



**RAFAEL MALFITANO BRAGA**

**FRAÇÕES ORGÂNICAS, BIOMASSA E  
ATIVIDADE MICROBIANA EM LATOSSOLO  
SOB DIFERENTES COBERTURAS  
FLORESTAIS**

**LAVRAS - MG**

**2015**

**RAFAEL MALFITANO BRAGA**

**FRAÇÕES ORGÂNICAS, BIOMASSA E ATIVIDADE MICROBIANA  
EM LATOSSOLO SOB DIFERENTES COBERTURAS FLORESTAIS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do curso de Engenharia Florestal, área de concentração em Ciências Florestais, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador

Dr. Nelson Venturin

**LAVRAS - MG**

**2015**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca  
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Braga, Rafael Malfitano.

Frações orgânicas, biomassa e atividade microbiana em  
latossolo sob diferentes coberturas florestais / Rafael Malfitano  
Braga. – Lavras : UFLA, 2015.

72 p. : il.

Dissertação (mestrado acadêmico)–Universidade Federal de  
Lavras, 2015.

Orientador(a): Nelson Ventutin.

Bibliografia.

1. Matéria orgânica do solo. 2. Fertilidade do solo. 3. Floresta  
plantada. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

**RAFAEL MALFITANO BRAGA**

**FRAÇÕES ORGÂNICAS, BIOMASSA E ATIVIDADE MICROBIANA  
EM LATOSSOLO SOB DIFERENTES COBERTURAS FLORESTAIS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do curso de Engenharia Florestal, área de concentração em Ciências Florestais, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 30 de janeiro de 2015.

Dr. Carlos Alberto Silva                      UFLA

PhD. Fátima Maria de Souza Moreira   UFLA

Dr. Nelson Venturin  
Orientador

**LAVRAS - MG**

**2015**

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer e louvar a Deus, criador de todas as coisas. Por Sua mão amorosa de Pai é que pude cursar minha graduação e, agora, concluir meu mestrado. Seja feita a Sua vontade, Senhor!

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Departamento de Ciências Florestais, pela oportunidade concedida para realização do mestrado.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (Fapemig) pela concessão da bolsa de estudos, que viabilizou a obtenção deste título.

Ao meu pai, Francisco de Assis Braga, meu mentor e ídolo, ao qual tenho a honra de ter como meu coorientador. Tenho certeza de que sem ele, nada disso seria possível e eu não estaria onde estou hoje.

Aos professores do Departamento de Ciências do Solo da UFLA, Carlos Alberto Silva e Fátima Maria de Souza Moreira, pela disponibilidade e colaboração na execução das análises de solo, na redação desta dissertação e participação na banca examinadora.

Ao funcionário do Departamento de Solos, José Roberto Fernandes (Pezão), pelo auxílio na coleta das amostras de solo no campo.

À pós-graduanda Sílvia, que trabalhou comigo e me ajudou nas análises de microbiologia do solo.

Ao caro amigo e orientador, professor Nelson Venturin, que, com sua experiência, calma e disponibilidade, muito contribuiu para meu crescimento e aprendizado.

Aos meus pais, Francisco de Assis Braga e Lenira Pereira Malfitano Braga, que me educaram e estiveram ao meu lado em todos os momentos de minha vida, sempre com uma palavra de amor, carinho e oração. Ao meu irmão, Pedro Paulo Malfitano Braga que, mesmo distante neste momento de

fechamento de um ciclo, sempre foi um grande amigo. Sei que ele está torcendo por mim. Aos meus demais familiares, que também fizeram parte da minha educação e crescimento como filho de Deus.

Reverencio, também, a todos meus professores de graduação e pós-graduação, que partilhando seus conhecimentos, foram tão importantes na minha formação profissional e pessoal.

Abraço a todos meus amigos de Lavras que foram minha segunda família, durante todos estes anos de convivência, dos quais não tenho palavras para agradecer e expressar minha gratidão eterna.

Meus sinceros agradecimentos!

## RESUMO

A silvicultura é uma importante fonte de fornecimento de produtos florestais à sociedade, sobretudo, madeira. O solo é o substrato de crescimento das árvores e a sustentabilidade florestal passa pelo seu estudo e conservação. Em ambientes tropicais é cada vez mais notável a importância da fração orgânica para a sustentabilidade de seu uso. Estudos em florestas plantadas com idade superior a 20 anos são escassos na literatura, mas importantes para elucidar os efeitos num estágio mais avançado de equilíbrio dinâmico. O presente trabalho buscou avaliar a fertilidade, a atividade microbiológica, a quantidade e qualidade do carbono orgânico depositado no solo sob ecossistemas florestais plantados de eucalipto e de pinus e sob mata nativa. Foram amostradas as camadas de 0-5 e 5-10 cm do solo, em parcelas de uma área experimental de eucalipto e pinus, instalada em 1974, sobre Latossolo Vermelho distroférico de textura argilosa, na Universidade Federal de Lavras. Os tratamentos consistiram de quatro espécies de eucalipto: *Eucalyptus grandis*, *E. pilularis*, *E. cloeziana* e *Corymbia maculata*; uma de pinus: *Pinus caribaea* var. *hondurensis*; e um fragmento de Floresta Estacional Semidecidual Montana, adjacente à área experimental. Considerou-se a área basal e o número de árvores por hectare de cada espécie no stand atual para avaliação de desempenho. Nas amostras de solo foram analisados os estoques de carbono total, nas frações leve e pesada; respiração basal e carbono da biomassa microbiana; e fertilidade. A mata nativa apresentou as melhores condições gerais de solo, em termos de acúmulo e qualidade de carbono, atividade microbiana e fertilidade. Os eucaliptos apresentaram condições de solo próximas àquelas encontradas sob mata nativa, com destaque para as espécies *C. maculata* e *E. cloeziana*. O *P. caribaea* foi o ecossistema menos eficiente do ponto de vista de estocagem de carbono, fertilidade e condições à vida no solo. Todos os ecossistemas estudados apresentaram níveis tidos como adequados para carbono de biomassa microbiana e respiração basal, principalmente, na camada superficial. O nível de fertilidade do solo, sob todos os ecossistemas, foi extremamente baixo. As melhores condições foram observadas para os ecossistemas que mantiveram os maiores estoques de carbono orgânico no solo, mata nativa e *C. maculata*. Os estoques de carbono, a presença e atividade de microrganismos e a fertilidade do solo na camada de 5-10 cm foram, consideravelmente, menores que na camada superficial, proporcionando menores diferenças relativas no solo entre os ecossistemas estudados.

Palavras-chave: matéria orgânica do solo, fertilidade, floresta plantada.

## ABSTRACT

The silviculture is an important source of forest products, such as wood, to the society, and the soil is the basic growth substratum for trees. The forest sustainability, however, depends on its study and preservation, and the importance of organic matter is more and more notable in tropical environments. Research in planted forests, which are over 20 years old, are important to explain effects on advanced stages of the dynamic equilibrium, but still being not well approached in the literature. The purpose of this study was to assess the following parameters: soil fertility, microbiological activity, quantity and quality of soil organic carbon found on planted forest ecosystems, and on wild forest. Layers from 0 to 5, and from 5 to 10 centimeters deep of oxisol clayed were sampled in experimental plots containing eucalyptus and pine established in 1974, at the Federal University of Lavras. Treatments consisted of soil samples collected from areas containing four eucalyptus species, namely, *E. grandis*, *E. pilularis*, *E. cloeziana* and *Corymbia maculata*; one pine species, *Pinus caribaea* var. *hondurensis*; and from an adjacent fragment of the Montana Semideciduous Forest. The performance assessment was based on the number of trees per hectare for each species in the current stand. Estimates of the following variables were obtained: stock of total carbon on light and heavy fractions, basal breath and carbon of microbial biomass, and soil fertility. The wild forest showed better soil characters in terms of accumulation and carbon quality, microbial activity and soil fertility. Soil on which was planted eucalyptus was found to show estimates close to those found on wild forest, especially those containing *C. maculata* and *E. cloeziana*. The area containing the *P. caribaea* species was the less efficient ecosystem in terms of carbon stock, soil fertility and conditions for life in the soil. All ecosystems showed suitable levels for carbon obtained from microbial biomass and basal breath, mainly, on the surface layer. However, the soil fertility was very low. The best conditions were found on ecosystems containing greater content of soil organic carbon, wild forest, and that containing the *C. maculata* species. Carbon stock, presence and microorganisms activity, and soil fertility on the layer from 5 to 10 centimeters were very lesser than those found on the surface layer, making small relative differences on soils of these ecosystems.

Key-words: Organic matter. Soil fertility. Planted forest.



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>11</b>
<b>2.1</b>	<b>Importância da silvicultura de Pinus e Eucalipto no cenário nacional e mundial .....</b>	<b>11</b>
<b>2.2</b>	<b>Impacto do cultivo de eucalipto nas frações orgânicas e microbiota do solo .....</b>	<b>17</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>28</b>
<b>3.1</b>	<b>Área de Estudo .....</b>	<b>28</b>
<b>3.2</b>	<b>Amostragem e análises de solo.....</b>	<b>30</b>
<b>3.3</b>	<b>Avaliação do crescimento das árvores .....</b>	<b>32</b>
<b>3.4</b>	<b>Delineamento experimental e análise dos dados .....</b>	<b>33</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>34</b>
<b>4.1</b>	<b>Estoques e frações de carbono orgânico do solo.....</b>	<b>35</b>
<b>4.2</b>	<b>Fertilidade do solo e índices de desempenho das árvores.....</b>	<b>43</b>
<b>4.3</b>	<b>Parâmetros microbiológicos do solo .....</b>	<b>48</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>58</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>60</b>

## 1 INTRODUÇÃO

É notável que a madeira fosse um dos principais materiais responsáveis pela evolução humana sobre a terra. Contudo, com o passar do tempo, a exploração direta deste bem na natureza se tornou inviável pelo aumento de demanda (ZINN; LAL; RESCK, 2005).

Neste foco, a pesquisa e o desenvolvimento de técnicas de cultivo florestal se tornaram primordiais para a sustentabilidade do sistema produtivo (ALVARENGA; DAVIDE, 1999; DENARDIN et al., 2014; TORRES et al., 2014). O estudo do solo, a seleção de espécies potenciais, como o eucalipto e o pinus, técnicas de cultivo, adubação e outras são de extrema importância para sua viabilidade (LIMA, 1987).

O solo é um recurso natural básico, já que é meio de desenvolvimento de toda a vida terrestre não aquática (MARTINS et al., 2002). Para o homem, ele é o substrato de produção de alimento e matéria prima (MELO; RESCK; GOMES, 1995). Contudo, não é renovável no curto prazo, o que determina sua conservação e manejo adequado tendo em vista o uso sustentável (RESENDE; KER; BAHIA FILHO, 1996). Este problema vem sendo enfrentado pela sociedade no mundo moderno, já que, comumente, há uma desvinculação entre crescimento econômico e desenvolvimento sustentável, uma vez que estas perspectivas tendem a ser antagônicas (VALE, 2004; TORRES et al., 2014).

Segundo Doran e Parkin (1994), a qualidade do solo pode ser conceituada como a capacidade de esse recurso exercer várias funções, dentro dos limites do uso da terra e do ecossistema, para sustentar a produtividade biológica, manter ou melhorar a qualidade ambiental e contribuir para a saúde das plantas, dos animais e humana. Um dos desafios atuais da pesquisa é como avaliar a qualidade de um solo de maneira simples e confiável. Segundo os autores, ela pode ser medida por meio da quantificação de alguns atributos, ou

seja, propriedades físicas, químicas e biológicas que possibilitem o monitoramento de mudanças, em médio e longo prazo, no estado de qualidade do solo.

