 145-155, 1996.

CARDOSO, I.M.; GUIJT, I.; FRANCO, F.S. et al. Continual learning for agroforestry system design: university, NGO and farmer partnership in Minas Gerais. **Agric. Syst.**, v. 69, p. 235-257, 2001.

CARVALHO, P.E.R. **Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira.** Brasília: EMBRAPA-CNPQ, 1994. 640 p.

CARVALHO, A.F.; FERREIRA NETO, P.S. Evolving leaning in designing agroecological farming systems with small-scaler farmers in Zona da Mata, Brazil. In: GUIJT, I.; BERDEGUÉ, J.A.; LOEVINSOHN, M.; HALL, F. (Eds.). **Deepening the basis of rural resource management.** The Hague: ISNAR, 2000. p. 73-88.

CASTRO, P.R.C.; KUGLE, R.A. **Ecofisiologia de fruteiras:** abacateiro, aceroleira, macieira, pereira e videira. Piracicaba: Agronômica Ceres Ltda., 2003. 136 p.

CONSTANTINIDES, M.; FOWNES, J.H. Nitrogen mineralization from leaves and litter of tropical plants: Relationship to nitrogen, lignin and soluble polyphenol concentrations. **Soil Biol. & Biochem.**, v. 26, p. 49-55, 1994.

CORREA, F.L.C.; RAMOS, J.D.; GAMA-RODRIGUES, A.C.; MÜLLER, M.W. Produção de serrapilheira em sistema agroflorestal multiestratificado no estado de Rondônia, Brasil. **Ciênc. Agrot.**, v. 30, n. 6, p. 1099-1105, 2006.

DIAS, H.C.T.; OLIVEIRA FILHO, A.T. Variação temporal e espacial da produção de serapilheira em uma área de floresta estacional semidecídua montana em Lavras-MG. **Rev. Árvore**, v. 21, p. 11-26, 1997.

DINIZ, S.; PAGANO, S.N. Dinâmica de folhedo em floresta mesófila semidecídua no município de Araras-SP: I - Produção, decomposição e acúmulo. **Rev. do Instituto Florestal**, v. 9, p. 27-36, 1997.

DUARTE, E.M.G. **Ciclagem de nutrientes por árvores em sistemas agroflorestais na Mata Atlântica.** 2007. 115 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

DUARTE, E.M.G.; CARDOSO, I.M.; FAVERO, C. Terra forte. **Rev. Agriculturas**, v. 5, n. 3, p. 11-16, 2008.

DUARTE, E.M.G.; CARDOSO, I.M.; STIJNEN, T. et al. Decomposição e liberação de nutrientes de folhas de espécies arbóreas da Mata Atlântica utilizadas em sistemas agroflorestais. **Geoderma**, 2012.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes.** Brasília, 1999. 370 p.

FARIA, N.G. **Absorção de nutrientes por variedades e híbridos promissores de bananeira.** 1997. 66 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Bahia, Cruz das Almas, BA.

FERIOTTI, D.G. **Proposta de aproveitamento do pseudocaule da bananeira (*Musa cavendish*)**. 2010. 58 p. Dissertação (Mestrado) – Centro Universitário de Mauá, Escola de Engenharia Mauá, São Caetano do Sul, SP.

FERNANDES, J.M. **Taxonomia e etnobotânica de Leguminosae Adans. em fragmentos florestais e sistemas agroflorestais na Zona da Mata mineira**. 2007. 223 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

GOERING, H.K.; VAN SOEST, P.J. **Forage fiber analyses (apparatus, reagents, procedures, and some applications)**. Washington: United States Department of Agriculture, 1975. 20 p. (Agriculture Handbook, 379).

GOLFARI, L. **Zoneamento ecológico do Estado de Minas Gerais para reflorestamento**. Belo Horizonte: CPFRC, 1975. (Série Técnica, 3).

GOMES, J.A. **Absorção de nutrientes pela banana, cultivar Prata (*Musa* AAB, subgrupo Prata) em diferentes estádios de desenvolvimento**. 1988. 98 p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP.

HÄTTENSCHWILER, S.; VITOUSEK, P.M. The role of polyphenols in terrestrial ecosystem nutrient cycling. **Tree**, v. 15, p. 238-243, 2000.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Censo Demográfico - 2000**. Rio de Janeiro, 2000.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Lavoura permanente - 2005**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/default.php>>. Acesso em: 28 jul. 2007.

JOSE, S. Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview. **Agrofor. Syst.**, v. 76, p. 1-10, 2009.

KANMEGNE, J.; DUGMA, B.; HENROT, J.; ISIRIMAH, N.O. Soil fertility enhancement by planted tree-fallow species in the humid lowlands of Cameroon. **Agrofor. Syst.**, v. 46, p. 239-249, 1999.

KER, J.C. **Mineralogia, sorção e dessorção de fosfato, magnetização e elementos traços de latossolos do Brasil**. 1995. 181 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

KIBBLEWHITE, M.G.; RITZ, K.; SWIFT, M.J. Soil health in agricultural systems. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biolog Sci.**, v. 363, n. 1492, p. 685-701, 2008.

KÖNIG, F.G. Avaliação da sazonalidade da produção de serapilheira numa floresta estacional decidual no município de Santa Maria-RS. **Rev. Árvore**, v. 4, n. 26, p. 429-435, 2002.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras**: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 1992. 352 p.

MAFONGOYA, P.L.; NAIR, P.K.R.; DZOWLA, B.H. Mineralization of nitrogen from decomposing leaves of multipurpose trees as affected by their chemical composition. **Biol. and Fertil. Soils**, v. 27, p. 143-148, 1998.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agron. Ceres, 1980. 251 p.

MARTINS, S.V.; RODRIGUES, R.R. Produção de serapilheira em clareiras de uma floresta estacional semidecidual no município de Campinas-SP. **Rev. Bras. de Botânica**, v. 22, n. 3, p. 405-412, 1999.

MATOS, E.S.; MENDONÇA, E.S.; LIMA, P.C. et al. Green manure in coffee systems in the region of Zona da Mata, Minas Gerais: characteristics and kinetics of carbon and nitrogen mineralization. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 32, p. 2027-2035, 2008.

MATSUMOTO, S.N. (Org.). **Arborização de cafezais no Brasil**. Vitória da Conquista: UESB, 2004. 213 p.

MEENTMEYER, V.; BOX, E.O.; THOMPSON, R. World patterns and amounts of terrestrial plant litter production. **BioSci.**, v. 32, p. 125-128, 1982.

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

MENDONÇA, E.S.; LEITE, L.F.C.; FERREIRA NETO, P.S. Cultivo do café em sistema agroflorestal: uma opção para recuperação de solos degradados. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 25, n. 3, p. 375-383, 2001.

MOGUEL, P.; TOLEDO, V.M. Biodiversity conservation in traditional coffee systems of Mexico. **Conserv. Biol.**, v. 13, n. 1, p. 11-21, 1999.

MONTAGNINI, F.; FANZERES, A.; DA VINHA, S.G. The potentials of 20 indigenous tree species for soil rehabilitation in the atlantic forest region of Bahia, Brazil. **J. of Appl. Ecol.**, v. 4, n. 32, p. 841-856, 1995.

MORENO-CALLES, A.; CASAS, A.; BLANCA, S.J. et al. Agroforestry systems and biodiversity conservation in arid zones: the case of the Tehuacan Valley, Central México. **Agroforestry Systems**, v. 80, n. 3, p. 315-331, 2010.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R.A.; MITTTERMEIER, C.G. et al. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, p. 853-858, 2000.

- PALM, C.A. Contribution of agroforestry trees to nutrient requirements of intercropped plants. **Agrof. Syst.**, v. 30, p. 105-124, 1995.
- PEREZ, M.M.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E.S.; COSTA, L.M. Impactos da implementação de um sistema agroflorestral com café na qualidade do solo. **Agropecuária Técnica**, v. 25, p. 25-36, 2004.
- PRAVEEN-KUMAR, J.C.; TARAFDAR, J.; PANWAR, A.; KATHJU, S. A rapid method for assessment of plant residue quality. **J. Plant Nutr. and Soil. Sci.**, v. 166., p. 662-666, 2003.
- PUTTASO, A.; VITYAKON, P.; SAENJAN, P. et al. Relationship between residue quality, decomposition patterns, and soil organic matter accumulation in a tropical sandy soil after 13 years. **Nutr. Cycl. Agroecosyst.**, v. 89, p. 159-174, 2011.
- RADERSMA, S. **Tree effects on crop growth on a phosphorus-fixing ferralsols**. 2002. Thesis (Ph.D.) – Wageningen University Research Center, Wageningen, NL.
- REIS, G.L.; LANA, A.M.Q.; MAURÍCIO, R.M. et al. Influence of trees on soil nutrient pools in a silvopastoral system. **Brazilian Savannah Plant and Soil**, v. 329, n. ½, p. 185-193, 2010.
- SANCHEZ, P.A. Science in agroforestry. **Agrof. Syst.**, v. 30, p. 5-55, 1995.
- SCHROTH, G.; SINCLAIR, F.L. **Impacts of trees on the fertility of agricultural soils trees, crops and soil fertility: concepts and research. methods**. CABI Publishing, 2003. p. 1-9.
- SOARES, C.P.B.; NETO, F.P.; SOUZA, A.L. **Dendrometria e inventário florestal**. Viçosa: UFV, 2006. 275 p.
- SOTO-PINTO, L.; PERFECTO, I.; CASTILLO-HERNÁNDEZ, J.; CABALLERO-NIETO, J. Shade effect on coffee production at the northern tzeltal zone of the state of Chiapas, Mexico. **Agriculture, Ecosys. and Envir.**, v. 80, p. 61-69, 2000.
- SOUZA, H.N.; CARDOSO, I.M.; FERNANDES, J.M. et al. Selection of native trees for intercropping with coffee in the Atlantic Rainforest biome. **Agrofor. Syst.**, v. 80, p. 1-16, 2010.
- SPRENT, J.I. **Nodulation in legumes**. Kew: Royal Botanic Gardens, 2001. 146 p.
- TEKLAY, T. Sazonal dynamics in the concentration of macronutrients and organics constituents in green and senesced leaves of tree agroforestry species in Southern Ethiopia. **Plant and Soil**, v. 267, p. 297-307, 2004.

VANDERMEER, J.; PERFECTO, I. The agricultural matrix and a future paradigm for conservation. **Conserv. Biol.**, v. 21, n. 1, p. 274-277, 2007.

VITOUSEK, P.M.; SANFORD, J.R.L. Nutrient cycling in moist tropical forest. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 17, p. 137-167, 1986.

WOOD, G.A.R.; LASS, R.A **Cocoa**. Great Britain: Blackwell Science, 2001.

WRIGHT, S.T.C. The relationship between leaf water potential (Ψ leaf) and the levels of abscisic acid and ethylene in excised leaves. **Planta**, v. 134, n. 2, p. 183-189, 1977.

YOUNG, A. **Agroforestry for soil management**. 2.ed. Wallingford, UK: ICRAF and CAB International, 1997.

ZANGARO, W.; NISIZAK, S.M.A.; DOMINGOS, J.C.B.; NAKANO, E.M. Mycorrhizal response and sucesional status in 80 woody species from south Brazil. **J. of Trop. Ecol.**, v. 19, p. 315-324, 2003.

ZEUGIN, F.; POTVIN, C.; JANSA, J.; SCHERER-LORENZEN, M. Is tree diversity an important driver for phosphorus and nitrogen acquisition of a young tropical plantation? **Forest Ecology and Management**, v. 260, p. 1424-1433, 2010.

CAPÍTULO 2

IMPACTO DE RESÍDUOS DE ÁRVORES NATIVAS DA MATA ATLÂNTICA NA FORMAÇÃO DE FRAÇÕES ESTÁVEIS DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO

Resumo: Este trabalho teve como objetivo avaliar a formação de frações estáveis da matéria orgânica do solo a partir de resíduos de *Inga subnuda* e *Senna macranthera*. Os tratamentos foram constituídos de solo incubado com resíduos (5 g de C) de *I. subnuda* e *S. macranthera* dispostos à superfície do solo e incorporados, além do controle sem resíduo. Foram 12 meses de incubação. Até 99 dias foi avaliado nos tratamentos o fluxo acumulado de C-CO₂. Também foram quantificados aos 3, 6, 9 e 12 meses a massa seca remanescente de resíduos, os teores totais de C e N, e os teores de C e N das substâncias húmicas. Além disso, aos 12 meses foi avaliada a relação ¹³C/¹²C no solo e na fração humina. Comparando as formas de disposição dos resíduos, foi evidenciado o efeito da incorporação sobre a transferência de C e N dos resíduos para o solo. Para o fedegoso, o tratamento com resíduo incorporado comparado àquele mantido à superfície apresentou maior evolução de C-CO₂ (11%), maior perda de Massa Seca (MS, até 61%), maior teor de Carbono Orgânico Total (COT, até 28%), Nitrogênio Total (NT, até 30%), C-fração humina (até 51%) e N-fração humina (até 46%). Para o ingá, os tratamentos incorporados apresentaram menor evolução de C-CO₂ (8%), maior perda de MS de resíduos (até 28%), C-fração humina (até 28%), N-fração humina (até 80%), e nenhum efeito para os teores de COT, NT, e N-fração humina. Evidenciou-se também uma maior mineralização dos resíduos de fedegoso, comparados ao ingá. O fedegoso apresentou em relação ao ingá, quando incorporado, maior emissão de C-CO₂ (126%), maior perda de massa de resíduos (48 a 68%), maior teor de COT (até 37%), NT (até 37%), C-fração humina (até 77%), N-fração humina (até 46%). Quando dispostos à superfície, o fedegoso apresentou maior emissão de C-CO₂ (87%), maior perda de massa seca de resíduos (até 29%), C-fração humina (até 16%) e N-fração humina (até 80%), enquanto para os teores de COT e NT não houve efeito de espécies. Os tratamentos também diferiram quanto ao percentual de matéria orgânica derivada dos resíduos. Tratamentos com resíduos incorporados apresentaram percentuais maiores (37,4% para o fedegoso e 33,1% para o ingá) comparados aqueles com resíduos dispostos à superfície (27% para o fedegoso e 25% para o ingá). Os resultados indicaram que resíduos de ingá, mesmo sendo lentamente mineralizados, contribuem para a formação e estabilização da matéria orgânica do solo em curto prazo. Principalmente quando estes são incorporados. Mostram também que o fedegoso, mesmo sendo intensamente mineralizado, e sinalizando para uma maior ciclagem de nutrientes, contribuiu mais que o ingá para a formação e estabilização da matéria orgânica do solo em curto prazo, incrementando os estoques de C.

Palavras-chave: Qualidade do solo, *Inga subnuda*, *Senna macranthera*, decomposição de resíduos, estabilização da matéria orgânica do solo.

1. INTRODUÇÃO

Os sistemas agroflorestais (SAFs) são reconhecidos como sistemas de manejo que conciliam a produção e a conservação dos recursos naturais, oferecendo vários serviços de ecossistema, como a conservação do solo e da biodiversidade em paisagens tropicais (INTERNATIONAL ASSESSMENT OF AGRICULTURAL KNOWLEDGE, SCIENCE AND TECHNOLOGY FOR DEVELOPMENT – IAASTD, 2011).

O aumento da área de SAFs utilizando espécies nativas pode contribuir para reduzir efeitos de bordas em unidades de conservação e ainda conectar fragmentos de florestas isoladas. Estes fragmentos são muito presentes na Mata Atlântica, uma das maiores e também uma das mais ameaçadas reservas de biodiversidade do planeta (MYERS et al., 2000). Os SAFs podem assim contribuir para conservar a biodiversidade na Mata Atlântica.

Nos SAFs da Zona da Mata de Minas Gerais, as espécies arbóreas utilizadas são, em sua maioria, nativas da Mata Atlântica, dentre elas *Inga subnuda* (ingá) e *Senna macranthera* (fedegoso). As espécies do gênero *inga* são amplamente utilizadas em SAFs de outras regiões tropicais, visando melhorias na qualidade do solo e sendo por isso, muito estudadas (MONTAGNINI et al., 1995; ROMERO-ALVARADO et al., 2002; DUARTE et al., 2012). O fedegoso é citado como espécie potencial para recuperar solos de áreas degradadas (LORENZI, 1992; ZANGARO et al., 2003). Porém, para ambas, não há informações sobre a interferência de seus resíduos nos processos de formação da matéria orgânica do solo (MOS), de seus compartimentos e sobre a velocidade de ocorrência desses processos. Estudos dessa natureza podem revelar potenciais desconhecidos das espécies, incentivar seu uso nos SAFs e contribuir para disseminação destes, como prática de uso sustentável do solo.

SAFs podem também contribuir para a melhoria do clima. Em estudos recentes, em todo o mundo, mas principalmente em regiões tropicais, os SAFs são apontados como potencial para sequestrar C, seja na biomassa da vegetação ou no solo (NAIR et al., 2009; SHARROW; ISMAIL, 2004; KIRBY; POTVIN, 2007), contribuindo para a redução das mudanças climáticas. Dixon (1995) calculou, em média, potencial de sequestro de 1,1 a 2,2 Pg de C na vegetação e no solo em SAFs na África, Ásia e América por mais de 50 anos. Nair et al. (2009) calcularam o potencial global em 1,9 Pg de C para o mesmo período de tempo.

Atualmente, o C orgânico do solo está estimado em 3,3% do estoque global de C e constitui o terceiro maior compartimento de C, ficando atrás apenas do oceânico (83%) e do fóssil (9%) (BATJES, 1996). O C orgânico do solo inclui formas como resíduos de planta e animais em várias fases de decomposição, compostos sintetizados microbiologicamente e, ou, quimicamente a partir da decomposição, microrganismos, pequenos animais e os produtos da sua decomposição, húmus e até o carvão que é relativamente inerte (SCHNITZER, 1991).

O aumento dos níveis de C do solo está associado à melhoria na qualidade deste. Nos SAFs, a elevação nos níveis de C devem-se, entre outros fatores, ao aumento da produção de biomassa, que ocorre tanto acima quanto abaixo da superfície do solo, em função das adições contínuas de resíduos senescentes, morte de raízes, liberação de exudatos ou outros processos. O C oriundo dessas deposições são mineralizados e, ou, humificados sendo que, a mineralização resulta na melhoria na ciclagem de nutrientes (LEBLANC et al., 2006), enquanto a humificação aumenta os níveis de MOS em frações mais estáveis, portanto, aumenta também os estoques de C.

Por conseguinte, o aumento dos níveis de matéria orgânica proporciona melhoria nos aspectos químicos, como a redução da saturação de alumínio, o aumento da CTC do solo e a disponibilização de nutrientes (MENDONÇA et al., 2001; PEREZ et al., 2004). Além disso, melhora sua estrutura aumentando a porosidade, a aeração, a infiltração da água e a retenção da umidade (LEE; JOSE, 2003; UDAWATTA et al., 2008). Tais melhorias por sua vez, promovem o aumento da atividade microbiana, de populações e comunidades de meso e macrofauna tanto do solo quanto da serrapilheira (DAUGER et al., 2005; SOUZA, 2010), as quais podem atuar também na decomposição e mineralização ou humificação dos resíduos.

Estas transformações dos resíduos dependem também da sua composição química e bioquímica (MAFONGOYA et al., 1998), sendo influenciada pelos teores de C, N e pelo conteúdo de polifenóis, lignina e celulose. As relações entre estes constituintes como, C/N, lignina/N e lignina mais polifenol/N são bons índices para prever a decomposição de resíduos (PALM, 1995; MAFONGOYA et al., 1998; MENDONÇA; STOTT, 2003). A rápida decomposição e liberação de nutrientes estão associadas às baixas relações enquanto a imobilização de nutrientes ou lenta decomposição está associada às altas relações. Resíduos com elevados teores de C solúvel em água, altos teores de N (maiores que 2,5%), baixas concentrações de lignina (menos que 15%) e de polifenóis (menos que 4%), são considerados como alternativa

para a substituição de fertilizante mineral (HANDAYANTO et al., 1995; MAFONGOYA et al., 1998). Resíduos com teores elevados de N podem contribuir, inicialmente, para o aumento da mineralização do C, devido ao aumento da atividade microbiana (WANG et al., 2004). Conteúdos elevados de lignina inibem o crescimento e a atuação de decompositores e outros organismos (HÄTTENSCHWILER, 2005) em função da proteção física e química proporcionada aos constituintes protéicos da parede celular, ao sobrepor-se às camadas de celulose e hemicelulose (MAFONGOYA et al., 1998; COBO et al., 2002). Os polifenóis por sua vez, interferem na taxa de decomposição no período inicial. Estes se ligam às proteínas quando estas são liberadas no vacúolo das células após a senescência do tecido da planta (HÄTTENSCHWILER; VITOUSEK, 2000), contribuindo para a formação de substâncias húmicas, diminuindo a decomposição dos resíduos e conseqüentemente, a liberação de nutrientes. Em longo prazo, a decomposição é influenciada também por elevados teores de componentes mais recalcitrantes como a celulose (MATOS et al., 2008; PUTTASO et al., 2011).