Entre os processos vitais à funcionalidade do ecossistema, destacam-se as formas e os ciclos dos elementos no sistema solo-planta, em especial do carbono, que exerce função reguladora sobre as transformações e ciclagem dos demais elementos no solo (SRIVASTAVA; SINGH, 1991; BARROS, 2013). As transformações dos materiais orgânicos são catalisadas pela atividade microbiana, que, por isso, desempenha papel essencial no funcionamento e na estabilidade do sistema biológico solo (ANDERSON; DOMSCH, 1989; SILVA; RESCK, 1997).

Dessa forma, conhecer a porção orgânica e a microbiota do solo se torna um importante elemento de avaliação da qualidade de um dado ecossistema, seja ele natural ou estabelecido por ação humana, segundo a face do respeito ao meio ambiente e da sustentabilidade.

O presente trabalho buscou avaliar o desempenho, a fertilidade, a atividade microbiológica, a quantidade e qualidade do carbono orgânico depositado no solo sob ecossistemas florestais plantados de eucalipto e de pinus e sob mata nativa.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Importância da silvicultura de Pinus e Eucalipto no cenário nacional e mundial

A madeira é uma das matérias-primas mais utilizadas desde que se tem notícia da existência humana sobre a Terra. Na atualidade, as árvores são de grande utilidade, fornecendo madeira para construção civil, produção de móveis, embarcações, além de óleos essenciais, colas, resinas, tintas, ácidos e, sobretudo, na produção do papel (BRASILIS, 2007).

A exploração de madeira no Brasil iniciou-se logo que os primeiros colonizadores aqui chegaram, com a retirada do pau-brasil (*Caesalpinia echinata* Lam.) e de algumas outras espécies de valor comercial na época. Posteriormente, com a ampliação das fronteiras agrícolas, o aumento populacional, o crescimento do tamanho e do número de cidades, as áreas naturais foram diminuindo rapidamente, notadamente, a partir do século XX (ANTONANGELO; BACHA, 1998).

Engajada na grande importância da madeira para o homem, a exploração direta deste bem, baseada em ambientes naturais, tornou-se inviável com base nos conceitos de sustentabilidade e renovabilidade (DENARDIN et al., 2014; TORRES et al., 2014).

Para solucionar tal problema, foram necessários pesquisa e desenvolvimento de técnicas de cultivo de florestas - a silvicultura. Além de inúmeras formas de plantio, o estudo do solo e a seleção de espécies com características morfofisiológicas e tecnológicas desejáveis foram de extrema importância para sua viabilidade econômica e produtiva (LIMA, 1987; VALE, 2004).

Na busca por espécies florestais que viessem a suprir a demanda nacional de madeira, foram introduzidos no Brasil os gêneros *Pinus* e *Eucalyptus* (VALE, 2004). Pode-se afirmar, com a crescente ampliação da produção nacional de madeira, via silvicultura de eucaliptos e pinus e sua representatividade no mercado, que com base na implantação destes gêneros no país, o Brasil projetou-se no cenário mundial como uma nação com enorme potencial produtivo e de uso racional da madeira (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTOS DE FLORESTAS PLANTADAS, 2013).

A industrialização e o aumento crescente da demanda por madeira fizeram com que as pesquisas em silvicultura tivessem, também, grande ênfase no país, principalmente, após a introdução de espécies destes gêneros no território nacional. (HASSE, 2006).

Segundo Pereira (1990), as primeiras décadas do século XX foram um período de crise e ao mesmo tempo de acontecimentos importantes para o setor florestal brasileiro, como, por exemplo, a introdução do eucalipto. Após longo tempo de intenso extrativismo, as matas de "madeiras duras", mais próximas dos centros consumidores, começaram a se exaurir. As reservas de *Araucaria angustifolia*, única fonte viável de "madeira mole" e fibra longa do país, já apresentavam igual tendência. Além do mais, o manejo sustentado das formações naturais e o cultivo de espécies nativas em grande escala não se mostravam animadores.

O antigo gênero *Eucalyptus*, atualmente dividido em *Eucalyptus*, *Corymbia* e *Angophora*, pertence à família *Myrtaceae* que abriga cerca de 90 gêneros e mais de 3000 espécies. Ambos são originalmente australianos, onde ocorrem mais de 700 espécies. São dotados de grande plasticidade, crescendo satisfatoriamente em locais com condições climáticas e edáficas diversas (LIMA, 1987).

As florestas de eucalipto são marcantes nas paisagens da Austrália. Em sua maioria, são florestas altas, atingindo 30 a 50 metros, ou florestas abertas com árvores menores, atingindo 10 a 25 metros (BARROS et al., 1990).

Embora existam relatos de sua introdução no Jardim Botânico do Rio de Janeiro, no século XIX, coube ao engenheiro agrônomo Edmundo Navarro de Andrade a tarefa de tornar sua cultura viável em território brasileiro. Incumbido da missão de buscar alternativas para suprir de combustível as máquinas a vapor da Companhia Paulista de Estradas de Ferro, Navarro de Andrade vislumbrou o potencial dessa árvore originária da Austrália. Trouxe ao Brasil várias espécies de eucalipto e procurou aclimatá-las em várias regiões paulistas, instituindo os primeiros hortos florestais nas estações ferroviárias. Além da maior taxa de crescimento do eucalipto, quando comparado com sua região de origem, notou-se que madeira, também, era de boa qualidade sendo, inclusive, uma ótima matéria-prima para a fabricação de dormentes (LIMA, 1987; BARROS et al., 1990; BRASILIS, 2007)

A iniciativa de Navarro de Andrade em muito contribuiu para que fossem poupados remanescentes de matas nativas paulistas (HASSE, 2006; BRASILIS, 2007).

Em seu hábitat natural, em quase todos os tipos climáticos australianos (exceto em condições de floresta pluvial), a vegetação é esclerófila, ou seja, adaptadas a deficiências hídricas sazonais, baixos teores de nutrientes no solo, defesa contra herbivoria ou mecanismos de proteção da longevidade das folhas, aumentando, assim, o carbono foliar por unidade de investimento, o que facilitou muito sua excepcional adaptação às condições do clima local, tropical típico, com verões chuvosos e invernos secos (LIMA, 1987).

Esta característica esclerófila do eucalipto representa, principalmente, o resultado de uma adaptação evolutiva a condições de baixo conteúdo de nutrientes no solo e não a condições de clima seco, já que muitas espécies não

toleram ou perdem produção em déficit hídrico (WITHERS, 1978). Por consequência, aliado ao rápido crescimento, seu uso em reflorestamentos de produção ganhou muita força no mundo todo, inclusive no Brasil (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTOS DE FLORESTAS PLANTADAS, 2013).

No Brasil, atualmente, os plantios de eucalipto restringem-se a poucas espécies, podendo-se destacar: *Eucalyptus grandis*, *E. urophylla*, *E. saligna*, *E. camaldulensis*, *E. tereticornis*, *E. globulus*, *E. viminalis*, *E. deglupta*, *E. pilularis*, *E. cloeziana*, *Corymbia citriodora* e *C. maculata* (BARROS et al., 1990).

Precisar a época em que se introduziram as primeiras coníferas exóticas no Brasil é praticamente impossível. Porém, alguns autores afirmam que as primeiras sementes ou mudas teriam sido trazidas, logo após a criação do Jardim Botânico do Rio de Janeiro, por Dom João VI, no início do século XIX. Outros autores são da opinião de que isso teria sido feito, posteriormente, por viajantes (PEREIRA, 1990).

Para fins produtivos, podem-se citar algumas experiências do setor privado e dos órgãos públicos até a década de 50 com algumas espécies do gênero *Pinus*. As diversas espécies de pinus, plantadas nas Regiões Sul e Sudeste do Brasil, são de introdução relativamente recente, por volta de 1954, e visam à produção de madeira para abastecimento industrial, para processamento mecânico, na produção de madeira serrada, madeira laminada, na confecção de painéis ou na produção de celulose e papel, constituindo alternativa em substituição à madeira de *Araucaria angustifolia*, cujos povoamentos naturais se achavam em rápido processo de exaustão (KRONKA et al., 2005; VIERA; SCHUMACHER, 2010).

Segundo Pereira (1990), a primeira participação do setor privado no processo de introdução de coníferas no Brasil deve ser creditada à Companhia Paulista de Estradas de Ferro, no ano de 1904. As informações disponíveis

indicam que a Companhia Paulista de Estradas de Ferro, apesar de ter optado pelo eucalipto como material principal em seus reflorestamentos, manteve interesse por outras espécies por muitos anos, entre as quais coníferas com destaque para o pinus. Em 1953, a companhia chegou a instalar ensaios com coníferas em nove hortos de sua propriedade.

Pereira (1990), também, comenta que o setor público teve forte participação no processo de introdução de coníferas com fins silviculturais no Brasil. O órgão líder dessa importante tarefa foi o Serviço Florestal do Estado de São Paulo que, animado pelo sucesso dos programas de introdução conduzidos pela Austrália, Nova Zelândia, Argentina e outros países, realizou, em 1953, os primeiros ensaios com espécies de pinus no Horto Florestal da Capital. Na época, durante as primeiras avaliações, observou-se que já havia espécies que mostravam desenvolvimento inicial promissor, mesmo em solos arenosos e pobres, o que facilitou a produção em massa no futuro.

No final da década de 50 e na década de 60, houve a instalação de numerosas firmas ligadas à industrialização de madeira no país, o que provocou o aumento significativo na introdução de coníferas e, acima de tudo, de pinus.

Nos anais do IV Encontro Nacional de Reflorestadores, realizado em 1978, consegue-se informações que mostram que *Pinus elliottii* var. *elliottii* e *Pinus taeda* já estavam sendo estabelecidos em plantios com escala comercial, no Brasil no final da década de 60. Continua o trabalho dizendo que foi somente a partir de 1963, após as grandes secas e incêndios florestais do Sul, que as espécies tropicais como o *Pinus caribaea* e o *Pinus oocarpa* ganharam destaque (VIERA; SCHUMACHER, 2010).

Os plantios de pinus foram acelerados, a partir de 1966, com a implantação da política de incentivos fiscais. Por volta de 1968, o IPEF/SP iniciou um amplo programa de estudos de procedências de pinus na região Sul, em associação com várias empresas, o qual contribuiu para a racionalização das



introduções e dos plantios destas árvores nos estados do Paraná e de Santa Catarina. Em 1975, dos 460 mil hectares implantados no Estado de São Paulo, cerca de 190 mil eram do gênero *Pinus* (KRONKA et al., 2005).

O uso e aplicação da madeira do gênero *Pinus* nas últimas décadas cresceu substancialmente transformando-a em matéria-prima fundamental para movimentar um setor produtivo de relevante importância para a economia brasileira (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTOS DE FLORESTAS PLANTADAS, 2013).

Segundo Moreira e Siqueira (2003), as florestas plantadas no Brasil atingiram 4,9 milhões de hectares, no início do século XX, o que corresponde a 0,9% da cobertura florestal total do país. Na região Sul do Brasil, a área plantada com o gênero *Pinus* é de, aproximadamente, 1,1 milhão de hectares, correspondendo a 57,6% da área total plantada, o que representa 1,74% da superfície territorial da região Sul.

No Brasil, atualmente, os plantios de pinus resumem-se a algumas poucas espécies, das quais podem-se destacar: *Pinus taeda*, *Pinus elliottii*, *Pinus patula*, *Pinus caribaea* var *caribaea*, *Pinus caribaea* var *bahamensis*, *Pinus caribaea* var *hondurensis*, *Pinus oocarpa* (SHIMIZU, 2006).

Os estudos de seleção de espécies e materiais genéticos foram responsáveis pela expansão da atividade florestal, não somente na indústria de celulose e papel no Brasil e no mundo. Os aumentos na demanda de madeira como matéria-prima para a indústria e as rápidas mudanças tecnológicas resultaram em um aumento adicional do reflorestamento com eucalipto e pinus, colocando-os em posição de destaque em todo mundo (VALE, 2004).

A área de florestas plantadas no Brasil em 2012 atingiu quase sete milhões de hectares, sendo 5,105 milhões com eucalipto; 1,560 milhões com pinus e 521 mil de outras espécies, ocupando 0,84% do território nacional. O mercado de produtos florestais teve faturamento em torno de US\$ 56,3 bilhões,

correspondendo a 7,7% do PIB nacional, gerando 4,4 milhões de empregos diretos e indiretos, que corresponde a 5,6% da população ativa no país (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTOS DE FLORESTAS PLANTADAS, 2013).

O plantio florestal, conduzido sob o regime de silvicultura intensiva, possibilita uma gama de impactos positivos e negativos ao ambiente. Contudo, mesmo apresentando impactos negativos, as florestas plantadas têm valores ambientais, econômicos e sociais positivos, atendendo uma extensa lista de produtos e serviços demandados pela sociedade contemporânea (SILVA, 2009).

## **2.2 Impacto do cultivo de eucalipto nas frações orgânicas e microbiota do solo**

O solo constitui o recurso natural básico de uma nação, sendo não renovável no curto prazo, o que justifica sua conservação e manejo adequado tendo em vista o uso sustentável (MELO et al., 1995). A maioria do que se produz para uso e consumo humano é fruto do solo, ou seja, o solo é fonte e meio de grande parte da vida na Terra (MARTINS et al., 2002). Comumente, a degradação do solo em áreas destinadas à produção ocorre em virtude da desvinculação entre crescimento econômico e desenvolvimento sustentável, uma vez que estas perspectivas tendem a ser antagônicas (RESENDE; KER; BAHIA FILHO, 1996; TORRES et al., 2014).

A matéria orgânica do solo é considerada uma das principais fontes de energia e nutrientes ao sistema, capaz de manter a produtividade dos solos (ROSCOE; MACHADO, 2002). Dentre outros benefícios gerados pela matéria orgânica, destacam-se a melhoria das condições físicas do solo e o fornecimento de energia para o crescimento microbiano (SILVA; RESCK, 1997), o que reflete em maior ciclagem de nutrientes e aumento da CTC do solo (SRIVASTAVA;

SINGH, 1991; RACHWAL et al., 2007). A conversão de ecossistemas naturais em sistemas produtivos, sejam eles agrícolas ou florestais, envolve uma série de atividades que afetam as taxas de adição e decomposição da matéria orgânica do solo (ZINN; LAL; RESCK, 2005).

Em ecossistemas naturais, quando a vegetação nativa é substituída por sistemas agrícolas, os estoques de carbono orgânico podem ser drasticamente reduzidos (TORRES et al., 2014), com perdas da ordem de 50 % nos primeiros 20 cm de profundidade do solo e de até 20 % na profundidade de um metro (ESTADOS UNIDOS, 1999).

Em regiões tropicais, as condições de temperaturas elevadas, os altos índices pluviométricos e, em consequência, a intensa atividade microbiana propiciam uma condição ainda mais crítica de rápida decomposição dos materiais orgânicos depositados no solo (SILVA; MACHADO, 2000; MIELNICZUK et al., 2003).

Segundo Zinn, Lal e Resck (2005), as maiores taxas de decomposição da MOS, observadas em áreas sob cultivo, ocorrem em decorrência das perturbações físicas do solo, que implicam rompimento dos macroagregados (reduz a proteção física da matéria orgânica do solo), expondo a matéria orgânica protegida aos processos microbianos, contribuindo, dessa forma, para aumentar as taxas de emissão de CO<sub>2</sub> para a atmosfera. Wendling et al. (2012) e Pelissari et al. (2013), também, observaram efeito significativo dos aspectos físicos do solo na proteção aos estoques de carbono orgânico do solo à decomposição.

Contudo, após o estabelecimento de uma nova comunidade vegetal, seja por regeneração natural ou cultivos, com objetivos produtivos ou não, há o restabelecimento das taxas de entrada e manutenção de carbono no sistema, em maior ou menor intensidade e eficiência de fixação (STEVENSON, 1994; FREIXO et al., 2002). É notável que alguns sistemas como pastagens e

reflorestamentos possuam maior capacidade de produção de biomassa e proteção deste carbono aportado, condicionando maiores estoques de carbono no solo que cultivos agrícolas, algumas vezes até superiores aos encontrados sob vegetação nativa local (ZINN; DIMAS; SILVA, 2002; PELISSARI et al., 2013).

Entre os processos vitais à funcionalidade do ecossistema, destacam-se as formas e os ciclos dos elementos no sistema solo-planta, em especial do carbono, que exerce função reguladora sobre as transformações e ciclagem dos demais elementos no solo (STEVENSON, 1994; SILVA; RESCK, 1997; FREIXO et al., 2002). As transformações dos materiais orgânicos são catalisadas pela atividade microbiana (ROSCOE; MACHADO, 2002), que, por isso, desempenha papel essencial no funcionamento e estabilidade do sistema biológico solo (MIELNICZUK et al., 2003).

O carbono da biomassa microbiana, por ser o destino inicial do carbono em transformação no solo pela rápida ciclagem (BARROS, 2013), responde intensamente a flutuações sazonais de umidade e temperatura e ao manejo dos resíduos, constituindo no compartimento da matéria orgânica que se altera mais rapidamente às mudanças nos sistemas de manejo, podendo ser utilizado como índice de qualidade do solo (POWLSON; BROOKS; CHRISTENSEN, 1987; ANDERSON; DOMSCH, 1989).

Dessa forma, conhecer a microbiota do solo se torna um importante fator de avaliação da qualidade deste sistema (TRUMBORE, 2000; GAMA-RODRIGUES et al., 2005). A biomassa microbiana representa a parte viva da matéria orgânica, que regula as transformações bioquímicas, o estoque e o fluxo de carbono, nitrogênio (2 a 5 % do carbono orgânico e até 5 % do nitrogênio em solos tropicais) e outros nutrientes, os quais são liberados durante a sua reciclagem dos resíduos depositados pelo sistema (SILVA; MACHADO, 2000; RANGEL; SILVA, 2007; CARNEIRO et al., 2008).

Outro parâmetro quantitativo muito interessante de se avaliar a respeito da microbiota do solo é a respiração microbiana. Este determina a atividade biológica do solo e sua potencial capacidade de promover a decomposição da matéria orgânica e atuar em simbiose com as plantas. Por isso, a biomassa ativa é um regulador crítico dos processos biológicos do sistema solo-plantas atuando como um indicador sensível das alterações que ocorrem no solo (SRIVASTAVA; SINGH, 1991; WARDLE, 1992; RICE; MOORMAN; BEARE, 1996).

A respiração microbiana é o parâmetro mais utilizado na quantificação da atividade metabólica nos solos. Assim como outros índices, a respiração é dependente do estado fisiológico da célula e influenciada por diversos fatores ambientais ou do substrato, tais como umidade, temperatura, aeração, disponibilidade de nutrientes e constituição química do material a ser processado pelos microrganismos (MATOS; WEBER, 2009). Sua medição é considerada uma estimativa indireta da velocidade de decomposição da matéria orgânica do solo (ALEF; NANNIPIERI, 1995).

Apesar de a importância do carbono orgânico, da biomassa e atividade microbiana no solo já ser bastante reconhecida, os estudos desenvolvidos sobre esses atributos em áreas com plantios antigos de eucalipto e pinus (acima de 25 anos de idade) são relativamente escassos. Como esses são atributos essenciais ao bom funcionamento do solo, determinar as alterações ocorridas em função da implantação de uma floresta pura em comparação a um sistema natural local pode ser de grande interesse para se avaliar os impactos gerados no longo prazo por essas culturas (ZINN; LAL; RESCK, 2005).

Rachwal et al. (2007), estudando ecossistemas florestais nativos e implantados, destacam que a substituição de florestas naturais por plantios florestais de ciclo rápido altera os processos naturais de ciclagem e

armazenamento de nutrientes, em razão, sobretudo, das mudanças na qualidade da matéria orgânica.

A matéria orgânica do solo é o maior reservatório de carbono terrestre se as reservas fósseis não forem consideradas, representando cerca de duas vezes a quantidade de C da atmosfera e da biomassa vegetal (SILVA; RESCK, 1997; SWIFT, 2001). Sua constituição é bastante complexa, sendo formada por diversas frações com tempos de residência variando desde semanas (como a biomassa microbiana) até milhares de anos (como a fração humina) (ROSCOE; MACHADO, 2002).

Na maioria dos solos, as formas mais recalcitrantes são dominantes em termos quantitativos e, portanto, constituem um compartimento que desempenha papel crucial no sequestro de carbono em formas estáveis, com prolongado tempo de residência (STEVENSON, 1994; TRUMBORE, 2000; SOUZA, 2012). Em cultivos de ciclo mais longo, como é o caso florestal, a matéria orgânica do solo é uma das características estreitamente correlacionadas com a sustentabilidade no longo prazo (SILVA; RESCK, 1997; MENDHAM; O'CONNELL; GROVE, 2002; ARAÚJO; WENCESLAU; MARILUSA, 2007; TORRES et al., 2014).

Para uma melhor análise deste compartimento vivo e rico em minerais, uma alternativa interessante é o fracionamento da matéria orgânica do solo em classes, cada qual com sua função ecológica particular (ROSCOE; MACHADO, 2002). Por meio desta técnica, obtêm-se as diferentes porções orgânicas e sua quantidade (GOMES, 2014), podendo-se, assim, estudar melhor a ciclagem mineral e a estruturação do perfil ocasionada pela deposição da serapilheira (SILVA; RESCK, 1997; CHRISTENSEN, 2000; SKORUPA, 2001; PELISSARI et al., 2013).

Nesta linha, o fracionamento físico-densimétrico da matéria orgânica é bastante interessante do ponto de vista metodológico e prático. Esta técnica

permite separar este compartimento em duas frações: fração leve (fração mais lábil, não completamente processada e livre no solo) e fração pesada (mais estável e associada à matriz mineral do solo) (ROVIRA; VALLEJO, 2002; CONCEIÇÃO et al., 2008). Estudos têm demonstrado que estas frações da matéria orgânica são diferentemente sensíveis às alterações de manejo do solo (LAL; BRUCE, 1999). Este fato vem corroborar sua utilização como índice de avaliação de qualidade de ambientes e tipos de cobertura do solo (MARINARI et al., 2007; PULROLNIK et al., 2009).

Uma floresta de eucalipto ou pinus adulta deposita anualmente no solo grande quantidade de matéria orgânica, observada pela espessa camada húmica formada sobre o solo abaixo do dossel (POGGIANI et al., 1987). O estudo aprofundado deste compartimento essencial ao meio florestal é de grande valia do ponto de vista da sustentabilidade do uso do recurso natural solo (ZINN; LAL; RESCK, 2005; ARAÚJO; WENCESLAU; MARILUSA, 2007; DENARDIN et al., 2014).

No processo de ciclagem natural de nutrientes, a matéria orgânica tem um papel imprescindível para a manutenção da fertilidade do solo (RACHWAL et al., 2007; DENARDIN et al., 2014). O material depositado pela floresta impede que o solo fique exaurido, tanto pela matéria orgânica em si como fonte de nutrientes, quanto por suas demais funções, protetora, estruturadora e de ampliação da CTC (BREYMEYER; DEGORSKI; REED, 1997; BARROS, 2013).

À medida que as folhas, galhos e raízes vão sendo incorporados à serapilheira e sofrem o processo de decomposição, ocorre liberação desses nutrientes ao solo e, conseqüentemente, disponibilização para as plantas (OKI, 2002).

Quando um reflorestamento é muito jovem, a sua demanda por nutrientes é maior. Contudo, à medida que o povoamento envelhece, a taxa

anual de absorção de nutrientes é reduzida, a eficiência de uso dos nutrientes aumenta e a ciclagem biogeoquímica é dinamizada consideravelmente até um estágio de equilíbrio dinâmico no sistema (RACHWAL et al., 2007; SILVA, 2009). Da mesma forma, a idade dos povoamentos modifica a quantidade e qualidade do material orgânico depositado sobre o solo, modificando a dinâmica e eficiência do processo de ciclagem (WINK et al., 2013).