Várias pesquisas avaliam os efeitos de diferentes tipos de resíduos aportados ao solo, visando incentivar práticas conservacionistas que priorizem a formação da MOS e a liberação de nutrientes (MONTAGNINI et al., 1995; MENDONÇA et al., 2001; PEREZ et al., 2004). Nas avaliações da dinâmica da MOS, o fluxo de C-CO₂ traz informações importantes sobre as transformações dos resíduos em curto prazo. Já, as substâncias húmicas (ácidos fúlvicos, ácidos húmicos e humina), compartimentos que devido a sua complexidade demandam maior tempo para sua formação, trazem informações importantes sobre a dinâmica da MOS em longo prazo (STEVENSON, 1994). As substâncias húmicas, constituem reserva de nutrientes de longo prazo e são importantes para o sequestro de C. Estudos sobre a formação da MOS a partir da decomposição dos resíduos de espécies nativas, podem trazer informações muito úteis em desenhos e manejo de SAFs visando manter e aumentar o estoque de carbono no solo, melhorar a ciclagem de nutrientes, e também diminuir a erosão.

Nos SAFs, a maior ocorrência de populações e comunidades de meso e macrofauna do solo e da serrapilheira (SOUZA, 2010; LIMA et al., 2010) modificam a dinâmica de decomposição dos resíduos (STADLER et al., 2006), uma vez que estes promovem a incorporação parcial dos resíduos aportados pelas espécies. Segundo Moreira e Siqueira (2002), a incorporação de resíduos pode elevar as taxas de decomposição e mineralização dos resíduos uma vez que amplia e modifica a

composição da biota do solo, além de facilitar a ação dos organismos pelo maior contato com estes e maior umidade.

Neste estudo, as hipóteses são i) resíduos de ingá, sabidamente de decomposição mais lenta do que resíduos de fedegoso, quando aportados ao solo resultam em maior formação e estabilização da MOS, aumentando o estoque de C do sistema e ii) a trituração e incorporação dos resíduos, promovida parcialmente pelos organismos do solo, acelera os processos de formação e estabilização da MOS. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito dos resíduos de fedegoso e de ingá na formação de frações estáveis da MOS, estando estes incorporados ou dispostos à superfície do solo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Local de estudo

Os resíduos (material senescente) provenientes do ingá e fedegoso foram coletados num SAF localizado no município de Araponga, MG (20°41'S e 42°31'W, 1.062 m de altitude), na região da Zona Mata de Minas Gerais, Bioma Mata Atlântica, Brasil. A região é caracterizada por um relevo montanhoso, solos altamente intemperizados, ácidos e com baixas concentrações de nutrientes disponíveis para as plantas (KER, 1995). Além disso, 45% das propriedades rurais possuem menos de 10 ha e 18% da população vive no meio rural, são predominantemente agricultores familiares que usam poucos insumos externos. O café (*Coffea arabica*) é, historicamente, a principal cultura de renda da região (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE CAFÉ – ABIC, 2011).

Na Zona da Mata os SAFs com café têm sido implantados como alternativa de manejo do solo. Agricultores familiares de diferentes municípios e comunidades iniciaram uma experimentação participativa de SAFs com café em 1993/1994. Esta aconteceu de forma participativa, envolvendo associações locais, o Sindicatos dos Trabalhadores Rurais, o Centro de Tecnologias Alternativas da Zona da Mata (CTA) e a Universidade Federal de Viçosa (CARDOSO et al., 2001). Em 2005 um processo de sistematização participativa destes SAFs foi realizado e algumas espécies foram apontadas dentre as mais adequadas ao consórcio com o café (SOUZA et al., 2010).

Dentre elas, o ingá e o fedegoso foram ressaltados por serem duas espécies leguminosas que mais aportaram resíduos e nutrientes ao solo (Figura 2 do Capítulo 1).

2.2. Coleta dos resíduos e caracterização

Os resíduos (material senescente) de ingá e fedegoso foram coletados, de maio a agosto de 2009, com o auxílio de coletores suspensos, instalados sob a copa das árvores presentes no sistema agroflorestal. Os resíduos recolhidos foram levados para o laboratório onde se separou as folhas, que constituíam 32% do total de resíduos senescentes do fedegoso, e 76%, do total de resíduos senescentes de ingá. Foram retiradas três subamostras dos resíduos de cada espécie para determinação da massa seca de resíduos e dos teores de C e N. A massa seca (MS) foi determinada pela diferença de peso do material antes e após secagem em estufa (65°C, por 72 horas). Para a determinação dos teores de N, utilizou-se o método Kjeldahl e para o C foi utilizado o método da oxidação com $K_2Cr_2O_7$ em meio ácido, com aquecimento externo (YEOMANS; BREMNER, 1988). Os teores de lignina, celulose e polifenóis foram determinados em estudos anteriores (DUARTE, 2007; DUARTE et al., 2012). Os polifenóis solúveis (PP) foram extraídos com metanol (50%) e determinados por colorimetria, utilizando-se o reagente de Folin-Denis (ANDERSON; INGRAM, 1993). Lignina (LG) e celulose (CL) foram determinadas pelo método da fibra em detergente neutro (FDN) e fibra detergente ácido (FDA), ou método de Van Soest (GOERING; VAN SOEST, 1975).

O Quadro 1 apresenta a caracterização química e bioquímica dos resíduos de fedegoso e ingá.

Quadro 1 - Teores de lignina (LG), celulose (CL) e polifenóis (PP) em resíduos senescentes de fedegoso e ingá coletados em sistema agroflorestal, localizado no município de Araponga, MG

Espécies	Lignina	Celulose	Hemicelulose	Polifenóis
 (%)			
Fedegoso	15,4	11,3	24,7	7,6
Ingá	27,3	21,3	23,9	4,8

Fonte: Adaptado de Duarte (2007) e Duarte et al. (2012).

Os resíduos foram secos ao ar, cortados (em dimensões < 2,0 cm), simulando a trituração pela fauna do solo, pesados em quantidades correspondentes a 5 g de C (11,54 ± 0,001 g de MS de resíduo de fedegoso e 12,410 ± 0,001 g de MS de ingá) e armazenados em sacolas para incubação nas unidades experimentais.

2.3. Coleta e caracterização do solo a ser utilizado na incubação

O solo utilizado para a incubação dos resíduos foi coletado em uma área de Latossolo Vermelho Amarelo cultivado com pastagem (*Brachiaria decumbens*) e milho (*Zea mays*), ambas as plantas de rota fotossintética C₄, durante os últimos 50 anos. A profundidade de coleta do solo foi de 0 a 20 cm. O solo foi levado para o laboratório, seco ao ar e peneirado (2 mm). Em seguida foi pesado amostras de 1,6 kg deste solo reservando-os em sacolas, para incubação nas unidades experimentais. A caracterização química do solo, e a abundância natural de ¹³C, antes da incubação e a capacidade de campo do solo encontram-se no Quadro 2.

Quadro 2 - Características químicas e capacidade do campo do solo utilizado na incubação de resíduos de fedegoso e ingá

Características	Valores	Unidade
pH em água	4,92	-
pH em KCl	4,14	-
P disponível	2,20	mg dm ⁻³
K disponível	41,00	mg dm ⁻³
Ca trocável	0,96	cmol _c dm ⁻³
Mg trocável	0,36	cmol _c dm ⁻³
Al trocável	0,69	cmol _c dm ⁻³
Matéria orgânica (M.O.)	4,26	dag kg ⁻¹
P remanescente	22,50	mg L ⁻¹
Soma de bases	1,42	cmol _c dm ⁻³
Capacidade de troca catiônica efetiva (t)	2,11	cmol _c dm ⁻³
Capacidade de troca catiônica a pH 7,0 (T)	7,92	cmol _c dm ⁻³
Saturação de bases (V)	17,90	%
Saturação de alumínio (m)	32,70	%
Abundância natural de ¹³ C (δ ¹³ C)	15,07	‰
Capacidade de campo (CC)	0,29	kg kg

Para determinar o pH (em água), utilizou-se TFSA na relação 1:2,5. O P disponível e o K trocável foram extraídos com extrator Mehlich-1; Ca, Mg e alumínio trocáveis foram extraídos utilizando KCl 1 mol L⁻¹ (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA, 1999). A matéria orgânica do solo (carbono orgânico do solo x 1,724) foi determinada utilizando o método Walkley & Black. O P-rem foi avaliado segundo Alvarez et al. (2000). A abundância de $\delta^{13}\text{C}$ do solo foi determinada em espectrômetro de massa de razão isotópica (EMRI) de alta precisão (20-20 ANCA GLS, Sercon, Crewe, UK).

2.4. Procedimentos da incubação

A incubação dos resíduos foi conduzida em casa de vegetação no período entre setembro de 2009 e setembro de 2010. As unidades experimentais (Figura 1) foram arranjadas em um delineamento em blocos casualizados (2 x 2) + 1 x 5, com quatro repetições correspondendo a resíduos senescentes de duas espécies (fedegoso e ingá), duas formas de disposição dos resíduos (dispostos sobre a superfície e incorporados) e um controle, no qual o solo foi mantido sem resíduo e cinco tempos de incubação (zero, três, seis, nove e 12 meses). Os tratamentos foram denominados F_{RI} (resíduo de fedegoso incorporado), F_{RS} (resíduo de fedegoso disposto à superfície), I_{RI} (resíduo de ingá incorporado), I_{RS} (resíduo de ingá disposto à superfície) e controle.

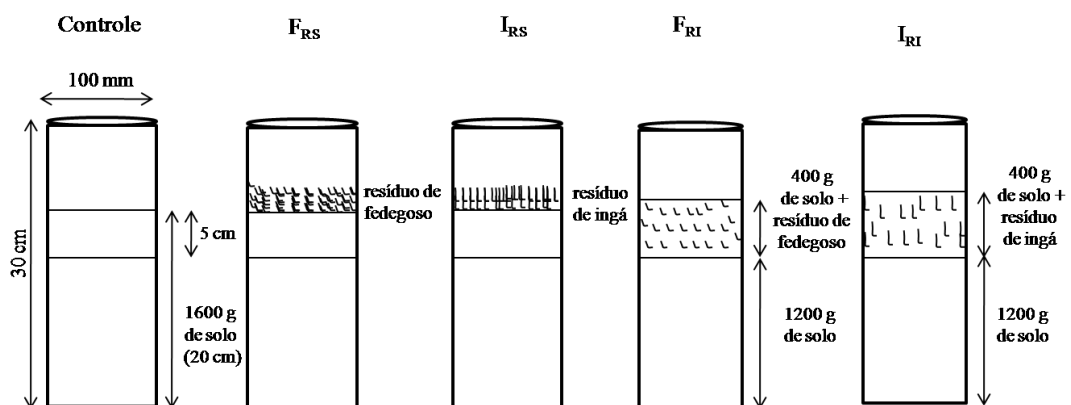


Figura 1 - Esquema do procedimento de incubação do controle e tratamentos com resíduos de fedegoso (S) e ingá (I) incorporados ao solo (F_{RI} e I_{RI}) e mantidos à superfície (F_{RS} e I_{RS})

Durante a montagem de cada coluna, separou-se 400 g solo e o restante (1,2 kg) foram subdivididos em três porções. O mesmo se fez com a água, calculada para alcançar 80% da capacidade de campo. O solo foi acomodado na coluna, alternando uma camada de solo e uma porção de água. Nos tratamentos com resíduo incorporados, misturou-se à última camada de solo as 5 g de C- resíduo. Por último adicionou-se ainda nos tratamentos, água equivalente a 60% da massa seca de resíduos compensando assim a absorção de água pelos mesmos e evitando o dessecamento do solo. Ao final da montagem, cada coluna foi pesada para controle da umidade, e a água evaporada foi repostada a cada dois dias, conforme a diferença de peso da coluna. A temperatura ambiente também foi monitorada com um termômetro de máxima e mínima durante o período da incubação.

2.5. Coleta das amostras

As amostras do tempo zero constituíram em amostras de solo antes de incubar. Aos três, seis, nove e 12 meses, foram desmontadas 20 unidades experimentais. Coletaram-se as amostras de solo na profundidade de 0-5 cm (Figura 1), as quais foram secas ao ar e peneiradas (< 2 mm).

2.6. Determinação da massa seca remanescente de resíduos

Inicialmente, a massa seca (MS) remanescentes de resíduos foi o total incubado (11,5 g de fedegoso e 12,4 g de ingá). Posteriormente a cada coleta (aos três, seis nove e 12 meses), Os resíduos não decompostos nas amostras dos tratamentos (sobre a superfície do solo, ou incorporados), que ficaram retidos na peneira, foram secos em estufa (65°C, 72 h) e pesados em balança de precisão para verificação da MS remanescente de resíduos.

2.7. Evolução de C-CO₂

Durante 99 dias de incubação dos resíduos, o fluxo do CO₂ foi monitorado por meio do método dinâmico, no qual um sistema portátil analisou o fluxo de gás durante 1,5 minutos (SURVEY CHAMBERS LI 8100-102 LI-COR) em cada unidade experimental. Foram realizadas 37 medições, sempre no período da manhã, sendo que

nos primeiros três dias as medições foram feitas diariamente. Na sequência, as medições foram feitas em intervalos de três ou quatro dias. Simultaneamente às leituras de C-CO₂ foi monitorada a temperatura do solo nas unidades. A emissão acumulada de C-CO₂ foi calculada por coluna de incubação, a cada dia, considerando o fluxo de CO₂ (μmol de CO₂ m⁻²s⁻¹) constante em cada período de leitura e considerando a relação molar C/CO₂.

2.8. Teores de C e N totais e das substâncias húmicas

O C orgânico total do solo (COT) das amostras foi determinado por oxidação via úmida, utilizando K₂Cr₂O₇ em meio ácido, com aquecimento externo (YEOMANS; BREMNER, 1988) e o N orgânico total (NT) pelo método Kjeldahl, descrito em Mendonça e Matos (2005).

Para o fracionamento das substâncias húmicas, seguiu-se a técnica da solubilidade diferencial em meio ácido ou alcalino das frações correspondentes, separando-as em ácidos fúlvicos (FAF), ácidos húmicos (FAH) e humina (FHU) segundo o método adaptado de Swift et al. (1979). Determinou-se o C das frações por oxidação via úmida, utilizando K₂Cr₂O₇ em meio ácido, com aquecimento externo (YEOMANS; BREMNER, 1988) e o N pelo método Kjeldahl, ambos descritos em Mendonça e Matos (2005).

2.9. Abundância de δ¹³C

Aos 12 meses, a relação isotópica ¹³C/¹²C ou abundância natural de ¹³C (δ¹³C) do solo e da fração humina dos tratamentos e controle foi determinada em amostras previamente secas e maceradas (< 0,149 mm). As determinações foram feitas em espectrômetro de massas de razão isotópica (EMRI) de alta precisão (20-20 ANCA GLS, Sercon, Crewe, UK) utilizando como padrão o *Pee dee Belemnite* (PDB). Estas foram expressas em deltas por mil (Δ‰) e definidas como:

$$\Delta (\text{‰}) = [(RA-RS)/RS] * 10^3$$

em que R é a razão ¹³C/¹²C; A, a amostra; e S, o padrão.

A quantificação percentual do C da MOS derivado dos resíduos foi feita com base na equação:

$$\% \text{ MO derivada do resíduo} = [(\delta^{13}\text{C}_{\text{solo}} - \delta^{13}\text{C}_{\text{controle}}) / (\delta^{13}\text{C}_{\text{F ou I}} - \delta^{13}\text{C}_{\text{controle}})] \times 100$$

em que % MO (matéria orgânica) é a derivada do resíduo é a percentagem de matéria orgânica derivada do resíduo; $\delta^{13}\text{C}_{\text{solo}}$, o valor da $\delta^{13}\text{C}$ no solo de cada amostra nos tratamentos; $\delta^{13}\text{C}_{\text{F ou I}}$, o valor da $\delta^{13}\text{C}$ do resíduo do fedegoso (F) ou do ingá (I) adicionados ao solo; $\delta^{13}\text{C}_{\text{controle}}$, o valor da $\delta^{13}\text{C}$ para o controle.

2.10. Análises estatísticas

Realizou-se análise de variância, desdobrando-se as interações entre tratamento e tempo, seguida de teste de Tukey (5% de probabilidade) para comparar as médias de MS remanescente, emissões de C-CO₂ aos 54 e 99 dias de incubação, teores de C e N totais e das frações ácidos fúlvicos, ácidos húmicos e humina entre os diferentes tratamentos e controle, nos diferentes tempos de incubação. Realizou-se análise de regressão para as emissões totais acumuladas de C-CO₂ dos tratamentos. Utilizou-se o programa SAS, versão 9.1 (SAS INSTITUTE – SAS, 2003).

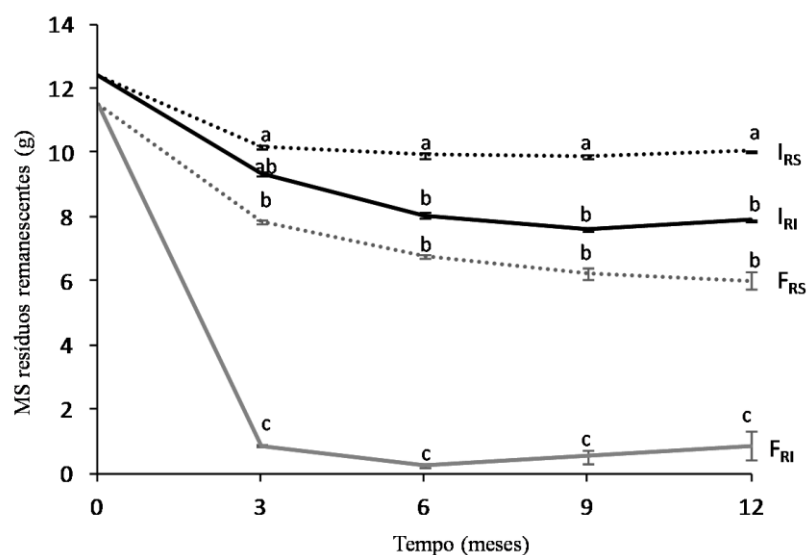
3. RESULTADOS

3.1. Caracterização dos resíduos

Nos resíduos de fedegoso as concentrações de N (2,21%) e C (50,4%) assemelharam-se aquelas encontradas em resíduos de ingá (N: 2,14% e C: 46,4%). Os valores de relações C/N foram muito próximos para os dois resíduos.

3.2. Massa seca remanescente de resíduos

A Figura 2 apresenta o decaimento da matéria seca remanescente de resíduos em solo incubado com resíduos de fedegoso e de ingá incorporados e dispostos à superfície, avaliados antes da incubação e a cada três meses após a incubação. No Anexo B, encontra-se o quadro de ANOVA de decaimento de MS de resíduos.



Tratamentos com letras iguais no mesmo tempo avaliado, não se diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Figura 2 - Decaimento de matéria seca remanescente (MS) de resíduos em solo incubado com resíduos de fedegoso (F) e ingá (I) incorporados (F_{RI} e I_{RI}) e dispostos à superfície (F_{RS} e I_{RS}), avaliados após diferentes tempos de incubação.

Os percentuais de MS remanescente de resíduos variaram ($p < 0,05$) entre tratamentos nos diferentes tempos avaliados. No tratamento F_{RI} foi verificada rápida decomposição. Já aos três meses de incubação restavam neste tratamento apenas 8% da MS aplicada, enquanto para I_{RI} restavam ainda 75%. No tratamento F_{RS} também foi verificada rápida decomposição aos três meses de incubação, restando 68% da MS adicionada. Para I_{RS} não houve decomposição significativa ao longo do período de um ano de incubação. Aos 12 meses de incubação, os tratamentos F_{RS} e I_{RI} apresentaram decaimento da MS de resíduos para respectivamente, 52 e 64% de MS remanescente de resíduos.

As temperaturas máximas e mínimas medidas ao longo do período de incubação são apresentadas na Figura 3. Sendo que a mínima variou de 5,5 a 21,6 e a máxima variou de 23,5 a 45°C. Valores mínimos foram verificados no período de junho a agosto e os máximos no período de janeiro a março.