Além de alterações nos estoques totais, alguns compartimentos mais lábeis da matéria orgânica do solo podem sofrer alterações mais rapidamente em razão da mudança de uso do solo ou tipo de cobertura, servindo como parâmetros interessantes de qualidade do solo (ZINN et al., 2002). A fração leve da matéria orgânica do solo e a biomassa microbiana são consideradas como indicadores precoces e bastante sensíveis às alterações ocasionadas por mudanças de sistemas de manejo do solo que as frações mais estáveis, tais como as substâncias húmicas (POWLSON; BROOKS; CHRISTENSEN, 1987; ANDERSON; DOMSCH, 1989; LIMA et al., 2008).

Estudos têm demonstrado que determinados compartimentos da matéria orgânica são capazes de detectar, mais rapidamente, as mudanças nos conteúdos de carbono no solo associadas ao manejo (LAL; BRUCE, 1999). As reduções nestes compartimentos são, de modo geral, maiores que as observadas, quando se considera apenas o conteúdo total de carbono do solo (JANZEN et al., 1992). Numa escala crescente de sensibilidade, obtém-se, em primeira ordem, a biomassa microbiana do solo, bastante variável e sensível, considerada como compartimento ativo na dinâmica da matéria orgânica (POWLSON; BROOKS; CHRISTENSEN, 1987; LUNDQUIST et al., 1999); em seguida, representando uma medida de sensibilidade intermediária, tem-se a matéria orgânica leve (FREIXO et al., 2002); por fim, as frações húmicas (SIX et al., 2002).

Por ser um compartimento mais lábil, a matéria orgânica leve é influenciada pelo clima, práticas de manejo adotadas, tipo de vegetação e o tipo



de solo (LAL; BRUCE, 1999; ZINN; DIMAS; SILVA, 2002). Os estoques de matéria orgânica leve são frequentemente regulados pela quantidade e qualidade do material aportado ao solo (ROVIRA; VALLEJO, 2002), sendo frequentemente incrementados em sistemas de grande produção de biomassa (LIMA et al., 2008) e com baixas influências externas (BAYER et al., 2006).

Já, as porções húmicas são recuperadas mais lentamente por um sistema após dada perturbação, já que estas são formadas pelo aporte, reciclagem e incorporação do carbono derivado do líter de parte aérea e raízes (casca e galhos), ou seja, compostos bastante lignificados e pobres em nutrientes (ROVIRA; VALLEJO, 2002), com alta relação carbono/nitrogênio e lignina/nitrogênio, caracterizados naturalmente por serem menos lábeis e de decomposição mais lenta (MYERS et al., 1994; FREIXO et al., 2002; SOARES, 2009). Esses compostos mais humificados apresentam maior complexidade bioquímica, a qual, juntamente com a sua associação com as frações (silte e argila) do solo (estabilização coloidal), dificulta sua decomposição por microrganismos e favorece sua estabilização no solo (SIX et al., 2002).

Um diferencial a se considerar no estudo do impacto gerado no solo pelo cultivo de pinus e eucalipto é que o primeiro é uma conífera e o segundo uma folhosa. Nesse sentido, ambos os grupos produzem tipos de matéria orgânica diferentes entre si, ou seja, com propriedades físico-químicas e regimes de decomposição diferentes (COBO et al., 2002), o que provoca alterações na dinâmica de ciclagem de nutrientes do sistema como um todo (LOPES; GARRIDO; MELO, 1984; CORREIA; ANDRADE, 1999; RACHWAL et al., 2007).

Kleinpaul et al. (2003), estudando a dinâmica de deposição e decomposição de serapilheira em povoamentos de pinus e eucalipto em Santa Maria-RS, observaram que os povoamentos de *Pinus* sp. apresentaram acúmulo de serapilheira iguais ao dobro da serapilheira da floresta de *Eucalyptus* sp.

Segundo os autores, isso se deve à, relativamente rápida, decomposição dos componentes da serrapilheira em eucaliptos não formando, assim, uma manta orgânica espessa, repercutindo em uma disponibilização e ciclagem de nutrientes mais rápidas nestes povoamentos. O acúmulo observado nas espécies do gênero *Pinus* é em razão do longo tempo que as frações constituintes da serrapilheira levam para se decompor, causando a formação de um horizonte H (húmico), com várias camadas que disponibilizam mais lentamente os nutrientes ao solo.

O pH é uma propriedade do solo que reflete profundamente em suas demais propriedades químicas e, também, na microbiota que atua na decomposição da matéria orgânica depositada em sua superfície. Geralmente, em coníferas, tais como o pinus, observa-se um aumento da acidez do solo em comparação com o observado em folhosas, como o eucalipto (LOPES; GARRIDO; MELLO, 1984). Isso pode ser explicado pela maior acidez natural do folheto em coníferas e pela reconhecida maior retirada de bases do solo, principalmente cálcio pelas coníferas e, obviamente, posterior menor retorno ao solo via serrapilheira (BARROS; BRANDI, 1975), o que altera todo o ciclo biogeoquímico de ciclagem e a vida nestes solos (BARROS, 2013; GOMES, 2014).

As espécies geralmente plantadas em monoculturas de produção, como o eucalipto e o pinus, são comumente rotuladas como causadoras de grandes impactos negativos ao ambiente (SCOLFARO, 2008). Contudo, as acusações formuladas constituem-se, geralmente, em mitos perpetuados ao longo dos anos, o que geralmente está muito mais relacionado ao sistema de produção (ZINN; DIMAS; SILVA, 2002; SILVA, 2009).

O estudo desta dinâmica diferenciada de ciclagem entre povoamentos puros de pinus e de eucalipto em longo prazo é de grande importância para se conhecer o impacto destas culturas no carbono orgânico e na microbiota viva do solo (WINK et al., 2013), já que a sustentabilidade destes sistemas passa pelo

seu funcionamento (RACHWAL et al., 2007; RANGEL; SILVA, 2007; DENARDIN et al., 2014). Uma forma concreta de se avaliar o impacto de uma dada cultura é sua comparação a um ecossistema referencial, como, por exemplo, um ecossistema florestal nativo, fornecendo alguns indicadores de sustentabilidade do uso dos recursos naturais (DRUMOND et al., 1997; ARAÚJO; WENCESLAU; MARILUSA, 2007; TORRES et al., 2014).

Trabalhos sobre cultivos em curto prazo de pinus e eucalipto, normalmente com ciclo de produção de madeira para carvão e celulose por seu aspecto produtivo, econômico e industrial, são amplamente abordados no meio científico, principalmente, para fins de caracterização das condições de fertilidade do solo ou sua comparação com diferentes tipos de cobertura vegetal, relatando mudanças substanciais no teor de matéria orgânica do solo, microbiota do solo e estoque de nutrientes disponíveis às plantas, como: Melo et al. (1995), Zaia e Gama-Rodrigues (2004), Gama-Rodrigues et al. (2005), Pegoraro (2007), Selle (2007), Lima et al. (2008), Silva (2008), Silva (2009), Leite et al. (2010) e Fernandes et al. (2012).

Porém, estudos em longo prazo, ou seja, em plantios com idade superior a 25 anos, que avaliam os impactos sobre a fertilidade do solo, a microbiologia e o carbono orgânico depositado no perfil, são escassos na literatura. Alguns merecem destaque, como: Fonseca et al. (1993), Melo, Resck e Gomes (2005), Montero e Delitti (2007) e Rangel e Silva (2007). Entretanto, estes estudos se atêm mais a dados de fertilidade e matéria orgânica estocada, sem um estudo aprofundado destes componentes.

Povoamentos cultivados por mais tempo sob condições similares de solo e clima conseguem manter valores mais elevados de matéria orgânica no solo em relação àqueles manejados com rotações mais curtas e, conseqüentemente, com distúrbios de sítio mais frequentes, tendendo, assim, a uma condição ótima de clímax dinâmico do sistema. Estudos com essas características são

importantes para elucidar o efeito destas culturas em um estágio de equilíbrio dinâmico com o ambiente, sem o efeito dos ciclos de corte.

Cabe ressaltar, ainda, que a diversidade de resultados relatados na literatura quanto aos efeitos sobre os atributos do solo da substituição de ecossistemas nativos por povoamentos de eucalipto ou de pinus, sendo observados, em alguns casos, incremento dos teores, como também decréscimo nos estoques de carbono total, na fração leve e no carbono na biomassa microbiana, como, por exemplo, os trabalhos de Zinn, Lai e Resck (2005) e Rangel e Silva (2007).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Área de Estudo

O presente trabalho foi desenvolvido numa área experimental de teste de espécies e procedências de *Eucalyptus* spp e *Pinus* spp (Figura 1), instalada em janeiro de 1974 pelo projeto PRODEPEF/PNUD/FAO/IBDF/BRA-45, sobre Latossolo Vermelho distroférico típico textura muito argilosa (MOURA et al., 1980), no Campus da Universidade Federal de Lavras - UFLA, Lavras - MG, coordenadas 21° 13' 40"S; 44° 57' 50" W; e altitude de 925 m.

O relevo regional é suave ondulado, com declividade variando ente 5 e 15%. O clima é do tipo Cwa, segundo a classificação climática de Koppen, com temperatura média anual de 20,4°C e precipitação média de 1460 mm, segundo dados da estação meteorológica principal de Lavras, coletados entre 1991 e 2004 (DANTAS; CARVALHO; FERREIRA, 2007).

O referido experimento foi montado em parcelas de 5x5 árvores, com espaçamentos 3x2 e 3x3 metros, respectivamente, para eucalipto e pinus. Foram selecionadas quatro espécies de eucalipto – *Eucalyptus grandis*, *E. pilularis*, *E. cloeziana* e *Corymbia maculata* – e uma de pinus – *Pinus caribaea* var. *hondurensis* – considerando-se a sua utilização no território nacional e integridade das unidades amostrais no campo, já que ocorreram intervenções pontuais e localizadas na área ao longo do tempo, como a retirada de madeira e estudos de regeneração natural. Foram avaliadas quatro parcelas de 25 árvores para cada espécie de eucalipto e pinus estudadas.

A implantação das florestas foi feita por meio do preparo convencional do solo, constando de aração e gradagem em área total, à época ocupada por pastagem nativa. Foi adotada, uma adubação básica de plantio e cobertura. A escolha da fórmula de adubação foi baseada em pesquisas da Companhia

Agrícola e Florestal Santa Bárbara (CAF – Belgo Mineira), que recomendava a formulação NPK 9-30-5 + micronutrientes + aldrin. A dosagem por cova foi de 70 g, correspondente a 120 Kg ha<sup>-1</sup> da formulação, apenas no primeiro ano (MOURA et al., 1980).

A área experimental é adjacente à remanescente de Floresta Estacional Semidecidual Montana com dossel emergente (Figura 1), com 5,8 ha (DIAS; OLIVEIRA-FILHO, 1996). Essa tipologia é incluída no bioma de Mata Atlântica, segundo a classificação proposta por Veloso, Rangel Filho e Lima (1991). Em levantamento detalhado da vegetação nativa, desenvolvido por Oliveira-Filho, Scolforo e Mello (1994), relataram-se 184 espécies de árvores e arbustos, distribuídos em 119 gêneros e 52 famílias. As espécies com maior valor de importância (IVI) no levantamento fitossociológico foram: *Copaifera langsdorffii*, *Ocotea odorifera*, *Amaioua guianensis*, *Casearia arborea* e *Tapirira obtusa*. Em termos da estrutura fisionômica da comunidade arbórea, a densidade média foi de 1291 ± 271 árvores ha<sup>-1</sup>; a área basal média de 22,9 ± 6,0 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>; a altura média 13 m; altura máxima 25 m e DAP máximo 80 cm, segundo dados do inventário completo da área (NUNES et al., 2003).

De acordo com informações de antigos funcionários da Escola Superior de Agricultura de Lavras (ESAL), atual UFLA, o remanescente florestal estudado nunca sofreu corte raso e tem, aproximadamente, os mesmos limites geográficos pelo menos desde a década de 1920. Contudo, a retirada de lenha e pequenas peças de madeira, bem como a abertura de trincheiras para estudos de perfis do solo foram frequentes até 1986, quando a mata foi declarada como área de proteção e cercada (OLIVEIRA-FILHO; SCOLFORO; MELLO, 1994).

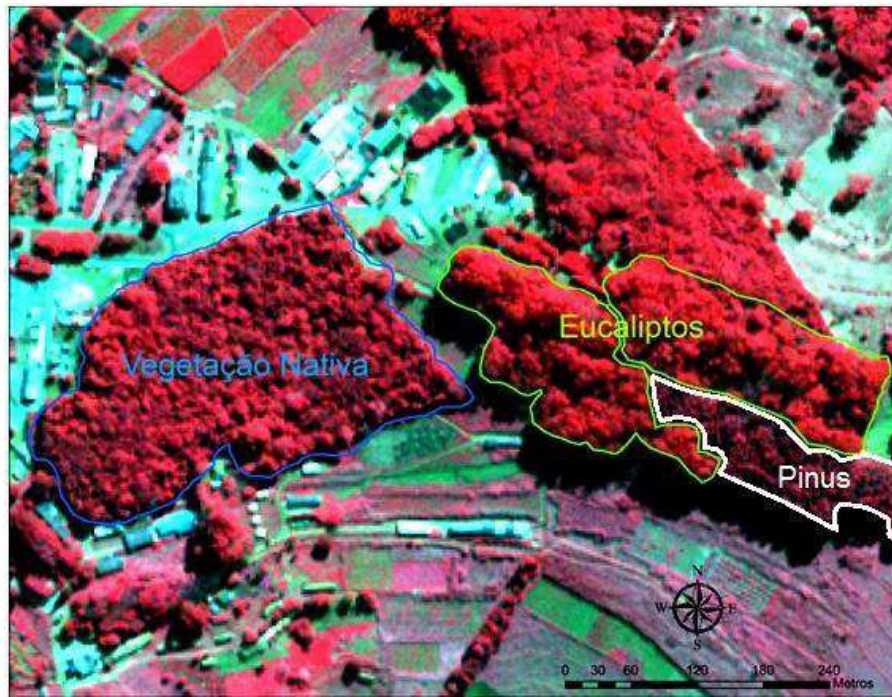


Figura 1 Foto aérea da área experimental de espécies/procedências de *Eucalyptus* e *Pinus* e o remanescente de Floresta Estacional Semidecidual

### 3.2 Amostragem e análises de solo

Nas parcelas de eucalipto e pinus foi feita a caracterização do perfil de solo, segundo sua composição orgânica e microbiológica, pela amostragem em ponto no centro de cada parcela, retirando-se amostras nas profundidades 0-5 e 5-10 cm. Na mata nativa, a amostragem foi feita nas mesmas profundidades, porém as amostras foram coletadas por caminhamento aleatório na área, respeitando-se uma distância mínima de 200 metros entre amostras, considerando-se a representatividade espacial na mesma.

Esta amostragem em superfície buscou avaliar qualitativamente o solo de modo a possibilitar uma avaliação da distribuição de cada compartimento

orgânico e a presença de microorganismos na camada mais superficial, dada a sua comprovada maior atividade microbiológica e influência da ciclagem biogeoquímica dos nutrientes nesta porção do solo (ARAÚJO; WENCESLAU; MARILUSA, 2007).

Os diversos tipos de fracionamento utilizados em estudos de MOS procuram separar frações homogêneas quanto à natureza, dinâmica e função, mas, ao mesmo tempo, suficientemente diferentes umas das outras (CHRISTENSEN, 2000). Neste trabalho, foram quantificados os teores de matéria orgânica leve (MOL) em água, segundo Anderson e Ingram (1989). Para tanto, foram pesadas 50 g de terra fina seca ao ar (TFSA) em bequer de 250 mL, em seguida adicionas 100 mL de solução de NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup>, este material permaneceu em repouso por uma noite. Decorrido o tempo, a suspensão foi agitada com bastão de vidro e todo o material passado por peneira de 0,25 mm, separando-se a fração areia da fração argila que, por lavagem, foi coletada em proveta de 2 L. Posteriormente, o material retido na peneira foi transferido para outro becker de 250 mL, constituindo a fração areia em conjunto com a fração leve da matéria orgânica. Da proveta, foi retirada uma alíquota de 100 mL, que também foi transferida para um becker de 250 mL, constituindo-se as frações silte e argila, em conjunto com a fração pesada da matéria orgânica. Ambas as frações foram secas em estufa a 65 °C até peso constante e, posteriormente, pesadas em balança de precisão. Além do peso seco, foi determinado o teor de carbono de ambas as frações, por meio de digestão úmida, segundo Embrapa (CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOLOS, 1997), determinando-se, assim, o teor de carbono nas frações leve e pesada da matéria orgânica do solo, para todos os sistemas, nas profundidades de interesse.

A extração e determinação do carbono da biomassa microbiana (CBM) foi realizada pelo método de fumigação-extração propostos por Vance, Brookes e Jenkinson (1987). Essa técnica apresenta como princípio básico a extração do



carbono microbiano, após a morte dos microrganismos e lise celular pelo ataque com clorofórmio e liberação dos constituintes celulares (FEIGL et al., 1995). A respiração dos microrganismos foi determinada pelo  $\text{CO}_2$  evoluído a partir de 20 g de solo incubado, durante 72 h, com extração por solução de NaOH 0,05 mol  $\text{L}^{-1}$  e titulação com HCl 0,05 mol  $\text{L}^{-1}$  (ALEF; NANNIPIERI, 1995).

As análises laboratoriais para determinação da fertilidade do solo das amostras seguiram as recomendações preconizadas por Embrapa (CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOLOS, 1997). O pH em água relação 1:2,5 (solo:água); Al, Ca e Mg trocáveis extraídos com KCl 1 mol  $\text{L}^{-1}$  e analisados por titulometria com NaOH 0,025 mol  $\text{L}^{-1}$  e determinados por titulometria com EDTA 0,0125 mol  $\text{L}^{-1}$ , respectivamente; P e K disponíveis em extrator Mehlich-1 (HCl 0,05 mol  $\text{L}^{-1}$  +  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,0125 mol  $\text{L}^{-1}$ ) e analisados por colorimetria e fotometria de chama, respectivamente.

Todas as análises laboratoriais de solo foram realizadas nos Laboratório de Fertilidade, Carbono Orgânico e Microbiologia do Solo do Departamento de Ciência do Solo da UFLA.

### **3.3 Avaliação do crescimento das árvores**

O crescimento das espécies de eucalipto e de pinus foi avaliado, determinando-se a área basal, após a medição e somatório dos Diâmetros à Altura do Peito (DAPs) de todas as árvores presentes em cada parcela. A densidade média de árvores por área foi estimada com base nas árvores remanescentes, nas parcelas em relação ao espaçamento inicial de plantio (3x2 ou 3x3 m), calculando-se, assim, o número esperado de indivíduos por hectare de cada espécie no stand atual.

### **3.4 Delineamento experimental e análise dos dados**

As análises estatísticas das variáveis quantificadas nas amostras de solo e área basal das árvores nas parcelas foram realizadas com o software estatístico SISVAR (FERREIRA, 2008). Foram realizadas análises de variância, para ambas as profundidades isoladamente, considerando-se um delineamento inteiramente casualizado, com seis tratamentos, correspondentes às quatro espécies de eucaliptos, uma de pinus e a mata nativa, com quatro repetições, perfazendo 24 parcelas amostrais e duas profundidades (0-5 e 5-10 cm). As médias foram comparadas, utilizando o teste Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade. Todas as variáveis foram comparadas por teste de correlação linear simples de Pearson, testadas ao nível de 5% de significância pelo Teste t.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resultado das análises de variância dos dados mostrou que as tipologias vegetais proporcionaram diferenças significativas em todos os parâmetros de carbono e atividade microbológica do solo avaliado, exceto para a respiração microbiana na camada superficial (Tabelas 1 e 2).

Tabela 1 Resumo das análises de variância para os dados de carbono orgânico e microbiologia do solo para a camada 0-5 cm

Fator de variação	GL	Quadrado Médio			
		Respiração	CBM	%CBM	Estoque
<b>Vegetação</b>	5	989,7 <sup>ns</sup>	451917,3*	8,92*	584,3*
<b>Erro</b>	18	564,3	6675,4	1,11	41,93
	<b>Cve</b>	21,7	10,8	15,1	6,6
		MO Leve	MO Pesada	%MO Leve	%MO Pesada
<b>Vegetação</b>	5	5,41*	6,78*	831,2*	831,2*
<b>Erro</b>	18	0,31	0,98	89,58	89,58
	<b>Cve</b>	11,5	7,0	9,0	3,0

GL: graus de liberdade; Cve: Coeficiente de variação experimental (%); Respiração: respiração basal do solo na camada de 0-5 cm ( $\mu\text{g dia kg}^{-1}$ ); CBM: carbono da biomassa microbiana na camada de 0-5 cm ( $\text{mg kg}^{-1}$ ); %CBM: relação percentual do carbono da biomassa microbiana em função do carbono total no solo para a camada de 0-5 cm (%); Estoque: estoque de carbono no solo na camada de 0-5 cm ( $\text{t ha}^{-1}$ ); MO Leve: estoque de matéria orgânica na fração leve na camada de 0-5 cm ( $\text{t ha}^{-1}$ ); MO Pesada: estoque de matéria orgânica na fração pesada na camada de 0-5 cm ( $\text{t ha}^{-1}$ ); %MO Leve: relação percentual do carbono na fração leve em função do carbono total no solo na camada de 0-5 cm (%); %MO Pesada: relação percentual do carbono na fração pesada em função do carbono total no solo na camada de 0-5 cm (%); \*: significativo a 5% pelo Teste F; <sup>ns</sup>: não s significativo a 5% pelo Teste F.

Tabela 2 Resumo das análises de variância para os dados de carbono orgânico e microbiologia do solo na camada de 5 a 10 cm

Fator de variação	GL	Quadrado Médio			
		Respiração	CBM	%CBM	Estoque
<b>Vegetação</b>	5	2552,5*	171561,4*	0,68*	23,67*
<b>Erro</b>	18	270,7	11,675,2	0,16	2,31
	<b>Cve</b>	17,7	20,4	21,4	11,2
		<b>MO Leve</b>	<b>MO Pesada</b>	<b>%MO Leve</b>	<b>%MO Pesada</b>
<b>Vegetação</b>	5	0,23*	3,20*	464,6*	92,9*
<b>Erro</b>	18	0,09	0,66	64,0	3,56
	<b>Cve</b>	21,0	9,7	12,9	2,2

GL: grau de liberdade; Cve: Coeficiente de variação experimental (%); Respiração: respiração basal do solo na camada de 5-10 cm ( $\mu\text{g dia kg}^{-1}$ ); CBM: carbono da biomassa microbiana na camada de 5-10 cm ( $\text{mg kg}^{-1}$ ); %CBM: relação percentual do carbono da biomassa microbiana em função do carbono total no solo para a camada de 5-10 cm (%); Estoque: estoque de carbono no solo na camada de 5-10 cm ( $\text{t ha}^{-1}$ ); MO Leve: estoque de matéria orgânica na fração leve na camada de 5-10 cm ( $\text{t ha}^{-1}$ ); MO Pesada: estoque de matéria orgânica na fração pesada na camada de 5-10 cm ( $\text{t ha}^{-1}$ ); %MO Leve: relação percentual do carbono na fração leve em função do carbono total no solo na camada de 5-10 cm (%); %MO Pesada: relação percentual do carbono na fração pesada em função do carbono total no solo na camada de 5-10 cm (%); \*: significativo a 5% pelo Teste F.