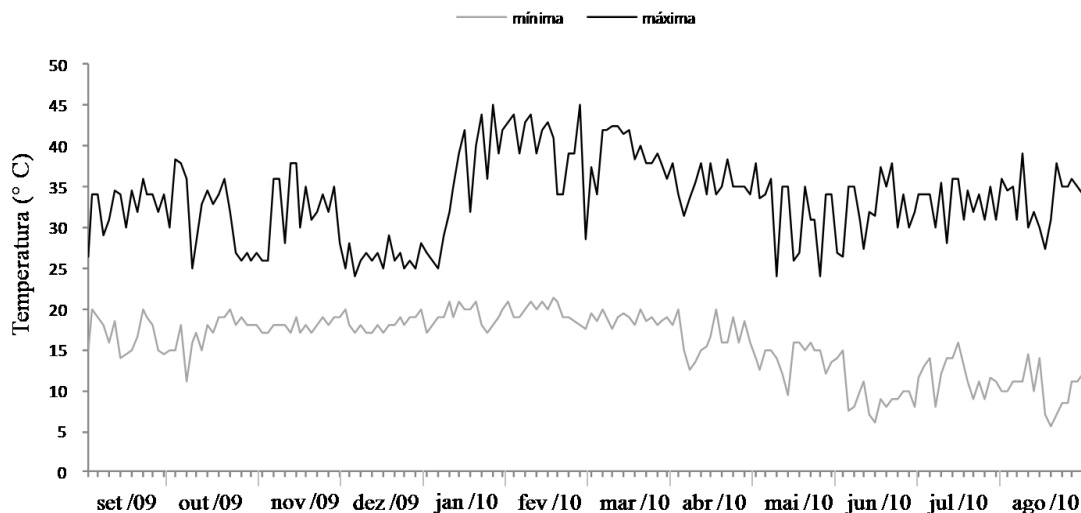


Figura 3 - Temperaturas máximas e mínimas em casa de vegetação ao longo do período de incubação dos resíduos.

3.3. Evolução de C-CO₂

A Figura 4 apresenta as emissões totais acumuladas de C-CO₂ oriunda da mineralização de resíduos de fedegoso e ingá em colunas de incubação com os resíduos incorporados ao solo e mantidos à superfície ao longo de 99 dias. No Anexo B, encontra-se o quadro de ANOVA de evolução de C-CO₂.

Nos primeiros dias de incubação o tratamento F_{RI} já apresentava maior emissão acumulada de C-CO₂ em relação aos demais tratamentos. Aos 54 dias de incubação, quando a emissão de C-CO₂ já sinalizava uma tendência de estabilização nos tratamentos F_{RI} e I_{RI}, verificou-se uma elevação do fluxo de C-CO₂ nos tratamentos F_{RS} e I_{RS}, principalmente para F_{RS}.

As equações ajustadas, os valores de R² e C-CO₂ acumulado aos 54 e 99 dias de incubação dos tratamentos e controle (solo) são apresentados no Quadro 3. No Anexo B, encontra-se o quadro de ANOVA de evolução de C-CO₂ aos 54 e 99 dias de incubação.

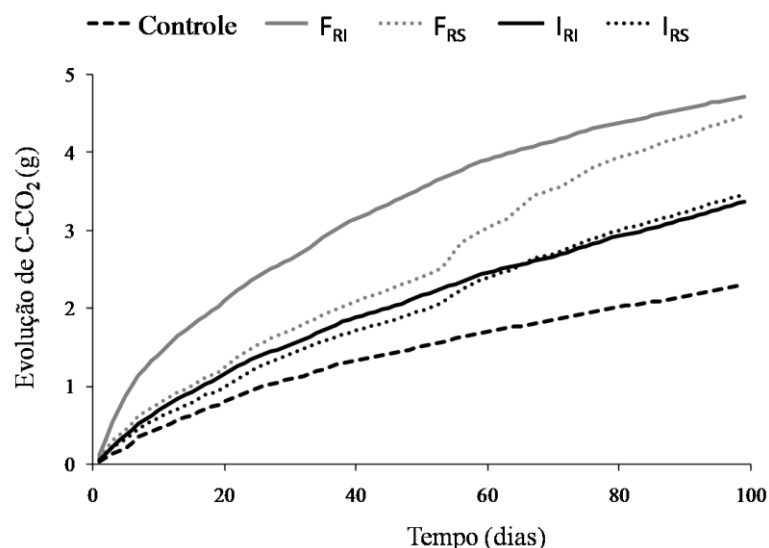


Figura 4 - Emissão total acumulada de C-CO₂(g) oriunda da mineralização de resíduos de fedegoso e ingá, em colunas de incubação com solo (controle), com os resíduos incorporados ao solo F_{RI} e I_{RI} e mantidos à superfície F_{RS} e I_{RS} ao longo de 99 dias.

Quadro 3 - Equações ajustadas para a evolução acumulada de C-CO₂ durante 99 dias, valores de R² e C-CO₂ acumulado aos 54 e 99 dias de incubação de resíduos de fedegoso (F) e ingá (I) incorporados (F_{RI} e I_{RI}), dispostos à superfície (F_{RS} e I_{RS}) e controle (solo)

Tratamento	Equação ajustada	R ²	54 dias	99 dias
		 g C-CO ₂ g C-CO ₂
F _{RI}	$y = -0,64*** + 0,70***\sqrt{x} + 0,01***x$	0,9996	3,7 a	4,8 a
F _{RS}	$y = 0,01 + 0,12***\sqrt{x} + 0,03***x$	0,9989	2,8 b	4,6 a
I _{RI}	$y = -0,34*** + 0,31***\sqrt{x} + 0,01***x$	0,9999	2,3 c	3,4 b
I _{RS}	$y = -0,15*** + 0,17***\sqrt{x} + 0,02***x$	0,9998	2,2 c	3,5 b
Controle	$y = -0,33*** + 0,25***\sqrt{x} + 0,00***x$	0,9998	1,6 d	2,3 c

Nível de significância dos parâmetros: * (p < 0,05), ** (p < 0,01) e *** (p < 0,001).

Para a evolução de C-CO₂ aos 54 e 99 dias, letras iguais na mesma coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (p < 0,05).

As emissões acumuladas de C-CO₂ medidas ao longo de todo o período de incubação, diferiram (p > 0,05) entre tratamentos. Aos 99 dias não se observou efeito

quanto à forma de disposição dos resíduos ($p < 0,05$), tanto para F_{RI} (4,8 g C-CO₂) e F_{RS} (4,6 g C-CO₂) quanto para I_{RI} (3,4 g C-CO₂) e I_{RS} (3,5 g C-CO₂). Porém, houve maior liberação de C-CO₂ ($p > 0,05$) dos resíduos de fedegoso em relação ao ingá, tanto para tratamentos com os resíduos incorporados quanto para tratamentos dispostos à superfície. Todos os tratamentos apresentaram maiores emissões ($p > 0,05$) do que o controle (2,3 g de C-CO₂).

A temperatura do solo medida simultaneamente ao C-CO₂, não variou entre os tratamentos, porém variou de 18,2 a 26,6°C ao longo do tempo de incubação, influenciando o fluxo de C-CO₂, elevando-os em dias mais quentes ou mantendo-os mais baixos quando as temperaturas eram mais baixas. Este efeito foi demonstrado pela alta correlação ($r = 0,96$, $p < 0,001$) entre os valores de fluxo de C-CO₂ e a temperatura do solo dos tratamentos.

3.4. Teores de carbono e nitrogênio totais

O Quadro 4 apresenta os teores totais de C (COT) e N (NT) em solo incubado com resíduos de fedegoso e ingá, incorporados e dispostos à superfície, avaliados após diferentes tempos de incubação. No Anexo B, encontra-se o quadro de ANOVA de C e N do COT e NT. O COT e NT variaram ($p < 0,05$) ao longo do tempo nos diferentes tratamentos.

Avaliando a forma de disposição dos resíduos para cada espécie, o tratamento F_{RI} incrementou ($p < 0,05$) o COT de 2,14 dag kg⁻¹ antes de incubar, para 2,92 dag kg⁻¹, aos três meses de incubação mantendo teores aproximados a este até os 12 meses de incubação. Neste tratamento (F_{RI}), os teores de COT foram de 17 a 31% mais elevados que F_{RS} cujos teores não diferiram ($p < 0,05$) ao longo de todo o período de incubação. Os tratamentos I_{RI} e I_{RS} também não apresentaram diferenças entre os teores de COT sendo a variação de 2,13 a 2,39 dag kg⁻¹. Dessa forma, o tratamento F_{RI} apresentou teores de COT de 15 a 35% maiores comparados ao I_{RI} ($p < 0,05$).

Quadro 4 - Valores médios (n=4) de C e N totais em solo incubado com resíduos de fedegoso (F) e ingá (I), incorporados (F_{RI} e I_{RI}) e dispostos à superfície (F_{RS} e I_{RS}), avaliados após diferentes tempos de incubação

Trat	0 mês	3 meses	6 meses	9 meses	12 meses
..... COT (dag kg ⁻¹)					
F _{RI}	2,14 b	2,92 aA	2,86 aA	3,00 aA	2,75 aA
F _{RS}	2,14	2,34 B	2,18 BC	2,35 B	2,34 B
I _{RI}	2,14	2,34 B	2,34 B	2,23 BC	2,39 B
I _{RS}	2,14	2,32 B	2,21 BC	2,13 BC	2,13 B
Controle	2,14 ab	2,32 aB	2,03 bC	2,07 abC	2,26 abB
..... NT (dag kg ⁻¹)					
F _{RI}	0,21 b	0,22 bA	0,22 b A	0,26 aA	0,21 bA
F _{RS}	0,21	0,17 B	0,18 B	0,20 B	0,18 B
I _{RI}	0,21	0,18 B	0,20 B	0,19 B	0,19 B
I _{RS}	0,21	0,19 B	0,18 B	0,19 B	0,18 B
Controle	0,21	0,18 B	0,18 B	0,18 B	0,18 B

Letras minúsculas iguais na mesma linha e maiúsculas iguais na mesma coluna, para a mesma variável analisada, não diferem entre si pelo teste de Tukey (p < 0,05).

Maiores teores (p > 0,05) de NT foram verificados para o tratamento F_{RI} (variando de 0,21 a 0,26 dag kg⁻¹), correspondendo a aumento de 17 a 30% em relação ao tratamento F_{RS}. Este por sua vez, não apresentou diferença nos teores de NT ao longo do tempo. Para o ingá não se verificou diferenças (p > 0,05) entre formas de adição ao longo do período de incubação (variação de 0,17 e 0,21 dag kg⁻¹ para I_{RI} e I_{RS}). Assim, só houve efeito quanto à forma de disposição dos resíduos para o fedegoso, e só houve efeito de espécies quando os resíduos foram incorporados, sendo estes teores de até 36% maiores para o fedegoso comparado com o ingá.

3.5. C e N nas substâncias húmicas

3.5.1. Ácidos fúlvicos e ácidos húmicos

Os teores de C-FAF, N-FAF, C-FAH e N-FAH nos tratamentos e controle após 12 meses de incubação são apresentados no Quadro 5.

Quadro 5 - Valores médios de C e N-FAF e, C e N-FAH em solo (controle) e após 12 meses de incubação de solo com resíduos de fedegoso (F) e ingá (F), incorporados (F_{RI} e I_{RI}) e dispostos à superfície (F_{RS} e I_{RS}), e relações C-FAH/C-FAF

Trat	C-FAF	N-FAF	C-FAH	N-FAH	C-FAH/C-FAF
 (dag kg ⁻¹)				
F_{RI}	0,29	0,05	0,26	0,08 A	0,90
F_{RS}	0,30	0,04	0,25	0,06 B	0,84
I_{RI}	0,28	0,04	0,24	0,08 A	0,83
I_{RS}	0,29	0,04	0,25	0,07 A	0,86
Controle	0,30	0,04	0,22	0,07 A	0,75

Letras iguais na mesma coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Os teores de C-FAF, N-FAF e C-FAH medidos aos 12 meses de incubação, não variaram ($p < 0,05$) entre os tratamentos. Para C-FAF, estes teores foram de 0,28 a 0,30 dag kg⁻¹ entre tratamentos e controle; Para N-FAF de 0,04 a 0,06 dag kg⁻¹; Para C-FAH de 0,22 a 0,26 dag kg⁻¹.

Houve diferenças entre tratamentos apenas nos teores de N-FAH, sendo que o F_{RS} apresentou menor teor (0,06 dag kg⁻¹) em relação ao controle e demais tratamentos cujos teores foram de 0,07 a 0,08 dag kg⁻¹.

A relação C-FAH/C-FAF foi ligeiramente, mais elevada (0,92) no tratamento F_{RI} comparado aos demais tratamentos, para os quais estas relações foram de 0,83 a 0,86 e ao controle cuja relação foi 0,75, portanto, a mais baixa.

3.5.2. Fração humina

Os teores de C e N-FHU em solo incubado com resíduos de fedegoso e ingá, incorporados e dispostos à superfície, avaliados após diferentes tempos de incubação são apresentados no Quadro 6. No Anexo B, encontra-se o quadro de ANOVA para os teores de C e N da fração humina.

Quadro 6 - Valores médios (n=4) de C-FHU e N-FHU (fração humina) em solo incubado com resíduos de fedegoso e ingá, incorporados (F_{RI} e I_{RI}) e dispostos à superfície (F_{RS} e I_{RS}), avaliados após diferentes tempos de incubação

Trat	0 mês	3 meses	6 meses	9 meses	12 meses
..... C-FHU (dag kg ⁻¹)					
F_{RI}	1,22 c	2,98 aA	3,02 aA	3,01 aA	2,04 bA
F_{RS}	1,22 c	1,97 abB	2,03 aC	2,00 abB	1,76 bB
I_{RI}	1,22 c	1,87 bB	2,31 aB	1,70 bC	1,69 bB
I_{RS}	1,22 c	1,96 aB	1,81 abD	1,72 abC	1,67 bB
Controle	1,22 c	1,92 abB	2,09 aC	1,64 bC	1,70 bB
..... N-FHU (dag kg ⁻¹)					
F_{RI}	0,07 d	0,11 bA	0,09 cA	0,16 aA	0,16 aA
F_{RS}	0,07 d	0,11 bAB	0,09 cA	0,11 bB	0,13 aB
I_{RI}	0,07 c	0,10 bAB	0,09 bA	0,11 bB	0,14 aB
I_{RS}	0,07 c	0,09 bB	0,05 dB	0,11 bB	0,12 aB
Controle	0,07 c	0,10 bAB	0,09 bA	0,10 bB	0,13 aB

Letras minúsculas iguais na mesma linha e maiúsculas iguais na mesma coluna, para a mesma variável analisada, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Comparando as formas de disposição dos resíduos, os teores de C-FHU foram mais elevados nos tratamentos com incorporação (Quadro 6). Para F_{RI} foram verificados teores variando de 1,2 dag kg⁻¹ antes da incubação a 3,0 dag kg⁻¹ após incubação, e de 1,2 a 2,0 dag kg⁻¹ no tratamento F_{RS} . Para I_{RI} os teores variaram de 1,2 a 2,3 dag kg⁻¹ e de 1,2 a 1,8 dag kg⁻¹ no tratamento I_{RS} . Comparando entre espécies, F_{RI} apresentou teor de C-FHU mais elevado que I_{RI} ao longo de todo o período de incubação. F_{RS} apresentou também aos seis e nove meses, teores maiores que I_{RS} .

Os teores de N-FHU foram mais elevados em todos os tratamentos e controle já aos três meses (0,09 a 0,11 dag kg⁻¹), em relação aos teores no solo antes de incubar (0,07 dag kg⁻¹). Estes se elevaram ainda mais com o tempo de incubação, apresentando aos 12 meses valores que variaram de 0,12 a 0,16 dag kg⁻¹ (Quadro 6).

Comparando as formas de disposição dos resíduos para cada espécie, F_{RI} e I_{RI} apresentaram maiores teores de N-FHU em relação aos tratamentos F_{RS} e I_{RS} , mas para alguns períodos da incubação. Para o fedegoso estes foram verificados aos nove e aos 12 meses quando F_{RI} apresentou 0,16 dag kg⁻¹ enquanto para F_{RS} estes foram 0,11 a

0,13 dag kg⁻¹. Por sua vez o I_{RI} (0,09 dag kg⁻¹), apresentou somente aos seis meses, maior teor de N-FHU do que o I_{RS} (0,05 dag kg⁻¹).

Comparando-se as espécies, F_{RI} apresentou aos nove e 12 meses, teores maiores de N-FHU (0,16 dag kg⁻¹), do que I_{RI} (de 0,11 a 0,14 dag kg⁻¹). Entre F_{RS} e I_{RS} não houve diferença.

3.6. Abundância natural de ¹³C

A Figura 5 apresenta a abundância natural de ¹³C ($\delta^{13}\text{C}$) na fração humina e no solo dos tratamentos e controle, após um ano de incubação.

O valor da $\delta^{13}\text{C}$ na fração humina foi mais negativo para o tratamento F_{RI} (-19,9‰). F_{RS} (-18 ‰) e I_{RI} (-17,8 ‰) foram semelhantes. O valor menos negativo de $\delta^{13}\text{C}$ (-16‰) foi observado para I_{RS}. No solo, a $\delta^{13}\text{C}$ apresentou números mais negativos para F_{RI} (-18‰) e para I_{RI} (-16,50‰). Para I_{RS} a $\delta^{13}\text{C}$ foi ligeiramente menos negativa (-15,7‰) do que os tratamentos com resíduos incorporados, mas ainda mais negativo que o controle. Porém, para F_{RS}, a abundância se assemelhou àquela apresentada pelo controle, sendo de -14,7 e -14,3‰, respectivamente.

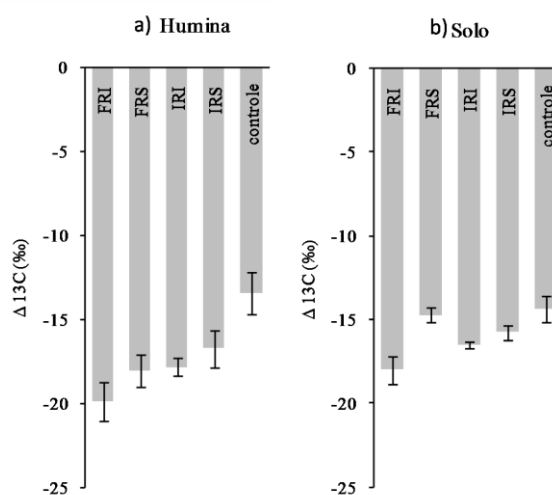


Figura 5 - Abundância natural de ¹³C na fração humina e no solo, após um ano de incubação com resíduos de fedegoso (F) e ingá (I) incorporados ao solo (F_{RI} e I_{RI}) e mantidos à superfície (F_{RS} e I_{RS}).

O Quadro 7 apresenta os percentuais de matéria orgânica derivada dos resíduos na fração humina e no solo dos tratamentos e controle, após um ano de incubação.

Quadro 7 - Porcentagem de matéria orgânica derivada dos resíduos na fração humina e no solo após um ano de incubação com resíduos de fedegoso (S) e ingá (I) incorporados ao solo (F_{RI} e I_{RI}) e mantidos à superfície (F_{RS} e I_{RS})

Tratamentos	MO Derivada do resíduo (%)	
	Humina	Solo
F_{RI}	37,38	22,21
F_{RS}	26,74	7,42
I_{RI}	33,09	17,54
I_{RS}	25,02	11,62

Calculando os percentuais de matéria orgânica derivada dos resíduos na fração humina dos tratamentos, verificaram-se valores ligeiramente maiores para F_{RI} (37,4%) e I_{RI} (33,1%). Nos tratamentos F_{RS} e I_{RS} estes valores alcançaram 26,7% e 25% respectivamente. Desta forma, maiores valores de substituição da MOS por matéria orgânica derivada dos resíduos foram verificadas nos tratamentos F_{RI} e I_{RI} . Entre as espécies, observou-se valores maiores de substituição da MOS por matéria orgânica derivada dos resíduos de fedegoso em ambas as formas de disposição dos resíduos.

No solo, os percentuais de matéria orgânica derivada do resíduo (Quadro 7) foram maiores para tratamentos com resíduos incorporados tanto de fedegoso (22,2%) quanto de ingá (17,5%). Nos tratamentos F_{RS} e I_{RS} este foi de 7,4% para fedegoso e 11,6% para ingá.