#### 4.1 Estoques e frações de carbono orgânico do solo

Paul et al. (2002) relatam que a intervenção na vegetação nativa para o estabelecimento de culturas anuais, pastagens ou florestas comerciais pode levar a alterações no estoque de matéria orgânica no solo, em geral, com um decréscimo nestes estoques, graças ao incremento no processo erosivo, aceleração da decomposição, redução no aporte de material vegetal ou diferenças na qualidade dos resíduos. Vários fatores afetam a magnitude e a rapidez com que essas mudanças ocorrem, incluindo a natureza do uso, tipo de solo, clima, vegetação original (MYERS et al., 1994).

Considerando-se inicialmente estoque total de carbono na camada de 0-5 cm (Figura 2), percebe-se que todos os sistemas foram muito eficientes na captação e estocagem de carbono no solo, fato este muito importante sob a ótica da sustentabilidade e na busca por reduções nas concentrações de gases estufa na atmosfera (DENARDIN et al., 2014; TORRES et al., 2014).

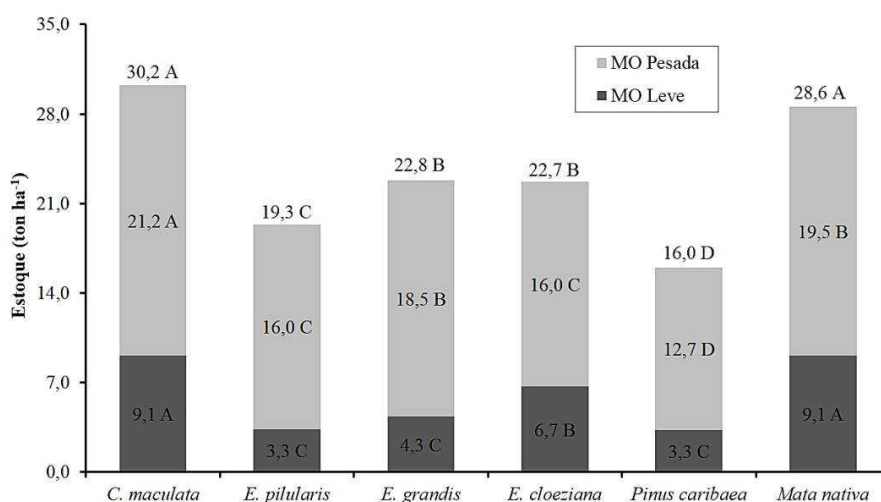


Figura 2 Estoque total de carbono orgânico do solo e nas frações leve e pesada (t ha<sup>-1</sup>) para a camada 0-5 cm. As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo Teste de Scott-Knott a 5% de significância

Além disso, ocorreram diferenças significativas na eficiência de armazenamento do carbono nesta porção, podendo-se identificar quatro grupos de tipologias, ou seja: (I) *C. maculata* e mata nativa; (II) *E. grandis* e *E. cloeziana*; (III) *E. pilularis*; e (IV) *Pinus caribaea*. Para o estoque de C na fração pesada, observam-se, novamente, quatro grupos: (I) mata nativa; (II) *C. maculata* e *E. cloeziana*; (III) *E. grandis* e *E. pilularis*; e (IV) *Pinus caribaea*. Neste caso, a mata nativa apresentou os maiores valores e houve a migração do *C. maculata* e *E. grandis* para grupos de menores teores. Finalmente,

analisando-se o estoque de C na fração leve, verifica-se nova mudança no cenário, com a redução para apenas três grupos: (I) mata nativa e *C. Maculata*; (II) *E. Cloeziana*; *E. grandis*, *E. pilularis* e (III) *Pinus caribaea*.

No contexto geral, a mata nativa destacou-se como um dos sistemas de maior estoque de matéria orgânica armazenado, com altos teores de matéria orgânica total, leve e pesada, fato, também, observado por Fernandes e colaboradores (2012) sob povoamentos de *Corymbia citriodora* com quatro anos e *Eucalyptus urophilla* com cinco anos, comparados a uma área de cerrado preservada como testemunha. Certamente, este ecossistema pode ser tomado como referência (RANGEL; SILVA, 2007), por se tratar de remanescente florestal que nunca sofreu corte raso, mas apenas intervenções pontuais ao longo do tempo (OLIVEIRA FILHO; SCOLFORO; MELLO, 1994).

Dentre os ecossistemas florestais plantados, o *C. maculata* se destacou por apresentar estoques de C semelhantes àqueles sob mata nativa em superfície, decorridos apenas 40 anos do plantio, indicando o maior potencial silvicultural dessa espécie em relação às demais estudadas, em termos de ciclagem de matéria orgânica, sustentabilidade e de recuperação ambiental. Outros trabalhos, também, relatam condições similares de C no solo entre sistemas naturais e plantados sob eucalipto (TURNER; LAMBERT, 2000; RANGEL; SILVA, 2007).

Em trabalho de revisão, envolvendo solos de diversas partes do mundo, Guo e Gifford (2002) não observaram perdas no estoque de carbono orgânico do solo quando da substituição da mata nativa por eucalipto em regiões de clima frio. Porém, o mesmo fato foi considerado pelos autores bem mais raro sob condições tropicais, como é o caso da região de estudo.

As espécies *E. grandis* e *E. cloeziana* proporcionaram estoques totais similares entre si, mas inferiores aos observados sob a vegetação nativa e *C. maculata*. Porém, merece destaque que sob *E. cloeziana* foi encontrada maior

fração de carbono leve e sob *E. grandis* a maior fração pesada. O *E. pilularis* apresentou os menores estoques totais de C no grupo dos eucaliptos; todavia, manteve a fração pesada em níveis similares ao *E. cloeziana*, mas baixo estoque na fração leve.

Por fim, o solo sob *Pinus caribaea* foi aquele com os menores estoques de carbono orgânico dentre os ecossistemas florestais estudados na camada de 0-5 cm. Contudo, vale lembrar que, no presente trabalho, não se considerou no cálculo do estoque o C armazenado sobre o solo, na forma de serapilheira, o que é importante e característico em florestas de coníferas (VIERA; SCHUMACHER, 2010; GOMES, 2014), graças à baixa taxa de decomponibilidade natural do material orgânico depositado por este grupo de árvores, o que pode ter sido determinante para os resultados encontrados (ROVIRA; VALLEJO, 2002; KLEINPAUL et al., 2003).

Estudando as condições químicas e o estoque de carbono no solo sob pinus no sul do Brasil, Tosin (1977) constatou uma considerável queda nos teores totais de C estocados e elevada acidez do perfil no sistema implantado, quando este foi comparado à vegetação nativa.

Em florestamento de pinus, Zinn (1998), também, verificou reduções significativas dos teores de matéria orgânica, comparado à área de Cerrado nativo, na profundidade de 0 a 5 cm, não sendo observadas diferenças nas profundidades subjacentes. Ambos os resultados são similares aos observados no presente estudo.

Avaliando-se, agora, o estoque de carbono total na camada subsuperficial do solo, percebe-se que as florestas plantadas se igualam, mas apresentaram valores inferiores aos observados sob a mata nativa (Figura 3).

O menor tempo de estabelecimento dos ecossistemas plantados em relação à floresta nativa pode ser a causa desta redução geral, como relatado por Roscoe e Machado (2002), Freixo et al. (2002) e Fernandes et al. (2012).

Para a fração lábil, observa-se a formação de dois grupos (Figura 3): (I) a mata e o pinus, com valores mais altos; e (II) os eucaliptos, com índices ligeiramente inferiores e iguais entre si. Para a fração pesada, a vegetação nativa se destaca com o maior estoque, seguida pelos eucaliptos, que se igualam novamente com um índice intermediário; e, finalmente, o pinus, com o menor estoque de carbono dessa fração.

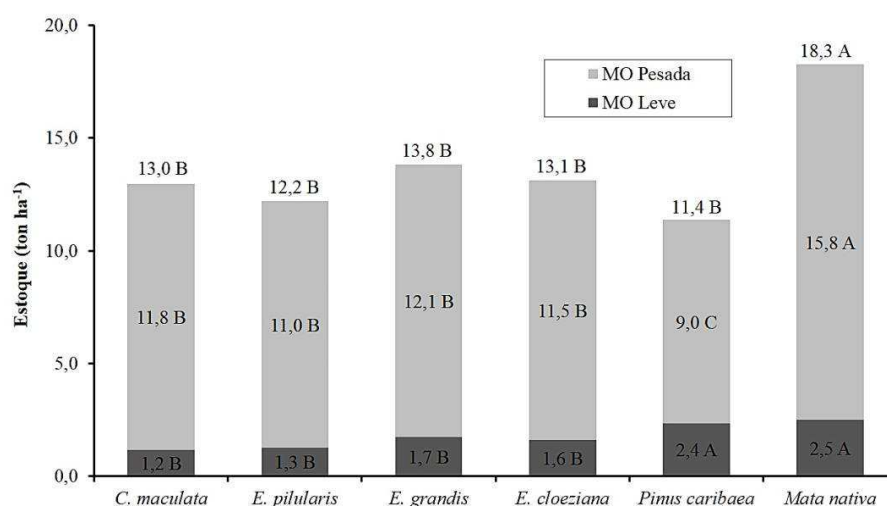


Figura 3 Estoque total de carbono orgânico do solo e nas frações leve e pesada (t ha<sup>-1</sup>) na camada de 5-10 cm. As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância

Merece destaque a considerável queda nos estoques de carbono total e respectivas frações em relação à camada de 0-5 cm de profundidade, ocorrendo um efeito de diluição nos teores (ZINN; DIMAS; SILVA, 2002; RANGEL; SILVA, 2007; MORALES et al., 2012).

Este fato ressalta a baixa mobilidade do carbono no perfil. Atendo-se à textura argilosa e ao elevado grau de estruturação do solo estudado (BRAGA et al., 2013), pode-se inferir sobre uma alta interação dos componentes da matéria



orgânica com coloides do solo, fixando-a e protegendo-a no interior de micro agregados, impedindo sua lavagem e lixiviação às camadas inferiores (SOARES, 2009; WENDLING et al., 2012).

Estudando o plantio de pinus e outros sistemas de uso do solo, Zinn (1998), também, verificou redução dos teores de matéria orgânica em profundidade, porém não foram observadas diferenças significativas abaixo dos 5 cm de profundidade, em virtude do efeito de diluição. Morales et al. (2012), também, constataram a diluição no C no perfil de solo sob *Pinus taeda*.

O baixo grau de decomponibilidade dos resíduos de pinus (ROVIRA; VALLEJO, 2002; GOMES, 2014) e a maior capacidade relativa de lixiviação de carbono no perfil (RANGEL; SILVA, 2007) podem explicar o maior estoque na fração leve em subsuperfície (GUEDES, 2005; FACHINI, 2012), igualando-se à mata nativa.

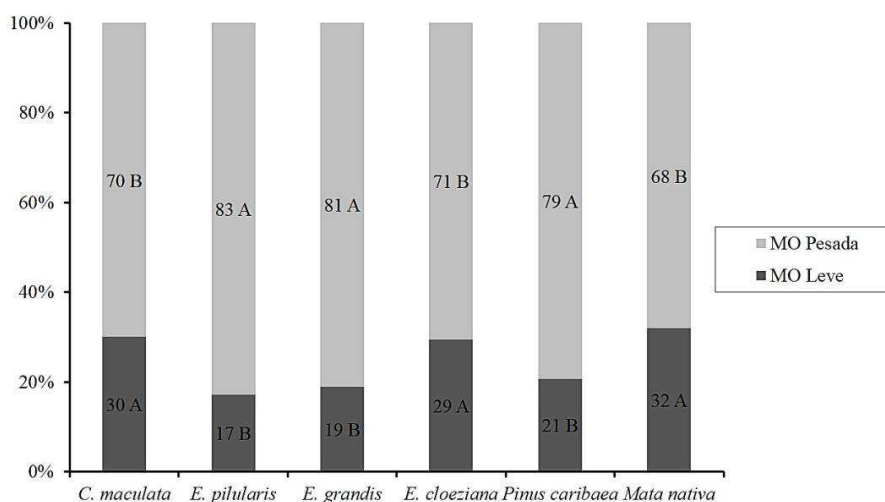


Figura 4 Relação percentual do carbono nas frações leve e pesada em função do carbono total no solo para a camada 0-5 cm. As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo Teste de Scott-Knott a 5% de significância

Focando agora no percentual das frações leve e pesada do carbono total na camada de 0-5 cm (Figura 4), observa-se o agrupamento dos ecossistemas florestais estudados em dois grandes grupos: (I) mata nativa, *C. maculata* e *E. cloeziana*, com os maiores teores de carbono na fração leve e em torno de 30%; (II) *E. grandis*, *E. pilularis* e *Pinus caribaea*, com valores inferiores e em torno dos 20%.

De forma geral, a representatividade da fração leve em relação ao carbono total foi elevada em todos os ecossistemas, com índices variando de 20 a 30% nesta porção. Parfitt et al. (1997), estudando solos argilosos de clima temperado, relataram porcentagem da fração leve entre 16 a 39 % do C total do solo. Contudo, sob cultivo agrícola em solos tropicais, Golchin et al. (1995) e Freixo et al. (2002) observaram porcentagens de carbono na fração leve variando de 1 a 4 % do total. Estas informações reforçam que as condições sob ecossistemas florestais são muito mais propícias à proteção do carbono do solo, por gerarem um microclima mais adequado às baixas taxas de decomposição (BRAGA et al., 2013; PELISSARI et al., 2013), além de produzirem resíduos mais recalcitrantes, dificultando sua rápida decomposição (ROVIRA; VALLEJO, 2002; SOUZA, 2012).

É notável a utilização da fração leve do carbono orgânico do solo como índice de avaliação de qualidade e da recuperação de ambientes alterados, haja vista que esse componente é mais sensível às alterações de uso e manejo do solo, por ser mais lábil e mais rapidamente perdido sob condições adversas (LAL; BRUCE, 1999; FREIXO et al., 2002; ROSCOE; MACHADO, 2002; ROVIRA; VALLEJO, 2002; RANGEL; SILVA, 2007). Dessa forma, pode-se dizer que, decorridas quatro décadas, o *C. maculata* e *E. cloeziana* proporcionaram a melhor condição para estocagem e proteção ao carbono orgânico do solo, em comparação com as demais espécies de eucalipto estudadas e, principalmente, ao pinus.

Outro ponto interessante a ser destacado é o bom estoque na fração leve sob pinus em profundidade, que é mais elevado que aqueles encontrados sob eucalipto, igualando-se aos valores brutos sob nativa, fato, também, observado por Guedes (2005) em seu estudo com *Pinus taeda* no sul do país. Tomando-se como referência os estoques totais, esta diferença fica, ainda, mais pronunciada, onde quase um quarto do carbono total estocado sob pinus está na fração leve (Figura 5). Vários estudos têm demonstrado que coníferas produzem um tipo de material orgânico mais granular, solúvel e móvel no perfil, proporcionando seu maior aprofundamento com o passar do tempo, como ocorreu neste estudo (ROVIRA; VALLEJO, 2002; RANGEL; SILVA, 2007; FACHINI, 2012).

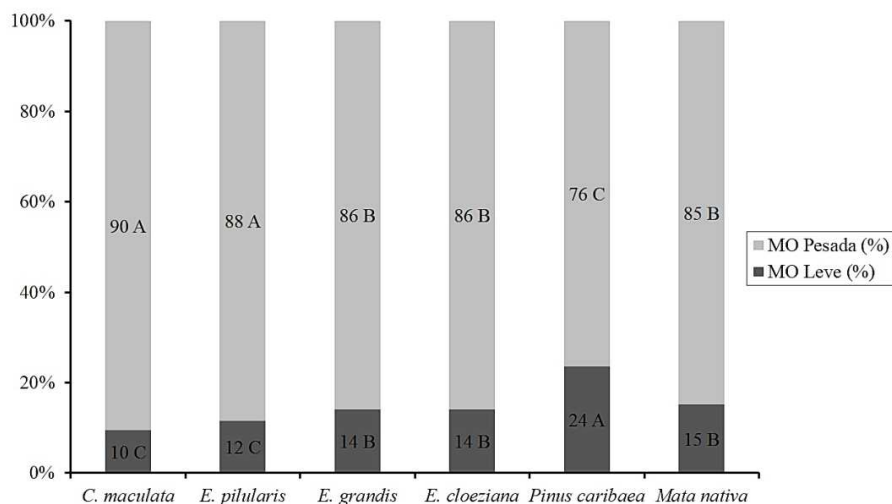


Figura 5 Relação percentual do carbono nas frações leve e pesada em função do carbono total no solo, na camada de 5-10 cm. As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo Teste de Scott-Knott a 5% de significância

#### 4.2 Fertilidade do solo e índices de desempenho das árvores

Comumente, ecossistemas florestais tropicais são encontrados sobre solos de baixa fertilidade natural, tornando-os dependentes do ciclo biogeoquímico de nutrientes (SELLE, 2007; BRAGA et al., 2014). Nessa condição, a dinâmica da matéria orgânica e a ciclagem assumem papel essencial na manutenção do equilíbrio dinâmico do sistema solo-planta (COLEMAN; OADES; UEHARA, 1989; SCHUMACHER, 1992; RACHWAL et al., 2007).

Considerando os atributos químicos do solo sob os ecossistemas florestais estudados (Tabela 3 e 5), pode-se constatar que o nível de fertilidade é extremamente baixo, notadamente se forem considerados os critérios para interpretação de análise de solo para fins agrônômicos indicados pela Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (RIBEIRO; GUIMARÃES; ALVAREZ, 1999). Apesar da baixa fertilidade do solo, de maneira geral, os eucaliptos e pinus estudados apresentaram crescimento satisfatório (Tabela 4), demonstrando a baixa exigência nutricional dessas espécies, conforme proposto por vários autores (LOPES; GARRIDO; MELLO, 1984; NOVAIS; BARROS; NEVES, 1990; BARROS et al., 1990; SOUZA, 2012).

Neste contexto, merece destaque o fato de que apesar de as florestas estudadas serem formadas sobre um solo de baixíssima fertilidade natural (ZINN; DIMAS; SILVA, 2002), no longo prazo, estas mantiveram níveis de fertilidade similares aos da mata nativa, porém abrigando áreas basais até cinco vezes maiores do que a média observada no ecossistema natural (Tabela 4), sinalizando para a elevada eficiência das espécies de eucalipto e pinus estudadas na produção de biomassa, mesmo sob condições de fertilidade do solo extremamente limitantes (BARROS; NOVAIS, 1999; BRAGA et al., 2014).

A análise dos atributos químicos do solo para a camada superficial indica maiores teores de potássio, cálcio e fósforo; elevação na soma de bases e

na CTC efetiva e potencial nos ecossistemas florestais com estoques mais elevados de carbono no solo, ou seja, sob mata nativa e *C. maculata*. Este fato vem, mais uma vez, corroborar a importância da matéria orgânica e da ciclagem na sustentabilidade da silvicultura em solos tropicais, distróficos, ácidos e altamente intemperizados (SILVA; MACHADO, 2000; KLEINPAUL et al., 2003; ARAÚJO; WENCESLAU; MARILUSA, 2007; TORRES et al., 2014).

No caso do pinus, a liberação de ácidos orgânicos pela decomposição das acículas é uma das possíveis causas da maior acidificação dos solos sob este ecossistema florestal de coníferas (GIDDENS; PARFITT; PERCIVAL, 1997). Ademais, em plantios destas essências florestais, o acúmulo de acículas na superfície do solo promove a retenção de quantidades consideráveis de nutrientes na serapilheira, o que altera o equilíbrio do sistema solo-planta (CHAVES; CORRÊA, 2005), o que ajuda a explicar o menor estoque geral de nutrientes no solo, com destaque para potássio e fósforo, e as piores condições gerais de fertilidade nesse ecossistema.

Tabela 3 Fertilidade do solo da camada de 0-5 cm sob diferentes sistemas florestais

Espécies	K	Ca	Mg	P	Prem	Al	H+Al
<i>C. maculata</i>	76,0 A	0,2 A	0,1 A	2,5 A	6,1 A	3,4 A	23,5 A
<i>E. pilularis</i>	56,0 B	0,1 B	0,1 A	2,2 A	4,9 B	2,9 B	19,2 B
<i>E. grandis</i>	53,5 B	0,1 B	0,1 A	1,9 B	4,7 B	2,6 B	17,7 C
<i>E. cloeziana</i>	42,5 C	0,1 B	0,1 A	2,4 A	6,1 A	2,7 B	21,2 B
<i>Pinus caribaea</i>	43,5 C	0,1 B	0,1 A	1,6 B	4,0 C	1,9 C	13,5 D
Mata nativa	88,0 A	0,2 A	0,1 A	2,3 A	3,7 C	2,8 B	20,4 B

Espécies	pH	SB	T	T	V	M	MO
<i>C. maculata</i>	4,0 B	0,40 B	3,79 A	23,15 A	1,99 B	88,9 A	5,8 A
<i>E. pilularis</i>	4,2 A	0,34 C	3,26 B	19,57 B	1,86 B	89,5 A	3,7 C
<i>E. grandis</i>	4,2 A	0,33 C	3,43 B	19,41 B	1,85 B	87,8 A	4,4 B
<i>E. cloeziana</i>	4,2 A	0,31 C	3,33 B	20,80 B	1,88 B	89,1 A	4,4 B
<i>Pinus caribaea</i>	4,0 B	0,36 C	2,23 C	14,37 C	2,60 A	85,0 B	3,1 D
Mata nativa	4,2 A	0,44 A	3,23 B	20,59 B	2,05 B	86,7 B	5,5 A

K: potássio ( $\text{mg dm}^{-3}$ ); Ca: cálcio ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ); Mg: magnésio ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ); P: fósforo ( $\text{mg dm}^{-3}$ ); Prem: fósforo remanescente ( $\text{mg L}^{-1}$ ); Al: alumínio ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ); H+Al: acidez potencial do solo ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ); pH: pH em água; SB: soma de bases ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ); t: capacidade de troca catiônica efetiva do solo ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ); T: capacidade de troca catiônica do solo a pH7 ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ); V: saturação por bases (%); m: saturação por alumínio (%); MO: matéria orgânica (%). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5%.

Avaliando os resultados de crescimento das árvores em cada ecossistema florestal (Tabela 4), verifica-se que as espécies *C. maculata* e *E. grandis* apresentaram as maiores áreas basais por hectare, seguidos por *E. pilularis* e *E. cloeziana*.

Tabela 4 Área basal e densidade de indivíduos para os diferentes ecossistemas florestais

Ecossistema florestal	Área basal média (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> )**	No. árvores ha <sup>-1</sup>
<i>C. maculata</i>	111,7 A	1.600
<i>E. pilularis</i>	89,2 B	1.200
<i>E. grandis</i>	118,5 A	1.450
<i>E. cloeziana</i>	89,5 B	1.350
<i>Pinus caribaea</i>	65,4 C	1.250
Mata nativa*	22,9 D	1.291

\* Segundo Nunes et al. (2003).

\*\* As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5%.

Neste contexto, ressalta o fato de o *C. maculata* possuir os maiores valores de área basal e de sobrevivência dentre os ecossistemas florestais plantados, condicionando, em geral, os melhores níveis de fertilidade e os maiores estoques de carbono no solo. Certamente, trata-se de uma espécie que se destacou dentre as demais, com indicativos de conservação e eficiência de uso dos recursos disponíveis no sistema solo-planta.

O *E. grandis*, também, destacou-se em termos de crescimento e sobrevivência, porém apresentou desempenho inferior quanto ao estoque de carbono (total e fração leve) e eficiência de uso dos nutrientes em comparação ao *C. maculata*.