4. DISCUSSÃO

4.1. Caracterização dos resíduos

As elevadas concentrações de lignina (Quadro 1) verificadas nos resíduos de ingá (12% a mais do que os verificados nos resíduos de fedegoso) podem estar limitando o crescimento e a atuação dos decompositores sobre os resíduos desta espécie.

A lignina é de difícil degradação (PALM; SANCHES, 1990; MAFONGOYA et al., 1998; HÄTTENSCHWILER; VITOUSEK, 2000), assim como a celulose (PUTTASO et al., 2011; MATOS et al., 2008) que também é 10% mais elevada em resíduos de ingá, comparadas com os resíduos de fedegoso. Para o fedegoso, os elevados teores de polifenóis (2,8% a mais do que no ingá) não parecem reduzir as taxas de decomposição destes, já que a decomposição aconteceu rapidamente, contradizendo a informação de que os elevados teores de polifenóis podem retardar a velocidade de decomposição de resíduos, principalmente na fase inicial do processo.

As relações entre os teores de lignina e polifenóis e os teores de N, presentes nos resíduos podem indicar a velocidade de decomposição dos resíduos (PRAVEEN-KUMAR et al., 2003; MATOS et al., 2008; DUARTE, 2007; DUARTE et al., 2012). Resíduos com relação lignina/N maior que cinco (PRAVEEN-KUMAR et al., 2003) e (lignina + polifenol)/N maior que 10 (PALM; SANCHES, 1990) apresentam baixa taxa de decomposição. Com base nestes índices, os resíduos de fedegoso (relação lignina/N de 7,0 e (lignina + polifenol)/N de 14,6) e de ingá (relação lignina/N de 12,8 e (lignina + polifenol)/N de 17,6) seriam considerados de lenta decomposição. Entretanto, verificou-se que os resíduos de fedegoso se decompuseram rapidamente, enquanto os de ingá se decompuseram lentamente.

Além de as relações lignina/N e (lignina + polifenol)/N serem maiores para o ingá em relação ao fedegoso, o ingá apresentou em sua composição, 21,2% de celulose (Quadro 1) sendo estes três, os índices que melhor correlacionaram com as taxas de decomposição desses resíduos (DUARTE, 2007; DUARTE et al., 2012).

4.2. Massa seca remanescente de resíduos

Os baixos percentuais de MS remanescente de resíduos verificados nos tratamentos F_{RS} e I_{RS} , comparados ao F_{RI} e I_{RI} (Figura 2) devem-se, à maior quantidade de microrganismos presentes no solo em relação à serapilheira ou camada de resíduos, além do favorecimento da ação dos organismos devido o maior contato com os resíduos, e maior umidade destes quando incorporados. Segundo Moreira e Siqueira (2002), a incorporação de resíduos ao solo amplia e modifica a composição da biota do deste, elevando as taxas de decomposição e mineralização dos resíduos.

Segundo Duarte (2007) e Duarte et al. (2012), o tempo de meia vida dos resíduos de fedegoso (em *litter bags*) foi calculado em 84 dias, e para o ingá, de 234

dias. Para *Inga edulis*, espécie do mesmo gênero, estudadas por Chacón (2006) na mesma região, o $t_{1/2}$ foi de mais de 150 dias, corroborando com os resultados encontrados neste trabalho.

4.3. Evolução de C-CO₂

Maior mineralização e emissão acumulada de C-CO₂ (Figura 4) nos tratamentos F_{RI} e I_{RI} em relação aos tratamentos F_{RS} e I_{RS} são verificados até o 54.º dia. Estes resultados estão em acordo com os verificados para a perda de MS remanescente de resíduos nos tratamentos com fedegoso, principalmente se incorporados, que alcançou 92% do adicionado aos três meses (Figura 2). Já para o ingá esta proporção foi de 25%.

Porém, após o 55.º dia, os tratamentos com resíduos dispostos à superfície passaram a apresentar maior evolução de C-CO₂ (Quadro 3) do que tratamentos com resíduos incorporados. Esse comportamento pode ser devido à liberação do material lábil a partir dos resíduos levando ao aumento da microbiota do material na superfície.

Ao final das avaliações (aos 99 dias), não houve mais diferença entre a evolução acumulada de C-CO₂ nos tratamentos F_{RI} (4,71 g de C-CO₂) e F_{RS} (4,47 g de C-CO₂), e nem entre o I_{RI} (3,36 g de C-CO₂) e I_{RS} (3,46 g de C-CO₂). Porém, ficou evidenciado o efeito de espécie nos tratamentos, sendo que resíduos de fedegoso foram mineralizados mais rapidamente.

4.4. Teores de carbono e nitrogênio totais

Os maiores teores de COT e NT observados no solo do tratamento F_{RI} (Quadro 4) estão de acordo com a menor MS remanescente de resíduos (Figura 2) e mais rápida mineralização observada neste tratamento comparado aos demais. Este resultado evidencia a rota do C-resíduo sendo, em parte mineralizado, e em parte incorporado ao solo como matéria orgânica. É interessante ressaltar o efeito aditivo da qualidade do resíduo e da forma de disposição destes no solo afetando os teores de COT e NT. Neste sentido os resíduos de fedegoso (de decomposição rápida) só incrementaram os teores de COT e NT em relação aos resíduos de ingá, quando foram incorporados. Entretanto, os resíduos de ingá, não elevaram os teores de COT no solo, nem mesmo quando estes foram incorporados.

Neste caso, os resíduos de fedegoso podem disponibilizar mais nutrientes, principalmente considerando que o fedegoso aporta grande quantidade de resíduo e de forma contínua (Introdução Geral). Além disso, a grande diversidade de fauna do solo, normalmente presente nos SAFs (DAUGER et al., 2005; SOUZA, 2010) pode promover a trituração e a incorporação destes resíduos favorecendo ainda mais a decomposição do litter presentes nestes sistemas (CORTEZ, 1998; STADLER et al., 2006).

A leve redução do COT verificada aos seis meses no tratamento controle sinalizou a perda de C na forma de CO₂, provenientes da oxidação de compostos, durante a incubação, uma vez que o simples umedecimento do solo estimula o crescimento da microbiota (VARELLA et al., 2004). Já nos tratamentos que receberam resíduos, mesmo sendo estes de difícil decomposição como os de ingá, os teores de COT foram mantidos ou incrementados ao longo da incubação. Isso evidencia a grande importância do aporte de resíduos orgânicos ao solo para as nossas condições de clima tropical. Nos trópicos, as reações de oxidação são rápidas reduzindo em pouco tempo a MOS e seus benefícios ao solo.

Apesar da lenta taxa de decomposição dos resíduos de ingá, verificada neste trabalho, outras pesquisas realizadas a campo observaram maiores teores de COT (AGUIAR, 2008) e estoques de C (XAVIER, 2009) em solo sob SAFs com café, instalados há 15 anos, cujo principal componente arbóreo era constituído desta espécie, comparado ao solo cultivado com café a pleno sol de mesma idade e adjacente. Tal resultado indica que a deposição contínua destes resíduos pelas árvores nos SAFs, garante, em maior período de tempo, incremento nos valores de COT mesmo sendo este, um resíduo de lenta decomposição. Em SAFs com outras espécies de árvores na mesma região, com apenas cinco anos de instalação, o sistema agroflorestal favoreceu a recuperação dos níveis de MOS e características químicas do solo (PEREZ et al., 2004). Por isso, estes autores recomendam que seja incentivado o uso destes sistemas na recuperação de solos em áreas acidentadas.

4.5. Teores de carbono e nitrogênio das substâncias húmicas

4.5.1. Frações, ácidos fúlvicos e ácidos húmicos

A ausência de efeito nos valores de C-FAF, N-FAF e C-FAH (Quadro 5) dos tratamentos, e pequeno efeito sobre o N-FAH, ao final da incubação, são explicados pela lenta dinâmica dessa fração da MOS, uma vez que as substâncias húmicas são compostos mais condensados e complexos, exigindo portanto, mais tempo para a sua formação (SIX, 2002). Além disso, as frações ácidos fúlvicos e ácidos húmicos ocorrem em pequenas proporções no solo, sendo as alterações nos teores de C e N destas frações, pouco perceptíveis.

A relação C-FAH/C-FAF dá idéia do grau de condensação da MOS (CANELLAS et al., 2004; CUNHA et al., 2005). Esta tendeu ser maior no tratamento com resíduos incorporados de fedegoso (Quadro 5) demonstrado pelo valor mais elevado de relação (0,92) comparada aos demais tratamentos (relações de 0,83 a 0,86) e controle (0,75). Estes resultados apontam que além da maior mineralização dos resíduos de fedegoso disponibilizando mais C e N em relação aos demais tratamentos, parte do C destes resíduos estão sendo destinados à formação da MOS em frações mais estáveis como as frações ácidos fúlvicos e, principalmente, ácidos húmicos, resultando no aumento dessas relações, comparada aos demais tratamentos e controle.

4.5.2. Fração humina

A formação da fração humina nos tratamentos, medida pelos teores de C-FHU (Quadro 6) foi rápida e intensa para os resíduos de fedegoso, estando este resultado em consonância com o maior nível de condensação apontado pelas relações C-FAH/C-FAF (Quadro 5) para tratamentos com resíduos desta espécie comparados a ingá, principalmente, quando estes foram incorporados.

Os maiores conteúdos da fração humina em todos os tratamentos e a maior estabilidade destes em relação às demais frações das substâncias húmicas são relacionados à sua insolubilidade e sua resistência à biodegradação, favorecida pela formação de complexos estáveis e/ou, complexos argilo-húmicos (PINHEIRO et al., 2001).

A maior humificação no tratamento com resíduos incorporados de fedegoso, possivelmente, deve-se à maior mineralização destes resíduos e à disponibilização de N (elevada correlação positiva entre NT e C-FHU). Esta maior disponibilidade de N possibilita aumento da atividade biológica e o consumo de formas de C-lábeis e redução do estoque de C, principalmente no período inicial da incubação e incorporação (KUZYAKOV et al., 2000; CADISCH et al., 1998). Nos estágios mais avançados de decomposição, o C passa a ser limitante, pois, restam apenas suas formas mais recalcitrantes e o N é então disponibilizado. O N é fundamental no processo de estabilização da MOS, como constituinte da estrutura das frações húmicas mais recalcitrantes (STEVENSON, 1994).

Diversas pesquisas (PALM, 1995; HADAS et al., 2004; SILVA et al., 2008) enfatizam que a formação da matéria orgânica mais estável no solo é um processo lento e está relacionada a presença de formas mais complexas de C como a lignina, polifenóis nos resíduos de origem. Porém Stevenson (1994) acrescenta que, além da proporção dos precursores das substâncias húmicas (lignina e polifenóis) em relação aos compostos hidrossolúveis e nitrogenados da matéria orgânica, o consumo destes compostos pelos organismos do solo é necessária. Tal afirmação pode contribuir para explicar os resultados encontrados para o tratamento com resíduos de ingá, para o qual, mesmo incorporado ao solo este foi lentamente mineralizado. Apenas o maior conteúdo de celulose não explicaria esta baixa decomposição da espécie, uma vez que a espécie *Sollanum mauritianum* que apresenta 22% de celulose em seus tecidos foliares é considerada uma espécie de rápida decomposição (Quadro 4 do Capítulo 1) e o ingá por sua vez, apresenta 21% (Quadro 1). É possível que esta não desintegração dos resíduos esteja relacionada à presença de elevados teores de ceras (cutina, suberina e outros componentes de natureza apolar) presente nos pêlos que cobrem as folhas do ingá. Tais compostos dificultariam a absorção de água pelas folhas, reduzindo nestas, a ação dos microrganismos. Porém, a presença de tais compostos não foi avaliada neste estudo.

Em solos sob SAFs na região da Zona da Mata de Minas Gerais, com cinco anos de idade, cujo extrato arbóreo era diversificado, Perez et al. (2004), encontraram teores mais elevados da fração húmica, ácidos húmicos e ácidos fúlvicos, comparados à sistemas convencionais, mostrando que no campo, as respostas ao aumento dos níveis de MOS sob SAFs podem ser rápidas. Estas podem ser influenciadas pela qualidade do resíduo e também pelas condições ambientais e comunidade microbiana disponível (SWIFT et al., 1979). Porém as plantas também diferenciadamente, podem influenciar o

microclima, as propriedades do solo e os microrganismos do solo (CALLAWAY, 1995), alterando a taxa de decomposição, a formação da MOS e a ciclagem de nutrientes.

4.6. Abundância de ^{13}C

Por meio da análise de $\delta^{13}\text{C}$ confirmou-se a transferência de C dos resíduos para o solo formando a MOS (Figura 5), inclusive na fração humina, isto se verificou principalmente, nos tratamentos em que estes resíduos foram incorporados. Mesmo sendo a fração humina a mais complexa fração da MOS, verificou-se maior percentual de MO derivada do resíduo nesta fração em relação à MO derivada do resíduo no solo, mostrando que há destinação preferencial do C dos resíduos para a fração humina em relação ao total das frações da MOS. Apesar de os resultados, COT, NT, C-FHU e N-FHU (Quadros 4 e 6), terem evidenciado maiores teores apenas para o tratamentos F_{RI} , em relação aos demais, a substituição da MOS está acontecendo também em outros tratamentos. Os resultados da análise de $\delta^{13}\text{C}$ evidenciam (Figura 5), em especial para tratamentos I_{RI} , o consumo preferencial da matéria orgânica nativa do solo em relação ao resíduo adicionado no período inicial da incubação. Com o tempo, estes resíduos foram decompostos, iniciando-se assim a formação de uma nova MOS em substituição a MOS nativa, anteriormente consumida. Neste caso, embora alterações dos teores de COT, NT, C-FHU e N-FHU, em tratamentos com resíduos incorporados de ingá, não tenham sido detectados pelas análises quantitativas, houve alteração qualitativa, com a MOS nativa (Quadro 7) seja na fração humina (33,1%), ou no solo (17,5%) sendo substituída por uma MOS “nova” oriunda dos resíduos adicionados, detectadas pelas análises isotópicas. Para o tratamento F_{RI} estes percentuais foram de 37,4% na fração humina e 22,2% no solo.

Os resultados parecem apontar para o favorecimento do processo de humificação dos resíduos de ingá em detrimento da sua mineralização concordando com Mafongoya et al. (1998), de que resíduos mais ricos em compostos recalcitrantes (como celulose e lignina) favorecem a estabilização da MOS. Este fato é evidenciado pelos resultados de substituição da MOS, nos quais fedegoso e ingá apresentaram substituições semelhantes, em ambas as formas de incorporação, enquanto a evolução de C-CO_2 e perda de massa foram maiores para resíduos de fedegoso. Assim, em

princípio, resíduos de ingá apresentaram maior eficiência de estabilização da MOS, comparado ao fedegoso.

5. CONCLUSÃO

Este estudo mostra que a seleção de espécies para compor os SAFs pode influenciar no estoque de C do solo, pois altas concentrações de celulose e altas relações (lignina mais polifenol)/N e lignina/N do resíduo de ingá favoreceram o processo de humificação desses resíduos e a formação de frações estáveis da MOS. Já os resíduos de fedegoso apresentaram alta taxa de decomposição, mineralização e humificação, contribuindo para a formação de frações estáveis da MOS em curto prazo. Isto aponta a necessidade de escolher de diferentes espécies arbóreas, com características diferentes, para compor os SAFs.

Resíduos incorporados favoreceram a formação de substâncias húmicas mais rapidamente do que resíduos mantidos em superfície, principalmente, se estes são de rápida decomposição como o fedegoso. Isto permite concluir que o manejo do solo deve favorecer a manutenção da fauna do solo, a qual exerce função importante na trituração e incorporação dos resíduos.

6. REFERÊNCIAS

AGUIAR, I.M. **Qualidade física do solo em sistemas agroflorestais**. 2008. 79 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

ALVAREZ, V.H.; NOVAIS, R.F.; DIAS, L.E.; OLIVEIRA, J.A. Determinação e uso do fósforo remanescente. **Boletim Informativo Soc. Bras. Ci. Solo**, v. 25, p. 27-33, 2000.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE CAFÉ – ABIC. **Indicadores da indústria de café no Brasil**. Disponível em: <www.abic.com.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?sid=61#tabevol2011>. Acesso em: 20 mar. 2011.

BATJES, N.H. Total C and N in soils of the world. **Eur. J. Soil Sci.**, n. 47, p. 151-163, 1996.

CADISCH, G.; HANDAYANTO, E.; MALAMA, C. et al. N recovery from legume prunings and priming effects are governed by the residue quality. **Plant and Soil**, v. 205, n. 2, p. 125-134, 1998.

CALLAWAY, R.M. Positive interactions among plants. **Botanical Review**, v. 61, p. 306-349, 1995.

CANELLAS, L.P.; ESPINDOLA, J.A.A.; REZENDE, C.E. et al. Organic matter quality in a soil cultivated with perennial herbaceous legumes. **Sci. Agric.**, v. 61, p. 53-61, 2004.

CARDOSO, I.M.; GUIJT, I.; FRANCO, F.S. et al. Continual learning for agroforestry system design: university, NGO and farmer partnership in Minas Gerais. **Agric. Syst.**, v. 69, p. 235-257, 2001.

CHACÓN, E.A.V. **Caracterização, decomposição e biodisponibilidade de N e P de materiais orgânicos de origem animal e vegetal**. 2006. 143 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2006.

COBO, J.G.; BARRIOS, E.; KASS, D.C.L.; THOMAS, R.J. Decomposition and nutrient release by green manures in a tropical hillside agroecosystem. **Plant and Soil**, v. 240, p. 331-342, 2002.

CORTEZ, J. Field decomposition of leaf litters: Relationships between decomposition rates and soil moisture, soil temperature and earthworm activity. **Soil Biol. Biochem.**, v. 130, p. 783-793, 1998.

CUNHA, T.J.F.; CANELLAS, L.P.; SANTOS, G.A.; RIBEIRO, L.P. Fracionamento da matéria orgânica humificada de solos brasileiros In: CANELLAS, L.P.; SANTOS, G.A. **Humosfera: tratado preliminar sobre a química das substâncias húmicas**. Campos dos Goytacazes, 2005. p. 54-80.

DAUGER, J.; PURTAUF, T.; ALLSPACH, A. et al. Local vs. landscape controls on diversity: a test using surface-dwelling soil macroinvertebrates of differing mobility. **Global Ecol. Biogeog.**, v. 14, p. 213-221, 2005.

DIXON, R.K. Agroforestry system: sources or sinks of greenhouse gases? **Agrofor. Syst.**, v. 31, p. 99-116, 1995.

DUARTE, E.M.G. **Ciclagem de nutrientes por árvores em sistemas agroflorestais na Mata Atlântica**. 2007. 115 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

DUARTE, E.M.G.; CARDOSO, I.M.; STIJNEN, T. et al. Decomposição e liberação de nutrientes de folhas de espécies arbóreas da Mata Atlântica utilizadas em sistemas agroflorestais. **Geoderma**, 2012.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília, 1999. 370 p.

GOERING, H.K.; VAN SOEST, P.J. **Forage fiber analyses (apparatus, reagents, procedures, and some applications)**. Washington: United States Department of Agriculture, 1975. 20 p. (Agriculture Handbook, 379).

HADAS, A.; KAUTSKY, L.; GOEK, M.; KARA, E.E. Rates of decomposition of plant residues and available nitrogen in soil, related to residue composition through simulation of carbon and nitrogen turnover. **Soil Biol. Biochem.**, v. 36, p. 255-266, 2004.

HANDAYANTO, E.; CADISCH, G.; GILLER, K.E. Manipulation of quality and mineralization of tropical legume tree prunings by varying nitrogen supply. **Plant Soil**, v. 176, p. 149-160, 1995.

HÄTTENSCHWILER, S.; TIUNOV, A.V.; SCHEU, S. Biodiversity and litter decomposition in terrestrial ecosystems. **Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.**, v. 36, p. 191-218, 2005.

HÄTTENSCHWILER, S.; VITOUSEK, P.M. The role of polyphenols in terrestrial ecosystem nutrient cycling. **Tree**, v. 15, p. 238-243, 2000.

INTERNATIONAL ASSESSMENT OF AGRICULTURAL KNOWLEDGE, SCIENCE AND TECHNOLOGY FOR DEVELOPMENT – IAASTD. Disponível em: <[http://www.agassessment.org/reports/IAASTD/EN/Agriculture%20at#20a%20Crossroad_Global%20Report%20\(English\).pdf](http://www.agassessment.org/reports/IAASTD/EN/Agriculture%20at#20a%20Crossroad_Global%20Report%20(English).pdf)>. Acesso em: 04 abr. 2011.

KER, J.C. **Mineralogia, sorção e dessorção de fósforo, magnetização e elementos traços de latossolos do Brasil**. 1995. 181 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

KIRBY, K.R.; POTVIN, C. Variation in carbon storage among tree species: implications for the management of a small scale carbon sink project. **For. Ecol. Manage.**, v. 246, p. 208-221, 2007.

KUZYAKOV, Y.; FRIEDEL, J.K.; STAHR, K. Review of mechanisms and quantification of priming effects. **Soil Biol. Biochem.**, v. 32, p. 1485-1498, 2000.

LEBLANC, H.A.; NYGREN, P.; MCGRAW, R.L. Green mulch decomposition and nitrogen release from leaves of two *Inga spp.* in an organic alley-cropping practice in the humid tropics. **Soil Biol. Biochem.**, v. 38, p. 349-358, 2006.

LEE, K.H.; JOSE, S. Soil respiration and microbial biomass in a pecan-cotton alley cropping system in southern USA lessons for the future. **Biodivers. Conserv.**, v. 15, p. 549-554, 2003.

LIMA, S.S.; AQUINO, A.M.; LEITE, L.F.C. et al. Relação entre macrofauna edáfica e atributos químicos do solo em diferentes agroecossistemas. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v. 3, n. 45, p. 322-331, 2010.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras**: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 1992. 352 p.

MAFONGOYA, P.L.; NAIR, P.K.R.; DZOWLA, B.H. Mineralization of nitrogen from decomposing leaves of multipurpose trees as affected by their chemical composition. **Biol. and Fertil. Soils**, v. 27, p. 143-148, 1998.

MATOS, E.S.; MENDONÇA, E.S.; LIMA, P.C. et al. Green manure in coffee systems in the region of Zona da Mata, Minas Gerais: characteristics and kinetics of carbon and nitrogen mineralization. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 32, p. 2027-2035, 2008.

MENDONÇA, E.S.; MATOS, E.S. **Matéria orgânica do solo; métodos de análises**. Viçosa: UFV, 2005. 107 p.

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

MENDONÇA, E.S.; LEITE, L.F.C.; FERREIRA NETO, P.S. Cultivo do café em sistema agroflorestal: uma opção para recuperação de solos degradados. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 25, n. 3, p. 375-383, 2001.

MONTAGNINI, F.; FANZERES, A.; DA VINHA, S.G. The potentials of 20 indigenous tree species for soil rehabilitation in the atlantic forest region of Bahia, Brazil. **J. of Appl. Ecol.**, v. 4, n. 32, p. 841-856, 1995.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA, 2002. 625 p.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R.A.; MITTTERMEIER, C.G. et al. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, p. 853-858, 2000.

NAIR, P.K.R.; KUMAR, B.M.; NAIR, V.D. Agroforestry as a strategy for carbon sequestration. **J. Plant Nutr. Soil Sci.**, v. 172, p. 10-23, 2009.

PALM, C.A. Contribution of agroforestry trees to nutrient requirements of intercropped plants. **Agrof. Syst.**, v. 30, p. 105-124, 1995.

PALM, C.A.; SANCHES, P.A. Decomposition and nutrient release patterns of the leaves of tree tropical legumes. **Biotropica**, v. 22, p. 330-332, 1990.

PEREZ, M.M.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E.S.; COSTA, L.M. Impactos da implementação de um sistema agroflorestal com café na qualidade do solo. **Agropecuária Técnica**, v. 25, p. 25-36, 2004.

PINHEIRO, E.F.M.; PEREIRA, G.M.; ANJOS, L.H.C.; EBELING, G.A. Frações da matéria orgânica em diferentes sistemas de cultivo de oleráceas e cobertura do solo, após seis anos de cultivo em Latossolo Vermelho Amarelo. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS, 2001, Viçosa. **Anais...** Viçosa: UFV, 2001. p. 126-127.

PUTTASO, A.; VITYAKON, P.; SAENJAN, P. et al. Relationship between residue quality, decomposition patterns, and soil organic matter accumulation in a tropical sandy soil after 13 years. **Nutr. Cycl. Agroecosyst.**, v. 89, p. 159-174, 2011.

ROMERO-ALVARADO, Y.; SOTO PINTO, L.; GARCIA BARRIOS, L.; BARRERA-GAYTÁN, J.F. Coffee yields and soil nutrients under the shades of Inga sp. vs. multiple species in Chiapas, México. **Agrof. Syst.**, v. 54, n. 3, p. 215-224, 2002.

SAS INSTITUTE – SAS. **Users guide - release 9.1**. Cary, 2003.

SCHNITZER, M. Soil organic mater - the next 75 years. **Soil Sci.**, v. 151, p. 41-58, 1991.

SHARROW, S.H.; ISMAIL, S. Carbon and nitrogen storage in agroforests, tree plantations, and pastures in western Oregon, USA. **Agroforest. Syst.**, v. 60, p. 123-130, 2004.

SILVA, G.T.A.; MATOS, L.V.; NÓBREGA, P.O. et al. Chemical composition and decomposition rate of plants used as green manure. **Scientia Agric.**, v. 65, p. 298-305, 2008.

SIX, J.; CONANT, R.T.; PAUL, E.A. et al. Stabilization mechanisms of soil organic matter: implications for C-saturations of soils. **Plant Soil.**, v. 241, p. 155-176, 2002.

SOUZA, M.E.P. **Abundância de oligochaetas edáficos em cafezais sob vários tipos de manejo**. 2010. 58 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

SOUZA, H.N.; CARDOSO, I.M.; FERNANDES, J.M. et al. Selection of native trees for intercropping with coffee in the Atlantic Rainforest biome. **Agrofor. Syst.**, v. 80, p. 1-16, 2010.

STADLER, B.; SCHRAMM A.; KALBITZ, K. Ant-mediated effect on spruce litter decomposition, solution chemistry, and microbial activity. **Soil Biol. Biochem.**, v. 38, p. 561-572, 2006.

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

SWIFT, M.J.; HEAL, O.W.; ANDERSON, J.M. **Decomposition in terrestrial ecosystems**. Berkeley: University of California Press, 1979.

UDAWATTA, R.P.; KREMER, R.J.; ADAMSON, B.W.; ANDERSON, S.H. Variations in soil aggregate stability and enzyme activities in a temperate agroforestry practice. **Appl Soil Ecol.**, v. 39, p. 153-160, 2008.

VARELLA, R.F.; BUSTAMANTE, M.M.C.; PINTO, A.S.; KISSELLE, K.W.; SANTOS, R.V.; BURKE, R.A.; ZEPP, R.G.; VIANA, L.T. Soil fluxes of CO₂, CO, NO and N₂O an old pasture and from native Savanna in Brazil. **Ecol. Appl.**, v. 14, n. 4, p. 221-231, 2004.

XAVIER, F.A.S. **Soil organic matter stock and quality in agroforestry and full sun coffee systems**. 2009. 153 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

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

ZANGARO, W.; NISIZAK, S.M.A.; DOMINGOS, J.C.B.; NAKANO, E.M. Mycorrhizal response and sucessional status in 80 woody species from south Brazil. **J. of Trop. Ecol.**, v. 19, p. 315-324, 2003.

CAPÍTULO 3

RESÍDUOS DE ÁRVORES DA MATA ATLÂNTICA E SEUS IMPACTOS EM FRAÇÕES LÁBEIS DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO E CICLAGEM DE NUTRIENTES

Resumo: *Senna macranthera* (fedegoso) e *Inga subnuda* (ingá) são espécies arbóreas nativas da Mata Atlântica utilizadas em sistemas agroflorestais (SAFs) com café na Zona da Mata de Minas Gerais. Os SAFs oferecem vários serviços de ecossistema, entre estes, a melhoria da qualidade do solo. Nesta região experiências com SAFs foram implantadas a partir de 1993, visando, principalmente, reduzir a erosão e melhorar a qualidade do solo. Apesar do acúmulo de informações a respeito dos SAFs, há poucas informações que explicam como as diferentes espécies arbóreas contribuem para a melhoria da qualidade do solo, o que pode contribuir na decisão sobre as espécies a serem utilizadas no sistema. Este trabalho teve como objetivo avaliar a formação de frações lábeis da matéria orgânica do solo e o potencial de ciclagem de nutrientes a partir de resíduos de fedegoso e ingá, incorporados e mantidos à superfície do solo. Incubou-se por 12 meses, solo sem resíduos (controle) e solo com 5 g de C-resíduo de cada espécie fedegoso (F) e ingá (I), dispostos à superfície do solo (F_{RS} e I_{RS}) e também incorporados (F_{RI} e I_{RI}). Avaliou-se, a cada três meses, nos tratamentos e controle, a formação da matéria orgânica leve-livre, os teores de C e N da biomassa microbiana do solo. Aos 12 meses foi feita análise de rotina do solo e das relações $^{13}C/^{12}C$ da matéria orgânica leve-livre dos tratamentos e dos resíduos incubados das espécies, o que permitiu calcular os percentuais de matéria orgânica leve-livre derivada dos resíduos incubados. Os tratamentos F_{RI} (0,59%) e I_{RI} (0,53%) apresentaram maiores percentuais de matéria orgânica leve-livre em relação a F_{RS} (0,20%) e I_{RS} (0,21%). Também apresentaram ao final da incubação, maior percentual de matéria orgânica derivada dos resíduos (mais de 90% para ambas as espécies). Estes percentuais foram de 42% para F_{RS} e 2% para F_{RI} , evidenciando a maior mineralização dos resíduos de fedegoso principalmente quando incorporados. O fedegoso tendeu a apresentar maior teor de C-BM (o que foi sinalizado aos três e 12 meses) e N-BM (sinalizado aos três meses). Porém nos demais tempos de incubação, foram os tratamentos com resíduos de ingá que apresentaram os maiores teores de C-BM e N-BM, mostrando que houve grande atuação dos microrganismos sobre estes resíduos embora num estágio mais tardio comparado ao fedegoso. Nos tratamentos com resíduos incorporados, principalmente de fedegoso, verificou-se grandes incrementos nos teores de MOS, pH, nos estoques de nutrientes, na soma de bases e CTC, além de reduções na capacidade de fixação de P e na saturação por Al^{3+} no solo. Melhorias também foram verificadas para F_{RS} . Porém, I_{RS} , este pouco se diferiu do controle no período avaliado.

Palavras-chave: Árvores nativas, ciclagem de nutrientes, matéria orgânica leve-livre, biomassa microbiana.

1. INTRODUÇÃO

A matéria orgânica tem um importante papel no manejo da fertilidade do solo nos trópicos, seja através de seu efeito em curto prazo no suprimento de nutrientes, seja em longo prazo, formando frações estáveis da matéria orgânica e atuando como reserva de C.

Uma das formas mais eficazes para manter o teor de matéria orgânica de solos (MOS) cultivados é aumentar a cobertura vegetal objetivando maiores adições de resíduos ao solo, como acontece nos sistemas agroflorestais (SAFs). As adições contínuas e a decomposição dos resíduos proporcionam a manutenção ou o aumento dos níveis de MOS possibilitando aumentos na Capacidade de Troca Catiônica (CTC), na retenção de íons básicos, na disponibilização de nutrientes para as plantas (PEREZ et al., 2004) e na agregação (UDAWATTA et al., 2008). Além disso, os resíduos não decompostos formam uma cobertura sobre o solo, que o protege da ação direta dos raios solares e das gotas de chuva, mantém estável a temperatura, e reduz o carreamento de solo e matéria orgânica por escoamento superficial (MENDONÇA et al., 2001) junto com a água das chuvas.

A proteção do solo, o aporte de resíduos e a ciclagem de nutrientes estão entre os principais serviços prestados pelas árvores utilizadas nos SAFs (MENDONÇA et al., 2001; PEREZ et al., 2004). Estes sistemas imitam os ecossistemas naturais mantendo o equilíbrio entre as entradas e saídas de recursos, permitindo o uso mais eficiente destes (YOUNG, 1997). Estes serviços são ainda mais relevantes em áreas de relevo movimentado (PEREZ et al., 2004) como os da Zona da Mata de Minas Gerais, região onde se localiza este estudo.

Montagnini et al. (1995) estudaram 20 espécies arbóreas nativas da Mata Atlântica quanto ao efeito do litter nas características químicas do solo e verificaram um aumento na disponibilidade de N, de P-disponível, de K, Ca e Mg-trocável no solo sob a copa destas. Cada espécie melhorou a disponibilidade de determinado nutriente, evidenciando que sistemas diversificados são mais eficientes em ciclar nutrientes comparados com sistemas monoespecíficos. Isso acontece devido às diferentes combinações de composição química e bioquímica dos resíduos, influenciando as taxas de decomposição e disponibilização de nutrientes destes.

Na Zona da Mata de Minas Gerais, os agricultores, organizados através dos Sindicatos de Trabalhadores Rurais e associações, juntamente com o Centro de

Tecnologias Alternativas da Zona da Mata (CTA-ZM) e Universidade Federal de Viçosa (UFV) diagnosticaram a baixa qualidade do solo como um dos principais entraves da agricultura na região decorrente dos problemas de erosão e do uso inadequado destes.

Esta situação é agravada uma vez que o relevo dominante nesta região varia de ondulado a fortemente ondulado e os solos são altamente intemperizados, ácidos e com baixas concentrações de nutrientes (KER, 1995). Nesta região, o café (*Coffea arábica*) é a principal cultura econômica (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE, 2007), mas a produção de outras culturas é vital como fonte de subsistência (FERRARI, 1996).

Para superar o problema de perda da qualidade do solo, os agricultores, assessorados pelo CTA e UFV, propuseram uma experimentação participativa de uso de SAFs com café. A implantação destas experiências iniciou-se em 1993 e teve como objetivos além de reverter a degradação do solo, diversificar a produção e ainda, conservar a diversidade na Mata Atlântica (CARDOSO et al., 2001; SOUZA et al., 2010).

Os SAFs apresentam também grande potencial para ser adotado por agricultores que utilizam sistemas de cultivo com baixo aporte de insumos (MENDONÇA et al., 2001). Além disso, podem ser muito úteis no entorno de fragmentos de florestas e como corredores de migração, interconectando fragmentos de floresta (VANDERMEER; PERFECTO, 2007), principalmente se utilizar em sua composição as árvores nativas.

Muitos agricultores preferem usar espécies nativas em vez de exóticas nos SAFs, porém pouco se conhece sobre as funções por elas desempenhadas nos sistemas, já que poucas pesquisas são feitas no sentido de avaliar o efeito e o uso dessas espécies nos SAFs (MONTAGNINI et al., 1995; GAMA-RODRIGUES; GAMA-RODRIGUES, 2008; REIS et al., 2010). Este conhecimento poderia potencializar os benefícios do uso de espécies nativas nos SAFs.

Dentre as espécies mais utilizadas nos SAFs encontram-se as leguminosas que, além de prestar vários serviços ambientais nestes sistemas, algumas fixam N. Entre as espécies utilizadas nos SAFs da Zona da Mata (Quadro 1 do Capítulo 1), se destacaram quanto aos aportes de resíduos, as espécies *Senna macranthera* (fedegoso) e *Inga subnuda* (ingá), ambas leguminosas. *S. macranthera* aportou 5,6 e *I. subnuda* 4,3 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de MS de resíduos (Figura 2 - Capítulo 1). Espécies do gênero *Inga* são

muito utilizadas em SAFs de regiões tropicais visando à melhoria da qualidade do solo (MONTAGNINI et al., 1995; PALM; SANCHES, 1990). O fedegoso por sua vez é citado na literatura como espécie utilizada em recuperação de áreas degradadas (ZANGARO et al., 2003).

Para ambas as espécies, há uma carência de informações sobre a decomposição desses resíduos e ciclagem de nutrientes. Segundo Duarte et al. (2012), os resíduos de fedegoso apresentaram alta taxa de decomposição, baixas relações lignina/N, (lignina + polifenóis)/N e baixos teores de celulose. Nos resíduos de ingá, de lenta decomposição, estas relações foram mais elevadas, além de possuírem altos teores de celulose. Espera-se que o fedegoso, por serem resíduos de rápida decomposição contribua para elevar os compartimentos mais lábeis de matéria orgânica do solo como a biomassa microbiana e matéria orgânica leve-livre (MOL-livre) do solo, os quais estão mais diretamente ligados à ciclagem de nutrientes. Além disso, os SAFs comparados a sistemas convencionais possuem normalmente, uma maior diversidade de fauna do solo (SOUZA et al., 2010; LIMA et al., 2010), que atua química ou mecanicamente sobre estes resíduos, modificando as condições locais e influenciando também a decomposição dos resíduos (CORTEZ, 1998; STADLER et al., 2006).

Neste trabalho, hipotetizou-se que, resíduos de fedegoso apresenta uma grande contribuição na ciclagem de nutrientes comparados ao ingá e que, a trituração e a incorporação dos resíduos aceleram a liberação de nutrientes.

Assim, objetivou-se avaliar o efeito dos resíduos de fedegoso e ingá, dispostos à superfície e também incorporados, quanto à disponibilização de nutrientes no solo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Local de estudo

Os resíduos (material senescente) provenientes do ingá e fedegoso foram coletados em um SAF localizado no município de Araçuaia (20°41'S e 42°31'W, 1.062 m de altitude), região da Zona Mata de Minas Gerais, bioma Mata Atlântica, Brasil. A região é caracterizada como uma região de relevo montanhoso, solos altamente intemperizados, ácidos e com baixas concentrações de nutrientes disponíveis para as plantas (KER, 1995). Além disso, 45% das propriedades rurais possuem menos de 10 ha e 18% da população vive no meio rural, são predominantemente, agricultores familiares

e usam poucos insumos externos (IBGE, 2000). O café é a principal cultura econômica da região (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE CAFÉ – ABIC, 2011).

2.2. Coleta dos resíduos e caracterização

Os resíduos (material senescente) de ingá e fedegoso foram coletados, de maio a agosto de 2009, com o auxílio de coletores suspensos, instalados sob a copa das árvores presentes no sistema agroflorestal. Os resíduos coletados foram levados para o laboratório onde se separou as folhas para o estudo, estas constituindo 32% do total de resíduos senescentes de fedegoso e 76%, do total de resíduos senescentes de ingá. Foram retiradas três subamostras dos resíduos de cada espécie para determinação da massa seca de resíduos e dos teores de C e N. A massa seca foi determinada pela diferença de peso do material antes e após secagem em estufa (65°C, por 72 horas) e para a determinação dos teores de N, utilizou o método Kjeldahl e C, por via úmida, utilizando o método da oxidação com $K_2Cr_2O_7$ em meio ácido, com aquecimento externo (YEOMANS; BREMNER, 1988).

Os teores de P, K, Ca e Mg, assim como os de lignina, celulose e polifenóis foram determinados em estudos anteriores (DUARTE, 2007; DUARTE et al., 2012) e resumidas no Quadro 1.

Quadro 1 - Caracterização química¹ (teores de P, K, Ca, Mg) e bioquímica² (celulose e lignina e polifenóis) dos resíduos de fedegoso e ingá

Espécies	P	K	Ca	Mg	HC	CL	PP
 (dag kg ⁻¹)						
Fedegoso	0,08	0,54	1,49	0,15	15,4	11,3	7,6
Ingá	0,06	0,67	0,99	0,11	27,3	21,3	4,8

¹ Adaptado de Duarte (2007). ² Lg = lignina, CL = cellulose, HC = hemicelulose, PP = polifenóis, adaptado de Duarte et al. (2012).

Os resíduos foram secos ao ar, cortados (em dimensões < 2,0 cm) simulando a trituração destes pela fauna do solo, pesados em quantidades correspondentes a 5 g de C

(11,54 g de MS de resíduo de fedegoso e 12,41g de MS de ingá) e reservados em sacolas para incubação nas unidades experimentais.

2.3. Coleta e caracterização do solo a ser utilizado na incubação

O solo utilizado para a incubação dos resíduos foi coletado em agosto de 2009, em uma área de Latossolo Vermelho Amarelo cultivada com pastagem (*Brachiaria decumbens*) e milho (*Zea mays*), ambas espécies, de rota fotossintética C₄, durante os últimos 50 anos. A profundidade de coleta foi de 0 a 20 cm. O solo foi levado para o laboratório, seco ao ar e peneirado (2 mm). Três amostras foram retiradas para análises. Em seguida, pesaram-se amostras de 1,6 kg deste solo reservando-os em sacolas, para incubação nas unidades experimentais. A caracterização química do solo, e a abundância natural de ¹³C, antes da incubação e a capacidade de campo do solo encontram-se no Quadro 2.

Quadro 2 - Características químicas do solo utilizado na incubação de resíduos de fedegoso e ingá

Características	Valores	Unidade
pH em água	4,92	-
pH em KCl	4,14	-
P disponível	2,20	mg dm ⁻³
K disponível	41,00	mg dm ⁻³
Ca trocável	0,96	cmol _c dm ⁻³
Mg trocável	0,36	cmol _c dm ⁻³
Al trocável	0,69	cmol _c dm ⁻³
Soma de bases	1,42	cmol _c dm ⁻³
Capacidade de troca catiônica efetiva (t)	2,11	cmol _c dm ⁻³
Capacidade de troca catiônica a pH 7,0 (T)	7,92	cmol _c dm ⁻³
Saturação de bases (V)	17,90	%
Saturação de alumínio (m)	32,70	%
Abundância natural de ¹³ C (δ ¹³ C)	15,07	‰
Capacidade de campo (CC)	0,29	kg kg ⁻¹
Matéria orgânica (M.O.)	4,26	dag kg ⁻¹
Fósforo remanescente (P-rem)	22,50	mg L ⁻¹

Para determinar o pH (em água), utilizou-se TFSA na relação 1:2,5. O P disponível e o K foram extraídos com extrator Mehlich-1; Ca, Mg e alumínio trocáveis foram extraídos utilizando KCl 1 mol L⁻¹. A matéria orgânica do solo (Carbono orgânico do solo x 1,724) foi determinada utilizando o método Walkley & Black. O P-rem foi avaliado segundo Alvarez et al. (2000). A abundância de $\delta^{13}\text{C}$ do solo foi determinada em espectrômetro de massa de razão isotópica (EMRI) de alta precisão (20-20 ANCA GLS, Sercon, Crewe, UK).

2.4. Procedimentos de incubação

Para incubação dos resíduos, um experimento foi conduzido em casa de vegetação no período de setembro de 2009 de setembro de 2010. As unidades experimentais (Figura 1 do Capítulo 2) foram arranjadas em um delineamento em blocos casualizados (2 x 2) + 1 x 5, correspondendo a resíduos senescentes de duas espécies (fedegoso e ingá), duas formas de disposição (resíduos dispostos sobre a superfície do solo e resíduos incorporados) e um controle, cujo solo foi incubado sem resíduo, com quatro repetições cada. As avaliações foram realizadas em cinco tempos (zero, três, seis, nove e 12 meses). Os tratamentos foram denominados F_{RI} (resíduo de fedegoso incorporado), F_{RS} (resíduo de fedegoso disposto à superfície), I_{RI} (resíduo de ingá incorporado), I_{RS} (resíduo de ingá disposto à superfície) e controle (solo sem resíduos).

Durante a montagem de cada coluna, separou-se 400 g solo e o restante (1,2 kg) foram subdivididos em três porções. O mesmo se fez com a água, calculada para satisfazer 80% da capacidade de campo. O solo foi acomodado na coluna, alternando uma camada de solo e uma porção de água. Nos tratamentos com resíduo incorporados, misturou-se à última camada de solo as 5 g de C-resíduo (11,54 g de MS de resíduo de fedegoso e 12,41 g de MS de ingá). Por último adicionou-se ainda nos tratamentos, água equivalente a 60% da massa seca de resíduos compensando assim a absorção de água pelos mesmos e evitando o dessecamento do solo. Ao final da montagem, cada coluna foi pesada para controle da umidade, e a água evaporada foi repostada a cada dois dias, conforme a diferença de peso da coluna. A temperatura ambiente também foi monitorada com um termômetro de máxima e mínima durante o período da incubação (Figura 3 do Capítulo 2).

2.5. Coleta das amostras

Aos três, seis nove e 12 meses, foram desmontadas 20 unidades experimentais. Coletaram-se as amostras de solo na profundidade de 0-5 cm (Figura 1 do Capítulo 2), as quais foram secas ao ar e peneiradas (< 2 mm) para análises posteriores.

2.6. Matéria orgânica leve-livre

Nas amostras, a matéria orgânica leve-livre (MOL-livre, ou “debris vegetal” compreendido entre 0,25 e 2,0 mm foi determinada por flotação em água (método densimétrico), após dispersão com NaOH 0,1 mol L⁻¹. A MOL-livre obtida foi seca (40°C, 72 h) e, posteriormente pesada, conforme método adaptado de Anderson e Ingram (1989), descrito em Mendonça e Matos (2005). Determinou-se a MOL-livre também no solo antes de incubar.

2.7. Abundância de $\delta^{13}\text{C}$ na matéria orgânica leve livre

A relação isotópica $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ na matéria orgânica leve livre (MOL-livre) dos tratamentos e controle, após 12 meses de incubação, foi determinada em amostras previamente secas e maceradas (< 0,149 mm). As determinações foram feitas em espectrômetro de massas de razão isotópica (EMRI) de alta precisão (20-20 ANCA GLS, Sercon, Crewe, UK) utilizando como padrão o *Pee Dee Belemnite* (PDB). Estas foram expressas em deltas por mil ($\Delta\%$) e definidas como:

$$\Delta (\%) = [(R_A - R_S) / R_S] \times 10^3$$

em que R é a a razão $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$; A, a amostra; e S, o padrão.

A quantificação percentual do C da MOS derivado dos resíduos foi feita com base na equação:

$$\% \text{ MO derivada do resíduo} = [(\delta^{13}\text{C}_{\text{solo}} - \delta^{13}\text{C}_{\text{controle}}) / (\delta^{13}\text{C}_{\text{F ou I}} - \delta^{13}\text{C}_{\text{controle}})] \times 100$$

em que % MO (matéria orgânica) derivada do resíduo é a percentagem de matéria orgânica derivada do resíduo na MOL-livre dos tratamentos; $\delta^{13}\text{C}_{\text{solo}}$, o valor da $\delta^{13}\text{C}$ na MOL-livre do solo de cada tratamentos; $\delta^{13}\text{C}_{\text{F ou I}}$, o valor da $\delta^{13}\text{C}$ do resíduo do

fedegoso (F) ou do ingá (I) que foram adicionados ao solo; e $\delta^{13}\text{C}_{\text{controle}}$ é o valor da $\delta^{13}\text{C}$ na MOL-livre do controle.

2.8. C e N da biomassa microbiana

A biomassa microbiana (BM) das amostras de solo antes de incubar e do solo dos tratamentos foi estimada pelo método da irradiação-extração, utilizando-se forno micro-ondas, segundo o método adaptado de Islam e Weil (1998). Determinou-se o C-BM por oxidação, utilizando $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ em meio ácido, com aquecimento (YEOMANS; BREMNER, 1988) e o N-BM pelo método Kjeldahl (MENDONÇA; MATOS, 2005).

2.9. Análise química

Ao final do experimento (12 meses) realizou-se a análise química de rotina no solo dos tratamentos seguindo os mesmos procedimentos utilizados para a caracterização do solo antes da incubação dos resíduos (idem item 2.3).

2.10. Análises estatísticas

Realizou-se análise de variância, seguida pelo teste de tukey ($p < 0,05$) para comparar as médias de MOL-livre e teores de C e N da biomassa microbiana para os diferentes tratamentos e controle, nos diferentes tempos de incubação. Também foi realizada análise de componentes principais para avaliar as características químicas do solo que melhor explicaram a variabilidade dos dados e entre os tratamentos. Foi utilizado o programa SAS versão 9.1 (SAS INSTITUTE – SAS, 2003).

3. RESULTADOS

3.1. Caracterização dos resíduos

As concentrações de N (2,21%) e C (50,4%) nos resíduos de fedegoso assemelharam-se aquelas encontradas em resíduos de ingá (N:2,14% e C:46,4%). Os valores de relações C/N foram muito próximos para os dois resíduos. Tomando este valor de N os teores de LG (Quadro 1) e calculando a relação lignina:N, esta foi de 7,0

para o fedegoso e 12,8 para o ingá. Tomando os teores de polifenóis, a relação (lignina + polifenol):N foi de 14,6 para fedegoso e 17,6 para o ingá, portanto, espera-se uma taxa de decomposição mais acelerada para o fedegoso, em relação ao ingá.

3.2. Matéria orgânica leve-livre

O Quadro 3 apresenta os percentuais médios de MOL-livre em solo incubado com resíduos de fedegoso e ingá, incorporados e à superfície, avaliados após diferentes tempos de incubação. No Anexo C, encontra-se o quadro de ANOVA dos percentuais médios de MOL livre.

Quadro 3 - Percentuais médios de MOL-livre em solo incubado com resíduos de fedegoso e ingá, incorporados (F_{RI} e I_{RI}) e à superfície (F_{RS} e I_{RS}), avaliados após diferentes tempos de incubação

Trat	0 mês	3 meses	6 meses	9 meses	12 meses
 (%)				
F_{RI}	0,31 c	0,88 aA	0,73 abA	0,71 abA	0,59 bA
F_{RS}	0,31	0,28 B	0,22 B	0,27 B	0,21 B
I_{RI}	0,31b	0,41bB	0,67 aA	0,61 abA	0,53 abAB
I_{RS}	0,31	0,28 B	0,22 B	0,19 B	0,20 B
Controle	0,31	0,28 B	0,24 B	0,25 B	0,30 B

Letras minúsculas iguais na mesma linha e maiúsculas iguais na mesma coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Os percentuais de MOL livre variaram ($p < 0,05$) ao longo do tempo para os tratamentos F_{RI} e I_{RI} . Houve efeito da forma de disposição dos resíduos. Tanto F_{RI} (0,31 a 0,88%) quanto I_{RI} (0,31 a 0,67%) apresentaram maiores percentuais de MOL-livre ao longo de todo o período avaliado comparados com F_{RS} , I_{RS} e controle cujos teores foram semelhantes e constantes ao longo da incubação (variação de 0,19 a 0,31%). Houve efeito de espécies apenas nos tratamentos com resíduos incorporados, aos três meses de incubação quando o tratamento com resíduo de fedegoso apresentou maior percentual de MOL (0,88%) em relação a ingá (0,41%). Após o sexto mês os percentuais de MOL-livre foram semelhantes para ambas as espécies, comparando-as para uma mesma forma de disposição dos resíduos.

3.3. Abundância natural de ^{13}C

A Figura 1 apresenta a abundância natural de ^{13}C ($\delta^{13}\text{C}$) da MOL-livre após 12 meses nos tratamentos com resíduos de fedegoso (F) e ingá (I) incorporados ao solo (F_{RI} e I_{RI}) e mantidos à superfície (F_{RS} e I_{RS}).

Os tratamentos F_{RI} (-29,6‰) e I_{RI} (-25,4‰) apresentaram valores mais negativos de abundância comparados aos tratamentos F_{RS} (-20,1‰) e I_{RS} (-12,7‰), mostrando que houve efeito da forma de disposição do resíduo (incorporado tem abundância mais negativa) e de espécies, sendo observados valores mais negativos de $\delta^{13}\text{C}$ para o fedegoso.

Os valores de matéria orgânica derivada dos resíduos na MOL-livre dos tratamentos também refletiram esse efeito da forma de disposição dos resíduos sendo esta de mais de 93,61% no tratamento F_{RI} e de 91,36% em I_{RI} . Porém para esta forma de disposição, não houve diferença nos percentuais de matéria orgânica derivada dos resíduos. Para o tratamento F_{RS} também houve formação de MO derivada dos resíduos na MOL-livre, sendo de 42,01%. Porém para o I_{RS} esta foi mínima (apenas 2,4%).

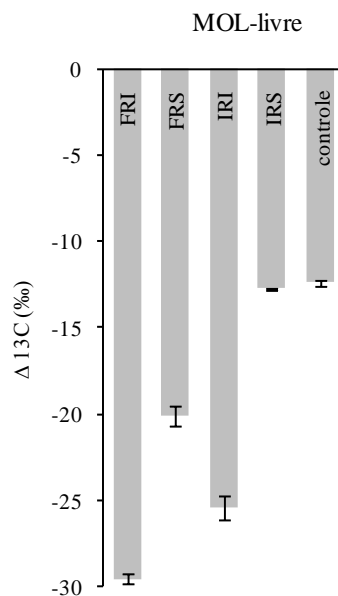


Figura 1 - Abundância natural de ^{13}C na MOL de solo incubado por um ano com resíduos de fedegoso (F) e ingá (I) incorporados ao solo (F_{RI} e I_{RI}) e mantidos à superfície (F_{RS} e I_{RS})

3.4. Teores de carbono e nitrogênio na biomassa microbiana

O Quadro 4 apresenta os valores médios de C-BM e N-BM em solo incubado com resíduos de fedegoso e de ingá, dispostos à superfície e incorporados, avaliados em diferentes tempos de incubação. No Anexo C, encontra-se o quadro de ANOVA do C e N da biomassa microbiana.

Quadro 4 - Teores de C-BM e N-BM em solo incubado com resíduos de fedegoso (F) e ingá (I), incorporados (F_{RI} e I_{RI}) e à superfície (F_{RS} e I_{RS}), após diferentes tempos de incubação

Trat	0 mês	3 meses	6 meses	9 meses	12 meses
..... C-BM (mg kg ⁻¹)					
F_{RI}	173,8 c	503,9 bA	762,9 aB	260,0 B	607,3 bAB
F_{RS}	173,8 c	370,0 bAB	517,0 aC	373,0 abB	400,1 abB
I_{RI}	173,8 c	466,7 bAB	1594,1 aA	495,6 bAB	512,8 bB
I_{RS}	173,8 c	210,1 cB	575,0 aC	343,4 bB	378,9 bB
Controle	173,8 d	326,9 cB	463,7 bcC	521,5 bA	707,6 aA
..... N-BM (mg kg ⁻¹)					
F_{RI}	33,0 b	68,8 aA	58,5 aAB	30,2 b B	30,3 b
F_{RS}	33,0 b	50,9 bAB	78,4 aA	37,2 b B	43,7 b
I_{RI}	33,0 b	51,9 bAB	83,8 aA	55,0 b AB	40,2 b
I_{RS}	33,0	35,4 B	49,8 B	38,9 B	38,8
Controle	33,0 b	32,5 bB	50,9 abB	69,7 aA	43,7 b

Letras minúsculas iguais na mesma linha e maiúsculas iguais na mesma coluna, não diferem entre si pelo teste de tukey ($p < 0,05$).

Em relação ao C-BM, apenas aos seis meses de incubação foi observado efeito da forma de disposição dos resíduos. Os tratamentos F_{RI} (762,89 mg kg⁻¹) e I_{RI} (1594,06 mg kg⁻¹) apresentaram maiores teores do que os tratamentos F_{RS} (575 mg kg⁻¹) e I_{RS} (517 mg kg⁻¹). Entre espécies, o fedegoso apresentou maiores teores de C-BM que o ingá aos três meses. Porém, aos seis e nove meses de incubação, observou-se tendência contrária para as espécies, mostrando que para o fedegoso a biomassa microbiana apresenta uma dinâmica mais rápida enquanto para o ingá esta é retardada,

Também se verificou que até seis meses de incubação, os teores de C-BM foram semelhantes ou mais elevados nos tratamentos com resíduos incorporados, comparados ao controle. Após seis meses todos os tratamentos apresentaram teores iguais ou inferiores ao controle.

Em relação aos teores de N-BM, houve efeito da forma de disposição dos resíduos apenas para o ingá aos seis meses de incubação quando I_{RI} ($83,78 \text{ mg kg}^{-1}$) apresentou maior N-BM do que I_{RS} ($49,78 \text{ mg kg}^{-1}$). Comparando espécies para a mesma forma de disposição de resíduos, quando os resíduos foram dispostos à superfície o fedegoso apresentou maior teor de N-BM do que ingá. Quando os resíduos foram incorporados, o fedegoso apresentou tendeu a apresentar maiores teores aos três meses, porém, aos seis e nove meses, observou-se ligeira superioridade associada ao ingá.

Até seis meses de incubação foram verificados teores de N-BM semelhantes ou mais elevados nos tratamentos com resíduos incorporados, comparados ao controle. Aos nove meses, todos os tratamentos apresentaram teores iguais ou inferiores ao controle e aos 12 meses não houve mais diferenças entre tratamentos e controle.

3.5. Características químicas do solo

Após 12 meses, verificaram-se alterações nas características químicas do solo dos tratamentos (Quadro 5).

A Figura 2 apresenta a análise de componentes principais para as características químicas do solo avaliadas nos tratamentos e para os tratamentos.

As componentes principais 1 e 2 explicaram 86% da variabilidade dos dados e mostraram que as características do solo que mais contribuíram para esta variabilidade foram a SB, o Ca^{2+} , a capacidade de troca catiônica efetiva (t), o Mg^{2+} , a MO, a saturação de bases (V), o pH (em água e em KCl), o P, o K^+ , o P remanescente, a capacidade de troca catiônica efetiva (T). A saturação de alumínio (m) e o Alumínio trocável também explicam essas variações, porém guardando uma correlação negativa com as características anteriores. O H+Al explica pouco as diferenças entre os tratamentos, comparadas às demais.

Quadro 5 - Características químicas do solo dos tratamentos após 12 meses de incubação com resíduos de fedegoso (F) e ingá (I), incorporados (F_{RI} e I_{RI}) e à superfície (F_{RS} e I_{RS})

Características	S _{RI}	S _{RS}	I _{RI}	I _{RS}	Controle	Unidade
pH em água	4,36	4,06	3,76	3,80	3,77	-
pH em KCl	4,32	4,08	3,95	4,01	4,00	-
P disponível	4,00	2,70	3,00	3,00	2,10	mg dm ⁻³
K disponível	121	100	124	77	54	mg dm ⁻³
Ca trocável	3,48	1,55	1,86	1,08	1,35	cmol _c dm ⁻³
Mg trocável	1,13	0,68	0,77	0,59	0,70	cmol _c dm ⁻³
Al trocável	0,20	0,39	0,68	0,78	0,88	cmol _c dm ⁻³
H+Al	7,10	6,90	6,40	7,20	7,20	cmol _c dm ⁻³
Soma de bases trocáveis	4,92	2,49	2,95	1,87	2,19	cmol _c dm ⁻³
Capacidade de troca catiônica efetiva (t)	5,12	2,88	3,63	2,65	3,07	cmol _c dm ⁻³
Capacidade de troca catiônica a pH 7,0 (T)	12,12	9,39	10,15	8,27	12,69	cmol _c dm ⁻³
Saturação de bases (V)	40,60	26,50	29,10	22,60	17,30	%
Saturação de alumínio (m)	3,90	13,50	18,70	29,40	28,70	%
Matéria orgânica (M.O.)	5,27	4,48	4,35	4,08	4,21	dag kg ⁻¹
Fósforo remanescente (P-rem)	37,30	31,10	37,80	28,20	34,00	mg L ⁻¹

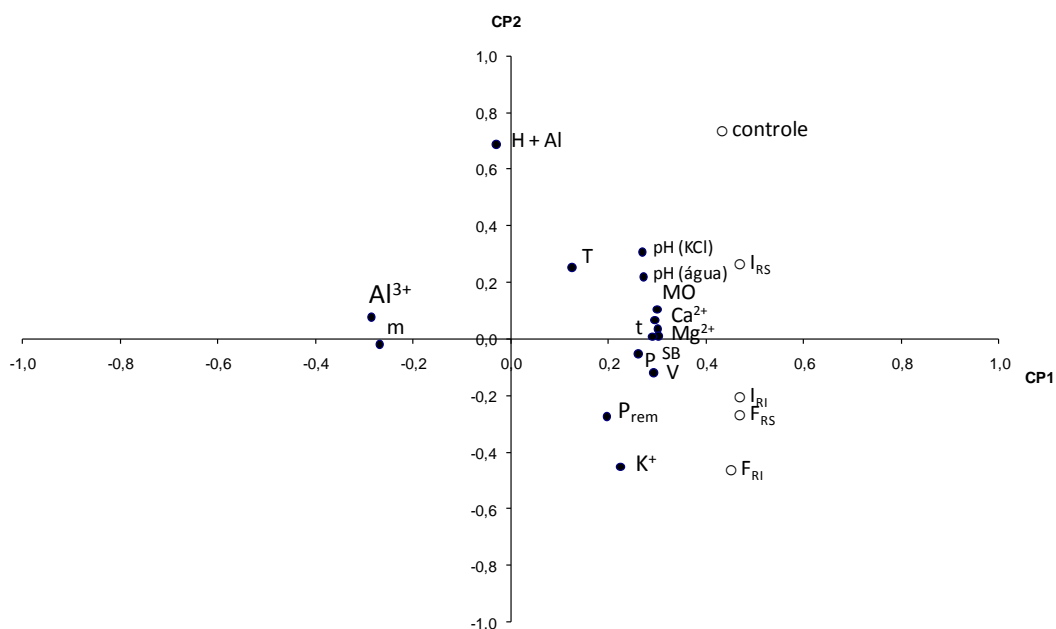


Figura 2 - Análise de componentes principais para as características químicas do solo avaliadas após 12 meses de incubação com resíduos de fedegoso (F) e ingá (I), incorporados (F_{RI} e I_{RI}) e à superfície (F_{RS} e I_{RS}).

Entre os tratamentos, as componentes principais 1 e 2, explicaram 99,6% da variabilidade destes e mostraram que F_{RI} , I_{RI} e F_{RS} foram os tratamentos que apresentaram mais melhorias nas características químicas do solo. Nestes, comparados ao controle foram observadas elevações no valor de pH (principalmente pH em água para o qual esta elevação foi de 16%), no teor de MO (25%), de P remanescente (10%), P (90%) e K disponível (124%), Ca (128%) e Mg trocável (61%). A soma de bases (125%) e a CTC efetiva (67%) também foi mais elevada. Os teores de Al trocável foram reduzidos (77%), assim como o índice de saturação de Al (86%). Tratamentos com resíduos incorporados de ingá não apresentaram alterações no valor de pH e no teor de MO. Porém elevaram os teores de P remanescente (11%), de P disponível (43%) e K (130%), Ca (38%) e Mg (10%) trocável. A soma de bases (35%) e a CTC efetiva (18%) também foram mais elevadas. Os teores de Al trocável foram reduzidos (23%), e com estes, o índice de saturação de Al (35%).

Tratamentos com resíduos dispostos à superfície, comparados ao controle, apresentaram melhorias apenas para o fedegoso elevando ligeiramente os teores de MO (6%), de P (29%) e K (85%) disponível e Ca trocável (15%). O valor de pH em água também foi ligeiramente mais elevado (8%). Mg trocável foi mantido, mas a soma de bases foi mais elevada (14%). Também foram reduzidos o Al trocável (56%) e o índice de saturação de Al (53%). Para o ingá, as melhorias foram restritas, diferindo-se pouco do controle conforme mostra a análise de componentes principais. Apenas os teores de P (43%) e K (43%) trocável foram mais elevados e houve também redução nos teores de Al trocável (11%).

4. DISCUSSÃO

4.1. Matéria orgânica leve-livre

Os percentuais de MOL-livre (Quadro 3) mais elevados logo aos três meses de incubação no tratamento F_{RI} mostraram uma rápida dinâmica de decomposição para o fedegoso em relação ao ingá. Estes estão em concordância com os resultados apresentados para a composição química e bioquímica dos resíduos, os quais mostraram maiores teores de compostos recalcitrantes, principalmente lignina e celulose em resíduos de ingá comparados com resíduos de fedegoso, sendo estes compostos os responsáveis pela lenta taxa de decomposição dos resíduos de ingá.

Nos tratamentos que receberam resíduos, principalmente aqueles que foram incorporados, a formação da MOL acontece de forma mais parecida com o que acontece em solos sob vegetação natural ou em SAFs. Nestes, há um aporte constante de resíduos senescentes da vegetação, que é parcialmente incorporado pela fauna do solo e decomposto formando a MOS, inclusive na fração MOL (ZIMMER, 2002; DUNN, 2004). O consumo dessa MOS pela microbiota também é constante, ciclando eficientemente os nutrientes do sistema. O comportamento verificado no controle pode ser comparado ao de sistemas cultivados nos quais não há o aporte de material orgânico e o pouco existente é consumido pelos organismos do solo, resultando em reduções na MOL.

Quando os resíduos foram dispostos à superfície, praticamente não se verificou decomposição dos resíduos, logo não houve alterações significativas nos percentuais de MOL-livre dos tratamentos, tanto de fedegoso quanto de ingá, sinalizando que os organismos do solo, presentes, não acessaram estes resíduos durante o tempo de avaliação. Entretanto, verificou-se uma tendência de consumo da MOL nos tratamentos com resíduos, comparados ao controle, sinalizando que houve um estímulo inicial da microbiota do solo pela adição dos resíduos e que esta consumiu preferencialmente a MOL nativa do solo nestes tratamentos.

Este consumo da MOL pelos microrganismos do solo nos tratamentos com resíduos dispostos à superfície e controle, está ligado ao efeito *priming*, induzido provavelmente, devido ao umedecimento do solo, e adições de resíduos e liberação de C-lábil e estímulo à biomassa microbiana do solo, resultando na posterior imobilização de nutrientes (efeito *priming* negativo).

Entretanto, mesmo nos tratamentos com resíduos incorporados nos quais há uma grande formação de MOL-livre inicialmente, com o tempo esta vai se degradando, pois, esta é uma fração ativa e de fácil acesso aos microrganismos (ROSCOE; BUURMAN, 2003). Isso explica as reduções nos percentuais de MOL nos tratamentos com resíduos incorporados de fedegoso dos seis até os 12 meses de incubação e nos tratamentos com resíduos de ingá, dos nove até os 12 meses de incubação.

Em SAFs, o aporte e a decomposição dos resíduos são contínuos, e mesmo em casos de resíduos de difícil decomposição, um equilíbrio entre o consumo da MOL-livre e a formação de uma nova MOL é esperado, mantendo os níveis desta fração da MOS e a ciclagem de nutrientes. Em estudos realizados em duas áreas experimentais de SAFs na Zona da Mata de Minas Gerais, comparativamente a áreas manejadas sob sistema

convencional, Perez et al. (2004) encontraram valores maiores de MOL em solos sob SAFs, sendo que o C associado à MOL-livre na profundidade de 0 a 5 cm, correspondeu a 42% do COT do solo. Em áreas sob manejo convencional este foi de 32%. Os maiores percentuais de MOL-livre nos SAFs refletem o efeito da cobertura formada sobre o solo pelos resíduos oriundos das árvores. Além disso, as árvores presentes nos SAFs influenciam a fauna do solo aumentando-a (SOUZA, 2010), assim como aumenta a biomassa microbiana (XAVIER, 2009). Estes fatores associados condicionam um ambiente mais favorável à decomposição dos resíduos adicionados elevando os percentuais de MOL-livre e a consequente disponibilização de nutrientes em curto prazo nestes sistemas.

4.2. Abundância de $\delta^{13}\text{C}$

As análises de $\delta^{13}\text{C}$ (Figura 1) mostram uma maior intensidade da transferência de C dos resíduos para o solo, especialmente para a fração MOL-livre no tratamento I_{RI} (acima de 90% de MO derivada do resíduo) e F_{RS} (42% de MO derivada do resíduo), comparados ao verificado pelos valores de MOL-livre os quais não mostram percentuais de MOL-livre muito superiores para F_{RI} do que para I_{RI} ao longo do período de incubação (Quadro 3).

Entretanto, os resultados das análises de $\delta^{13}\text{C}$ não contradizem os percentuais de MOL-livre encontrados para os tratamentos. Eles complementam a informação, sinalizando a ocorrência do efeito *priming* negativo nos tratamentos (KUZYAKOV et al., 2000), resultando no consumo inicial da MOL-livre “nativa” do solo, com material de origem rico em ^{13}C , oriundo de gramíneas, seguido de sua substituição por outra MOL-livre pobre em ^{13}C , oriundo dos resíduos (Quadro 2). Dessa forma, as análises de $\delta^{13}\text{C}$, comparada à quantificação dos percentuais de MOL-livre evidenciaram uma maior substituição em tratamentos com resíduos incorporados e que esta acontece para o ingá na mesma intensidade verificada para o fedegoso. Além disso, evidenciaram que houve uma substituição significativa da MOL no tratamento com resíduos de fedegoso dispostos à superfície. Este resultado deve-se ao fato de que, a análise dos percentuais de MOL-livre é apenas quantitativa e não detecta a origem desta, enquanto a análise da $\delta^{13}\text{C}$ é uma análise qualitativa (KÖGEL-KNABNER, 2000; BOARETO et al., 2004) mostrando que a MOL presente no solo dos tratamentos após a incubação, possui valores de $\delta^{13}\text{C}$ mais negativos sendo, portanto, proveniente dos resíduos incubados.

Apesar de não ter sido avaliado a $\delta^{13}\text{C}$ em outros períodos, é provável que nos tratamentos com resíduos de fedegoso a substituição da MOS tenha acontecido de forma mais rápida do que para os resíduos de ingá, já que este último apresentou uma lenta taxa de decomposição (DUARTE et al., 2012) enquanto o fedegoso, neste experimento, foi mineralizado mais rapidamente sendo este fato evidente pela evolução acumulada de C-CO_2 (Figura 4 do Capítulo 2).

4.3. Teores de carbono e nitrogênio da biomassa microbiana

Os teores de C e N-BM (Quadro 4), mais elevados para o tratamento F_{RI} comparados ao I_{RI} , aos três meses, estão em consonância com os resultados apresentados para a MOL-livre (Quadro 3) do tratamento neste período e com os menores percentuais de celulose e lignina dos resíduos de fedegoso, em relação ao ingá (Quadro 1). Porém, maiores teores de C e N-BM do solo para tratamentos com resíduos de Ingá em relação a resíduos de fedegoso não estão em consonância com os resultados das demais análises MOL-livre (Quadro 3), e fração humina (Quadro 6 do Capítulo 2). As análises destas frações apontaram para uma maior formação de matéria orgânica em tratamentos com resíduos de fedegoso. Este fato sugere falhas na distribuição do intervalo de tempo de monitoramento desta fração da MOS no tratamento F_{RI} , sendo possível que a primeira avaliação tenha acontecido tardiamente, não detectando o estágio de maior crescimento na biomassa microbiana neste tratamento. Evidências deste estágio podem ser encontradas avaliando os dados de evolução de C-CO_2 (Figura 4 do Capítulo 2) os quais mostram que este aconteceu até os 50 dias de incubação. Assim, aos três meses quando foi realizada a primeira avaliação, os tratamentos com resíduos de fedegoso tendiam à estabilização da evolução, enquanto para tratamentos com resíduos de ingá ainda não havia sinais claros de estabilização desta evolução, mas sim de uma intensa atividade da microbiota do solo. Aos 12 meses, o tratamento com resíduo incorporado de fedegoso, novamente apresentou maior teor de C-BM, comparados a tratamentos com resíduo incorporado de ingá, sinalizando para uma estabilização da atividade microbiana do solo no tratamento com resíduos de ingá. As oscilações verificadas para a biomassa microbiana durante o período da incubação se explicam devido ser esta, a fração viva, portanto, ativa da MOS (GAMA-RODRIGUES et al., 2008), sendo também a mais dinâmica.

Embora não tenham sido encontradas referências em relação aos intervalos de avaliação da atuação da biomassa microbiana sobre os resíduos senescentes de espécies arbóreas, há vários estudos que avaliam a massa seca remanescentes de resíduos (CHACÓN, 2006) as quais refletem a ação dos decompositores sobre estes. Tais estudos mostram que há no período inicial da incubação, grande redução da MS remanescentes de resíduos. Assim, estas medições são realizadas em intervalos de tempo menores, como 5, 10, 15 e 30 dias e a partir de então, de 30 em 30 dias. Neste estudo a primeira avaliação só foi realizada aos 90 dias, portanto, supostamente tarde para avaliar esta característica para resíduos de fedegoso, o qual se decompõe rápido.

Aos nove meses, o controle apresentou maiores teores de C-BM e N-BM comparados aos tratamentos e aos 12 meses este comportamento se repete para o C-BM, evidenciando que os resíduos de ingá e fedegoso neste período limitaram o crescimento da BM. Tal fato está provavelmente, ligado à presença de compostos mais recalcitrantes nos resíduos remanescentes e na MOS recém formada. Neste período todos os tratamentos apresentam reduções no C-BM exceto o controle, evidenciando a conversão deste em outras formas de C, provavelmente CO₂ e outro compartimento mais estável da MOS (STEVENSON, 1994).

O incremento nos valores de C e N-BM verificados para o controle ao longo da incubação evidenciou a interferência de outras fontes de C, que não é a dos resíduos adicionados, na formação de C-BM. Neste caso a fonte é a MOS nativa, confirmando também o efeito *priming* nesta fração da MOS tanto para os tratamentos quanto para o controle. Para Kuzyakov et al. (2000), esta influência pode ser atribuída ao umedecimento do solo no processo de incubação, fato verificado para o controle, ou devido o efeito aditivo da umidade e da adição de fontes de C-solúvel, oriundos dos resíduos, nos tratamentos.

4.4. Características químicas do solo

O maior nível de melhoria verificado nas características químicas do solo para tratamentos com resíduos incorporados, principalmente, de fedegoso, são resultado do favorecimento da decomposição devido à incorporação destes resíduos ao solo e à maior facilidade de decomposição dos resíduos de fedegoso em relação ao ingá e elevação dos níveis de matéria orgânica. Nos tratamentos com resíduos incorporados a elevação dos teores de MOS (Quadro 5) contemplaram desde frações mais lábeis como a MOL-livre

(Quadro 3) até frações mais recalcitrantes da MOS como as frações húmicas (Quadro 6 do Capítulo 2). As substâncias húmicas apresentam elevadas concentrações de ácidos orgânicos e radicais carboxílicos (SPOSITO, 1989) conferindo-lhes uma CTC em torno de 400 a 800 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$. Assim, os aumentos dos níveis de substâncias húmicas resultam na elevação da CTC do solo indicando que o aporte de resíduos, mesmo de difícil decomposição como os de ingá, quando incorporados pode resultar em incrementos nos teores de MOS e na CTC total do solo o que é fundamental na retenção de nutrientes e diminuição da lixiviação destes (BAYER; MIELNICZUK, 1997).

A elevação dos percentuais de MOL nestes tratamentos também está em consonância com a elevação dos teores de K, Ca e Mg trocável elevando a soma de bases e os teores de P disponível e P remanescente.

Resíduos de fedegoso, comparados com o ingá, os quais apresentam alta taxa de decomposição, foram mais eficientes em elevar o nível de MO inclusive nas frações húmicas (Quadro 6 do Capítulo 2) elevando também a CTC do solo. Isto acontece porque as substâncias húmicas, ricas em ácidos orgânicos com seus grupamentos carboxílicos e fenólicos, podem se dissociar e consumir H^+ da solução do solo mediante protonação dos grupamentos OH^- oriundos de grupamentos funcionais da MOS (FRANCHINI et al., 2003; MIYAZAWA et al., 2000). Assim se explica, em parte, a elevação do pH do solo. Elevações no valor de pH devido a adição de resíduos vegetais parecem ser influenciados pelas espécies (qualidade de resíduos). Amaral et al. (2004) verificaram maior aumento do pH do solo quando se adicionou resíduo de nabo forrageiro no solo, comparado com resíduos de ervilhaca e aveia. A MOS também atua como efeito tampão sobre o pH do solo devido a grande afinidade dos seus grupamentos OH^- com o íon Al^{3+} complexando-o por meio de ligações de coordenação (SPOSITO, 1989; MENDONÇA; ROWELL, 1994) e resíduos de fedegoso foram mais eficientes em reduzir o Al^{3+} mesmo quando se decompôs parcialmente, como nos tratamentos dispostos à superfície reduzindo o Al^{3+} de 0,88 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ para 0,39 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$.

Assim, nos tratamentos com resíduos incorporados de fedegoso, verificou-se o efeito aditivo da incorporação e da qualidade dos resíduos melhorando todas as características químicas do solo, enquanto para o ingá, quando incorporado, verificou-se alterações em relação à disponibilização de nutrientes, principalmente P, Ca e K, mas quando disposto à superfície, não se verificou melhorias no período avaliado.

Os incrementos nos teores de nutrientes dos tratamentos com resíduos incorporados podem ser, em parte, atribuídos à decomposição dos resíduos

disponibilizando os nutrientes para a solução do solo, porém, em parte, devem-se ao deslocamento de nutrientes de formas mais recalcitrantes na solução do solo, para formas mais lábeis, pois o aumento verificado nos tratamentos é superior às quantidades presentes originalmente nos resíduos e no solo, considerando a concentração destes no total de resíduo adicionado, somado às formas lábeis destes no solo (Quadro 2), em especial para o P (aumento de $1,72 \text{ mg dm}^{-3}$) em relação ao controle mais resíduo (3 mg dm^{-3}) e K. Muitos estudos indicam que ácidos liberados durante a decomposição da matéria orgânica interferem nas reações de troca de ligantes com sesquióxidos, liberando moléculas de fosfato na solução do solo, os quais podem ser usados por plantas (CARDOSO et al., 2003; HALL et al., 2010; XAVIER et al., 2010).

Poggiani et al. (1987) também verificaram que a utilização da espécie leguminosa *Mimosa scabrella*, foi capaz de transferir via deposição de folheto cerca de 76 e 80% a mais de N, 71 e 29% a mais de P e 32 a 54% a mais de K, do que o Pinus e o eucalipto, respectivamente, em um experimento de revegetação de área degradada pela extração de Xisto betuminoso, demonstrando o potencial diferenciado de algumas espécies em promover melhorias nas características químicas do solo. Tais resultados mostram que a manutenção dos teores de MOS, além da disponibilização de nutrientes, da redução dos teores de Al^{3+} tem relação direta com a CTC, fundamental para a retenção de nutrientes e diminuição da sua lixiviação além de reduzir a capacidade de fixação do P.

5. CONCLUSÃO

Resíduos de fedegoso decompõem-se mais rapidamente do que os resíduos de ingá, e exercem função importante na ciclagem de nutrientes, principalmente quando incorporados.

Quando os resíduos de fedegoso foram incorporados verificou-se o efeito aditivo da incorporação e da qualidade dos resíduos garantindo, em curto prazo, grandes incrementos nos teores de MOL-livre, C e N da biomassa microbiana, MOS, pH, nos estoques de nutrientes, na soma de bases e CTC, além de reduzir a capacidade de fixação de P e reduzir a saturação por Al^{3+} no solo. Melhorias também foram verificadas quando estes resíduos foram dispostos à superfície elevando os teores de MO, nutrientes, soma de bases, pH, CTC, além de reduções do Al^{3+} no solo.

Quando os resíduos de ingá foram incorporados, verificaram-se alterações em relação à disponibilização de nutrientes, principalmente P disponível, Ca e K trocável, na soma de bases e CTC efetiva, além de reduções do Al^{3+} no solo. Porém, quando disposto à superfície, este pouco se diferiu do controle no período avaliado.

Estes resultados evidenciam a importância de incentivar práticas que promovam uma maior diversidade da fauna do solo, aumentando assim, as possibilidades de que haja a incorporação natural dos resíduos no sistema.

6. REFERÊNCIAS

AMARAL, A.S.; ANGHINONI, I.; DESCHAMPS, F.C. Resíduos de plantas de cobertura e mobilidade dos produtos da dissolução do calcário aplicado na superfície do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 28, p. 115-123, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE CAFÉ – ABIC. **Indicadores da indústria de café no Brasil**. Disponível em: <www.abic.com.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?sid=61#tabevol2011>. Acesso em: 20 mar. 2011.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 21, p. 105-112, 1997.

BOARETTO, A.E.; TRIVELIN, P.C.O.; MURAOKA, T. Uso de isótopos como traçadores em fertilidade do solo e nutrição de plantas. In: FERTBIO 2004, 2004, Bonito, MS. **Anais...** Bonito, 2004.

CARDOSO, I.M.; GUIJT, I.; FRANCO, F.S. et al. Continual learning for agroforestry system design: university, NGO and farmer partnership in Minas Gerais. **Agric. Syst.**, v. 69, p. 235-257, 2001.

CARDOSO, I.M.; MEER, P.V.; OENEMA, O. et al. Analysis of phosphorus by PNMR in oxisols under agroforestry and conventional coffee systems in Brazil. **Geoderma**, v. 112, p. 51-70, 2003.

CHACÓN, E.A.V. **Caracterização, decomposição e biodisponibilidade de N e P de materiais orgânicos de origem animal e vegetal**. 2006. 143 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2006.

CORTEZ, J. Field decomposition of leaf litters: Relationships between decomposition rates and soil moisture, soil temperature and earthworm activity. **Soil Biol. Biochem.**, v. 130, p. 783-793, 1998.

DUARTE, E.M.G. **Ciclagem de nutrientes por árvores em sistemas agroflorestais na Mata Atlântica**. 2007. 115 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

DUARTE, E.M.G.; CARDOSO, I.M.; STIJNEN, T. et al. Decomposição e liberação de nutrientes de folhas de espécies arbóreas da Mata Atlântica utilizadas em sistemas agroflorestais. **Geoderma**, 2012.

DUNN, R.R. Managing the tropical landscape: a comparison of the effects of logging and forest conversion to agriculture on ants, birds, and lepidoptera. **Forest. Ecol. and Manag.**, v. 191, p. 215-224, 2004.

FERRARI, E.A. Desenvolvimento da agricultura familiar: a experiência do CTA-ZM. In: ALVAREZ, V.H.; FONTES, L.E.F.; FONTES, M.P.F. (Eds.). **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa: JARD, 1996. p. 233-250.

FRANCHINI, J.C.; HOFFMANN-CAMPO, C.B.; TORRES, E.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A. Organic composition of green manures during growth and its effect on cation mobilization in an acid oxisol. **Comm. Soil Sci. Plant Anal.**, v. 34, p. 2045-2058, 2003.

GAMA-RODRIGUES, E.F.; GAMA-RODRIGUES, A.C. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A.O. (Eds.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2.ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 159-170.

HALL, H.; LI, Y.; COMERFORD, N.; GARDINI, E.A.; CERNADES, L.Z. Cover crops alter phosphorus soil fractions and organic matter accumulation in a Peruvian cacao agroforestry system. **Agroforest Syst.**, v. 80, p. 447-455, 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Censo Demográfico - 2000**. Rio de Janeiro, 2000.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Lavoura permanente - 2005**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/default.php>>. Acesso em: 28 jul. 2007.

ISLAM, K.R.; WEIL, R.R. Microwave irradiation of soil for routine measurement of microbial biomass carbon. **Biol. Fertil. Soils**, v. 27, p. 408-416, 1998.

KER, J.C. **Mineralogia, sorção e dessorção de fosfato, magnetização e elementos traços de latossolos do Brasil**. 1995. 181 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

KÖGEL-KNABNER, I. Analytical approaches for characterizing soil organic matter. **Organic Geochemistry**, v. 31, p. 609-625, 2000.

KUZYAKOV, Y.; FRIEDEL, J.K.; STAHR, K. Review of mechanisms and quantification of promoting effects. **Soil Biol. Biochem.**, v. 32, p. 1485-1498, 2000.

LIMA, S.S.; AQUINO, A.M.; LEITE, L.F.C. et al. Relação entre macrofauna edáfica e atributos químicos do solo em diferentes agroecossistemas. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v. 3, n. 45, p. 322-331, 2010.

MENDONÇA, E.S.; MATOS, E.S. **Matéria orgânica do solo; métodos de análises**. Viçosa: UFV, 2005. 107 p.

MENDONÇA, E.S.; ROWELL, D.L. Dinâmica do alumínio e de diferentes frações orgânicas de um latossolo argiloso sob cerrado e soja. **Rev. Bras. Ci. Solo**, v. 18, p. 295-303, 1994.

MENDONÇA, E.S.; LEITE, L.F.C.; FERREIRA NETO, P.S. Cultivo do café em sistema agroflorestal: uma opção para recuperação de solos degradados. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 25, n. 3, p. 375-383, 2001.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A.; FRANCHINI, J.C. Neutralização da acidez do perfil do solo por resíduos vegetais. **Inf. Agron.**, v. 92, p. 1-8, 2000.

MONTAGNINI, F.; FANZERES, A.; DA VINHA, S.G. The potentials of 20 indigenous tree species for soil rehabilitation in the atlantic forest region of Bahia, Brazil. **J. of Appl. Ecol.**, v. 4, n. 32, p. 841-856, 1995.

PALM, C.A.; SANCHES, P.A. Decomposition and nutrient release patterns of the leaves of tree tropical legumes. **Biotropica**, v. 22, p. 330-332, 1990.

PEREZ, M.M.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E.S.; COSTA, L.M. Impactos da implementação de um sistema agroflorestal com café na qualidade do solo. **Agropecuária Técnica**, v. 25, p. 25-36, 2004.

POGGIANI, F.; ZAMBERLAN, E.; MONTEIRO JÚNIOR, E.; GAVA, I.C. Quantificação da deposição de folhedo em talhões experimentais de *Pinus taeda*, *Eucalyptus viminalis* e *Mimosa scabrella* plantados em uma área degradada pela mineração do xisto betuminoso. **IPEF**, v. 37, p. 21-29, 1987.

REIS, G.L.; LANA, A.M.Q.; MAURÍCIO, R.M. et al. Influence of trees on soil nutrient pools in a silvopastoral system. **Brazilian Savannah Plant and Soil**, v. 329, n. 1/2, p. 185-193, 2010.

ROSCOE, R.; BUURMAN, P. Tillage effects on soil organic matter in density fractions of a Cerrado Oxisol. **Soil Til. Res.**, v. 70, p. 107-119, 2003.

SAS INSTITUTE – SAS. **Users guide - release 9.1**. Cary, 2003.

SOUZA, M.E.P. **Abundância de oligochaetas edáficos em cafezais sob vários tipos de manejo**. 2010. 58 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

SOUZA, H.N.; CARDOSO, I.M.; FERNANDES, J.M. et al. Selection of native trees for intercropping with coffee in the Atlantic Rainforest biome. **Agrofor. Syst.**, v. 80, p. 1-16, 2010.

SPOSITO, G. **The chemistry of soils**. New York: Oxford University Press, 1989. 345 p.

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

UDAWATTA, R.P.; KREMER, R.J.; ADAMSON, B.W.; ANDERSON, S.H. Variations in soil aggregate stability and enzyme activities in a temperate agroforestry practice. **Appl Soil Ecol.**, v. 39, p. 153-160, 2008.

VANDERMEER, J.; PERFECTO, I. The agricultural matrix and a future paradigm for conservation. **Conserv. Biol.**, v. 21, n. 1, p. 274-277, 2007.

XAVIER, F.A.S. **Soil organic matter stock and quality in agroforestry and full sun coffee systems**. 2009. 153 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

XAVIER, F.A.S.; ALMEIDA, E.F.; CARDOSO, I.M.; MENDONÇA, E.S. Soil phosphorus distribution in sequentially extracted fractions in tropical coffee-agroecosystems in the Atlantic Forest biome, Southeastern Brazil. **Nutr. Cycl. Agroecosyst.**, v. 89, p. 31-44, 2010.

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

YOUNG, A. **Agroforestry for soil management**. 2.ed. Wallingford, UK: ICRAF and CAB International, 1997.

ZIMMER, M. Is decomposition of woodland leaf litter influenced by its species richness? **Soil Biol. Biochem.**, v. 34, p. 277-284, 2002.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Entre as espécies avaliadas, a capoeira branca, o fedegoso, o ingá, a bananeira e o açoita cavalo aportaram maiores quantidade de resíduos e N, P, K Ca, Mg, Cu e Zn. Porém o ingá e o açoita cavalo possuem uma taxa de ciclagem lenta dos resíduos e nutrientes, enquanto a capoeira branca, o fedegoso e a bananeira são de rápida taxa de ciclagem. Este resultado aponta que as espécies a capoeira branca, o fedegoso e a bananeira favorecem uma ciclagem de nutrientes, mais rápida no sistema. Já o ingá e o açoita cavalo, devido à grande quantidade de material aportado e sendo este de lenta taxa de decomposição, vão contribuir para maior proteção do solo.

O manejo das árvores, por meio da poda, favorece o aporte de resíduos com teores mais elevados de N, P, K ao sistema, enquanto a não realização da poda e o aporte espontâneo de resíduos senescentes leva a adições maiores de Ca, Cu e em alguns casos de Mg e Zn. Entretanto, há necessidade de avaliar o comportamento das espécies quando submetidas à podas e as consequências para o sistema em termos de, absorção de água e nutrientes, melhor época e melhor tipo de poda, além da capacidade de regeneração das espécies e outros aspectos.

A grande quantidade de água presente no material oriundo da poda das bananeiras pode contribuir para a rápida decomposição destes resíduos, uma vez que estes possuem alta concentração de resíduos de difícil degradação (lignina, celulose e polifenóis). A adição de grandes quantidades desse material ao solo também pode contribuir para a manutenção da umidade deste e melhorar a absorção de nutrientes pelas plantas. Não foram encontrados estudos relacionados à estes aspectos da espécie. Este pode ser tema de novas pesquisas considerando que a espécie é uma das mais utilizadas em consórcios com o café na região.

Estas informações constituem um passo inicial nos estudos sobre o potencial das espécies nos sistemas agroflorestais (SAFs). Novas pesquisas abordando outras espécies e também, outros mecanismos de ciclagem destas espécies devem ser investigados.

Avaliando os efeitos de ingá e fedegoso na ciclagem de nutrientes e na formação da MOS, foi evidenciado que resíduos de ingá, quando incorporados, contribuem para a formação de frações estáveis da MOS em curto prazo embora apresente uma taxa de decomposição muito lenta. Quando estes foram mantidos à superfície não se verificou decomposição dos resíduos durante a incubação. Porém, nos

tratamentos com resíduos de fedegoso quando incorporados, verificou-se o efeito aditivo da incorporação e da qualidade dos resíduos levando à maior taxa de decomposição, mineralização e humificação destes resíduos, comparados ao ingá e garantindo, em curto prazo, grandes incrementos nos teores de MOL-livre, C e N das diferentes frações da MOS e, conseqüentemente, na MOS, no pH, nos estoques de nutrientes, na soma de bases e CTC. Além disso, nos tratamentos com resíduos de fedegoso foi reduzida a capacidade de fixação de P e a saturação por Al^{3+} no solo. Melhorias também foram verificadas quando estes resíduos foram dispostos à superfície elevando os teores de MO, nutrientes, soma de bases, pH, CTC, além de reduções do Al^{3+} no solo.

Este estudo mostra que a seleção de espécies a compor os SAFs pode influenciar o estoque de C do solo. As alterações ocorridas no solo quando os resíduos foram incorporados indicam a importância da fauna do solo na ciclagem de nutrientes, modificando as condições locais e promovendo a trituração e incorporação destes resíduos acelerando sua decomposição. Portanto, novos estudos para a avaliação dos efeitos da fauna sobre a decomposição dos resíduos nestes sistemas podem ajudar a compreensão das diferentes interações ecológicas nestes.

Tais resultados apontam para a importância do uso simultâneo de várias espécies arbóreas em um mesmo SAF permitindo o aporte de material senescente com qualidades distintas. Isso favorece a manutenção de diferentes funções como a proteção do solo, a ciclagem de nutrientes e a estabilização da matéria orgânica promovendo melhorias nas características físicas, químicas e biológicas deste. Portanto, a seleção e a combinação de espécies devem ser consideradas no desenho e manejo dos SAFs.

Este estudo contribui para a tomada de decisões sobre qual espécie incluir nos SAFs. Além disso, contribui para o conhecimento sobre com o fornecimento de dados que poderão ser utilizados para compor um banco de dados para pesquisas sobre ciclagem de nutrientes, balanço de nutrientes, modelagem e outros. Estudos desta natureza podem revelar ainda, características positivas das espécies e incentivar o seu uso em SAFs, o que contribui para a preservação de espécies nativas da Mata Atlântica, bioma de grande importância para a biodiversidade.

Por fim, apesar de não ter sido foco de nossa pesquisa, mas, parte dos métodos utilizados, é necessário enfatizar também a importância de se trabalhar, nas ciências agroecológicas, em redes sociais entendendo o complexo social e o contexto ecológico presentes. Um melhor entendimento deste contexto ajudaria os políticos e agricultores a

unir esforços para desenvolver paisagens de sistemas agrícolas e sistemas institucionais que manejam adequadamente e conservem a variedade de serviços do ecossistema.

ANEXO A

QUADROS DE ANÁLISES DE VARIÂNCIAS (CAPÍTULO 1)

Quadro 1A - Teores de nitrogênio: dados originais

Fonte de variação	Grau de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	F	p
Tratamentos	8	5,45	0,68	12,57	p < 0,001
Resíduo	27	1,46	0,05		
Total	35	6,91			

Quadro 2A - Teores de fósforo: dados transformados para $1/\sqrt{x}$

Fonte de variação	Grau de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	F	p
Tratamentos	8	1,11	0,14	7,30	p < 0,001
Resíduo	27	0,51	0,02		
Total	35	1,62			

Quadro 3A - Teores de potássio: dados transformados para $1/\sqrt{x}$

Fonte de variação	Grau de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	F	p
Tratamentos	8	2,23	0,28	5,36	p < 0,001
Resíduo	27	1,40	0,05		
Total	35	3,63			

Quadro 4A - Teores de cálcio: dados transformados para \sqrt{x}

Fonte de variação	Grau de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	F	p
Tratamentos	8	1,67	0,21	7,60	p < 0,001
Resíduo	27	0,74	0,03		
Total	35	2,41			

Quadro 5A - Teores de magnésio: dados transformados para $1/\sqrt{x}$

Fonte de variação	Grau de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	F	p
Tratamentos	8	5,81	0,73	6,30	p < 0,001
Resíduo	27	3,11	0,12		
Total	35	8,91			

Quadro 6A - Teores de zinco: dados transformados para $1/\sqrt{x}$

Fonte de variação	Grau de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	F	p
Tratamentos	8	0,0549	0,0069	6,86	p < 0,001
Resíduo	27	0,0270	0,0010		
Total	35	0,0819			

Quadro 7A - Teores de cobre: dados transformados para \sqrt{x}

Fonte de variação	Grau de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	F	p
Tratamentos	8	18,02	2,25	3,49	p < 0,001
Resíduo	27	17,43	0,65		
Total	35	35,44604			

Quadro 8A – Aporte de serrapilheira: dados transformados para \sqrt{x}

Fonte de variação	Grau de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	F	p
Tratamentos	8	13387,23	1673,40	7,36	p < 0,001
Resíduo	27	6133,66	227,17		
Total	35	19520,89			

ANEXO B

QUADROS DE ANÁLISES DE VARIÂNCIAS (CAPÍTULO 2)

Quadro 1B - Nível de significância dos tratamentos (resíduos de ingá ou fedegoso, incorporados ou dispostos à superfície do solo) e do tempo (0, 3, 6, 9 ou 12 meses) nas formas de C e N do solo e interações tratamentos * tempo.

Variáveis	Tipo de resíduo	Tempo	Trat*tempo
MS remanescente	***	***	***
COT	***	***	***
NT	***	***	***
C FAF	***	***	***
N FAF	***	***	*
C FAH	***	***	***
NFAH	*	***	**
C FHU	***	***	***
N FHU	***	***	***

Nível de significância: * (p < 0,05), ** (p < 0,01), *** (p < 0,001).

Quadro 2B - Emissões de C-CO₂ ao longo a incubação (análise de regressão)

Fonte de variação	Grau de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	F	p
Tratamentos (FA)	4	2990,8	747,7	17374,5	p < 0,01
Dias (FB)	98	7603,6	77,6	1802,9	p < 0,01
FA x FB	392	482,2	1,2	28,6	p < 0,01
Tratamentos	494	11.076,6	22,4	521,0	p < 0,01
Resíduo	7.425	319,5	0,043		
Total	7.919	11.396,1			

Quadro 3B - Emissões de C-CO₂ aos 54 dias de incubação (cv 8,73)

Fonte de variação	Grau de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	F	P
Tratamentos	4	39,79	9,95	214,49	p < 0,01
Resíduo	75	3,48	0,05		
Total	79	43,26			

Quadro 4B - Emissões de C-CO₂ aos 99 dias de incubação (cv 7,73)

Fonte de variação	Grau de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	F	P
Tratamentos	4	60,04	15,01	199,47	p < 0,01
Resíduo	75	5,644	0,08		
Total	79	65,69			

Quadro 5B - Teores de COT no solo (cv 4,38)

Fonte de variação	Grau de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	F	P
Tratamentos	4	4,3543	1,0886	104,56	p < 0,0001
Tempo	4	1,0700	0,2675	25,70	p < 0,0001
Tratamento x tempo	16	1,5338	0,0959	9,21	p < 0,0001
Resíduo	75	0,7808	0,0104		
Total	99	7,7389			

Quadro 6B - Teores de NT do solo (cv 3,91)

Fonte de variação	Grau de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	F	P
Tratamentos	4	0,02281	0,00570	97,53	p < 0,0001
Tempo	4	0,00800	0,00200	34,19	p < 0,0001
Tratamento x tempo	16	0,01141	0,00071	12,19	p < 0,0001
Resíduo	75	0,00439	0,00006		
Total	99	0,04660			

Quadro 7B - Teores de C da fração ácidos fúlvicos (cv 7,01)

Fonte de variação	Grau de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	F	P
Tratamentos	4	0,04547	0,01137	12,94	p < 0,0001
Tempo	4	1,10484	0,27621	314,47	p < 0,0001
Tratamento x tempo	16	0,07469	0,00467	5,31	p < 0,0001
Resíduo	75	0,06588	0,00088		
Total	99	1,29088			

Quadro 8B - Teores de N da fração ácidos fúlvicos (cv 11,39)

Fonte de variação	Grau de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	F	p
Tratamentos	4	0,00086	0,00021	7,88	p < 0,0001
Tempo	4	0,00194	0,00048	17,82	p < 0,0001
Tratamento x tempo	16	0,00080	0,00005	1,85	p < 0,0001
Resíduo	75	0,00204	0,00003		
Total	99	0,00564			

Quadro 9B - Teores de C da fração ácidos húmicos (cv 13,12)

Fonte de variação	Grau de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	F	p
Tratamentos	4	0,09814	0,02454	10,95	p < 0,0001
Tempo	4	0,83713	0,20928	93,39	p < 0,0001
Tratamento x tempo	16	0,16427	0,01027	4,58	p < 0,0001
Resíduo	75	0,16808	0,00224		
Total	99	1,26762			

Quadro 10B - Teores de N da fração ácidos húmicos (cv 9,95)

Fonte de variação	Grau de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	F	p
Tratamentos	4	0,00031	0,00008	2,59	p < 0,0433
Tempo	4	0,00861	0,00215	71,71	p < 0,0001
Tratamento x tempo	16	0,00115	0,00007	2,40	p < 0,0059
Resíduo	75	0,00225	0,00003		
Total	99	0,01233			

Quadro 11B - Teores de C da fração humina (cv 5,24)

Fonte de variação	Grau de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	F	p
Tratamentos	4	8,396	2,099	216,73	p < 0,0001
Tempo	4	13,403	3,351	345,99	p < 0,0001
Tratamento x tempo	16	4,230	0,264	27,30	p < 0,0001
Resíduo	75	0,726	0,010		
Total	99	26,755			

Quadro 12B - Teores de N da fração humina (cv 6,14)

Fonte de variação	Grau de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	F	p
Tratamentos	4	0,0078	0,0020	50,38	p < 0,0001
Tempo	4	0,0534	0,0134	343,58	p < 0,0001
Tratamento x tempo	16	0,0107	0,0007	17,28	p < 0,0001
Resíduo	75	0,0029	0,00004		
Total	99	0,0749			

ANEXO C

QUADROS DE ANÁLISES DE VARIÂNCIAS (CAPÍTULO 3)

Quadro 1B - Nível de significância dos tratamentos (resíduos de ingá ou fedegoso, incorporados ou dispostos à superfície do solo) e do tempo (0, 3, 6, 9 ou 12 meses) nas formas de C e N do solo e interações tratamentos * tempo.

Variáveis	Tipo de resíduo	Tempo	Trat*tempo
MOL	***	***	***
C-BMS	***	***	***
N-BMS	***	***	***

Nível de significância: *** (p < 0,001).

Quadro 2B - Quadro de ANOVA dos teores de matéria orgânica leve-livre (cv 22,64)

Fonte de variação	Grau de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	F	p
Tratamentos	4	2,110	0,527	78,31	p < 0,0001
Tempo	4	0,173	0,043	6,42	p < 0,0001
Tratamento x tempo	16	0,802	0,050	7,44	p < 0,0001
Resíduo	75	0,505	0,007		
Total	99	3,590			

Quadro 3B - Quadro de ANOVA dos teores de C da biomassa microbiana do solo (cv 12,04)

Fonte de variação	Grau de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	F	p
Tratamentos	4	1191263,03	297815,76	101,24	p < 0,0001
Tempo	4	4002608,69	1000652,17	340,16	p < 0,0002
Tratamento x tempo	16	3021828,70	188864,29	64,20	p < 0,0001
Resíduo	75	220630,80	2941,74		
Total	99	8436331,21			

Quadro 4B - Quadro de ANOVA dos teores de N da biomassa microbiana do solo (cv 17,85)

Fonte de variação	Grau de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	F	p
Tratamentos	4	2053,32	513,33	7,57	p < 0,0001
Tempo	4	10993,30	2748,33	40,50	p < 0,0001
Tratamento x tempo	16	9931,09	620,69	9,15	p < 0,0001
Resíduo	75	5088,99	67,85		
Total	99	28066,71			