Os *E. pilularis* e *E. cloeziana* apresentaram desempenho inferior em termos de crescimento, sobrevivência, estoque de carbono e eficiência de uso dos nutrientes.

O *Pinus caribaea* apresentou o pior desempenho em termos de crescimento, estoque de carbono e fertilidade do solo. A menor taxa de incremento dos pinus, em relação aos eucaliptos, é comumente observada nas condições brasileiras (MOURA et al., 1980; ZINN, 1998; MORALES et al., 2012).

Em termos de fertilidade do solo na camada subsuperficial, as condições se tornam ainda mais limitantes, com a redução nos teores globais de nutrientes em relação à camada de 0-5 cm (Tabela 5).

Tabela 5 Fertilidade do solo da camada de 5-10 cm sob diferentes sistemas florestais

<b>Espécies</b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>P</b>	<b>Prem</b>	<b>Al</b>	<b>H+Al</b>
<i>C. maculata</i>	35,0 B	0,1 A	0,1 A	1,1 B	4,8 A	1,6 A	14,5 B
<i>E. pilularis</i>	39,5 B	0,1 A	0,1 A	1,1 B	4,5 B	1,8 A	14,2 B
<i>E. grandis</i>	38,0 B	0,1 A	0,1 A	1,1 B	4,3 B	2,0 A	13,4 B
<i>E. cloeziana</i>	33,0 C	0,1 A	0,1 A	1,3 B	3,5 C	2,0 A	13,9 B
<i>Pinus caribaea</i>	29,0 C	0,1 A	0,1 A	1,3 B	3,4 C	1,1 B	9,9 C
Mata nativa	88,0 A	0,1 A	0,1 A	1,7 A	3,4 C	1,9 A	15,4 A
<b>Espécies</b>	<b>pH</b>	<b>SB</b>	<b>T</b>	<b>T</b>	<b>V</b>	<b>m</b>	<b>MO</b>
<i>C. maculata</i>	4,4 B	0,30 B	2,24 A	14,79 A	2,23 B	86,8 A	2,5 B
<i>E. pilularis</i>	4,5 A	0,31 B	2,12 A	14,79 A	1,98 B	85,6 A	2,4 B
<i>E. grandis</i>	4,6 A	0,30 B	2,31 A	14,51 A	2,09 B	86,8 A	2,7 B
<i>E. cloeziana</i>	4,6 A	0,29 B	2,26 A	14,31 A	1,99 B	87,4 A	2,5 B
<i>Pinus caribaea</i>	4,4 B	0,28 B	1,40 B	10,15 B	2,64 A	80,2 B	2,2 B
Mata nativa	4,4 B	0,34 A	2,18 A	15,59 A	2,22 B	84,6 A	3,5 A

K: potássio ( $\text{mg dm}^{-3}$ ); Ca: cálcio ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ); Mg: magnésio ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ); P: fósforo ( $\text{mg dm}^{-3}$ ); Prem: fósforo remanescente ( $\text{mg L}^{-1}$ ); Al: alumínio ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ); Al+H: acidez potencial do solo ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ); pH: pH em água; SB: soma de bases ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ); t: capacidade de troca catiônica efetiva do solo ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ); T: capacidade de troca catiônica do solo a pH7 ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ); V: saturação por bases (%); m: saturação por alumínio (%); MO: matéria orgânica (%); As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância.

Neste caso, verifica-se novamente um efeito de diluição nos teores de nutrientes no perfil (MORALES et al., 2012), tornando evidente o fator idade da mata nativa sobre os demais ecossistemas florestais plantados. O seu maior tempo de residência e maior dinâmica de ciclagem da matéria orgânica e dos nutrientes podem estar determinando tal resposta (SRIVASTAVA; SINGH, 1991; PULROLNIK et al., 2009). Os eucaliptos apresentaram valores



intermediários e similares entre si em termos de fertilidade, enquanto os pinus com os piores valores gerais.

### 4.3 Parâmetros microbiológicos do solo

Em termos de presença de microrganismos no solo na camada mais superficial, destacam-se a mata nativa e as florestas plantadas de *E. grandis* e *E. cloeziana*, seguidas por *C. maculata*, *E. pilularis* e *Pinus caribaea*, que, respectivamente, possuíram índices decrescentes de carbono na biomassa microbiana (Figura 6).

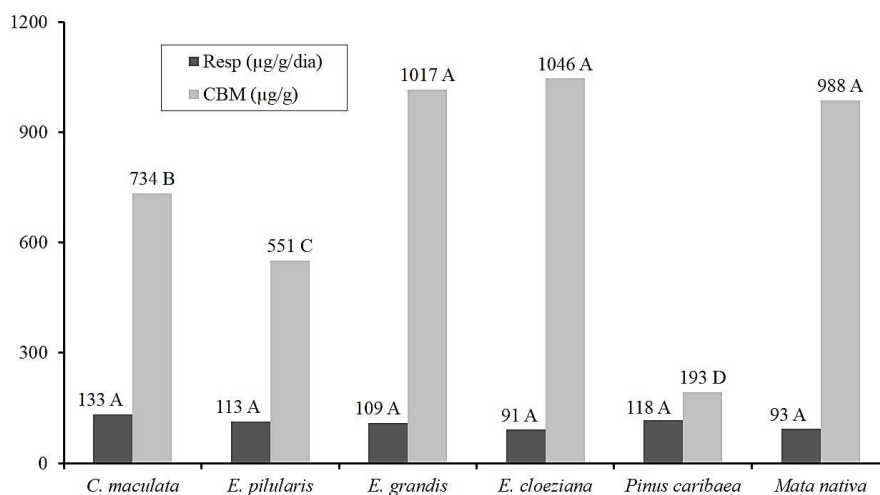


Figura 6 Parâmetros microbiológicos para camada de 5-10 cm. As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 5% de significância

Lopes et al. (2012), baseados em um amplo estudo com diversos tipos de solo, propuseram classes de interpretação, similares àquelas usadas para nutrientes e fertilidade do solo, abordando os índices de atividade

microbiológica e de carbono orgânico mais utilizados na literatura (carbono orgânico do solo, CBM, respiração basal e atividade enzimática). Considerando o nível adequado de CBM de  $405 \mu\text{g.g}^{-1}$ , proposto por esses autores, todos os ecossistemas florestais estudados apresentaram condições satisfatórias e adequadas na camada superficial, exceto para CBM sob pinus.

Com base nessa avaliação, pode-se dizer que, de maneira geral, os ecossistemas florestais plantados tendem, com o passar do tempo, estabelecer condições adequadas de vida à microbiota do solo, com ressalva ao pinus.

A biomassa microbiana do solo é comumente utilizada como um indicador biológico de qualidade do solo (GAMA-RODRIGUES, 1999). Considerando o período de tempo para ciclagem e as alterações decorrentes do manejo do ecossistema, pode-se avaliar a magnitude dos distúrbios causados pela alteração de uso e manejo do solo por meio da CBM (MATOS; WEBER, 2009; BARROS, 2013).

A respiração microbiana determina a intensidade com que os processos bioquímicos acontecem e sua avaliação é usada como indicativo da decomponibilidade da matéria orgânica, ciclagem de nutrientes e formação de agregados no solo (GUPTA; GERMIDA, 1998; ALVARENGA; DAVIDE, 1999), sendo influenciadas, entre outros fatores, pela temperatura, umidade, aeração, disponibilidade e tipo de substratos no solo (CATTELAN; VIDOR, 1990).

Provavelmente, as diferenças encontradas entre os ecossistemas florestais estudados se devem à constituição físico-química do material aportado pelos diferentes tipos de cobertura vegetal (COBO et al., 2002; FERNANDES et al., 2012), ou seja, a presença diferenciada de compostos inibidores à atividade microbiana na necromassa de algumas espécies de eucalipto e, em especial, no pinus, como compostos fenólicos e resinas, que apresentam alta toxicidade microbiana (SIQUEIRA et al., 1991).

Em estudo sobre a diversidade microbiológica do solo, em decorrência da substituição do cerrado por plantação de eucalipto, Aburjaile et al. (2011) verificaram resultados semelhantes em termos da contagem de microrganismos. Porém a quantidade de morfotipos de fungos e bactérias se apresenta em maior número nas áreas sob cerrado. Esta diferença foi explicada pelos autores como sendo causada pela formação de diferentes micro-habitat à vida dos microrganismos, de modo que cada ecossistema oferece condições diferenciadas ao crescimento bacteriano pela disponibilidade de água, difusão de gases, proteção contra predadores e, principalmente, o tipo de substrato disponível (tipo de matéria orgânica). Isso mostra, mais uma vez, a influência do tipo de material aportado na frágil dinâmica do sistema (PULROLNIK et al., 2009).

Comumente observa-se relação positiva e direta entre o CBM e os estoques de carbono na fração leve, já que essa é mais biodisponível à ação dos microrganismos do solo quanto à fração pesada (POWLSON; BROOKS; CHRISTENSEN, 1987; ROSCOE; MACHADO, 2002). Contudo, a constituição química e, principalmente, o grau de decomponibilidade dos diferentes materiais aportados por cada ecossistema pode modificar esta relação (MARCHIORI-JÚNIOR; MELO, 2000; ABURJAILE et al., 2011), como foi observado neste trabalho nas duas camadas avaliadas. A baixa correlação encontrada entre o estoque de carbono na fração leve e o CBM demonstra este fato (Tabelas 6 e 7).

Tabela 6 Resultados das análises de correlação linear simples de Pearson para as variáveis de solo analisadas na camada de 0-5 cm

Resp.	1								
CBM	-0,19	1							
% CBM	-0,20	<b>0,92</b>	1						
% C Tot.	0,01	<b>0,58</b>	0,24	1					
%C FL	-0,07	0,46	0,18	<b>0,71</b>	1				
%C FP	0,07	-0,46	-0,18	<b>-0,71</b>	<b>-1,00</b>	1			
Est. Tot.	0,01	<b>0,58</b>	0,24	<b>1,00</b>	<b>0,71</b>	<b>-0,71</b>	1		
Est. FL	-0,03	0,52	0,18	<b>0,92</b>	<b>0,93</b>	<b>-0,93</b>	<b>0,92</b>	1	
Est. FP	0,04	<b>0,56</b>	0,26	<b>0,94</b>	0,44	-0,44	<b>0,94</b>	<b>0,72</b>	1
	Resp.	CBM	% CBM	% C Tot.	%C FL	%C FP	Est. Tot.	Est. FL	Est. FP

Resp.: respiração basal; CBM: carbono de biomassa microbiana; %CBM: percentual de carbono de biomassa microbiana em função do carbono total estocado no solo na camada de 0-5 cm; %C Tot: percentual total de carbono estocado no solo na camada de 0-5 cm; %C FL: percentual de carbono na fração leve em função do carbono total estocado no solo na camada de 0-5 cm; %C FP: percentual de carbono na fração pesada em função do carbono total estocado no solo na camada de 0-5 cm; Est. Tot.: Estoque total de carbono no solo na camada de 0-5 cm; Est. FL: Estoque de carbono no solo na fração leve para a camada de 0-5 cm; Est. FP: Estoque de carbono no solo na fração pesada para a camada. Valores em destaque (negrito) são estatisticamente significativos a 5% pelo Teste T.

Tabela 7 Resultados das análises de correlação linear simples de Pearson para as variáveis de solo analisadas na camada de 5-10 cm

Resp.	1								
CBM	0,43	1							
% CBM	0,37	<b>0,77</b>	1						
% C Tot.	0,00	0,53	0,33	1					
%C FL	0,05	0,07	-0,52	-0,01	1				
%C FP	-0,05	-0,07	0,52	0,01	-1,00	1			
Est. Tot.	0,00	0,53	0,33	<b>1,00</b>	-0,01	0,01	1		
Est. FL	0,04	0,39	-0,22	<b>0,59</b>	<b>0,79</b>	<b>-0,79</b>	<b>0,59</b>	1	
Est. FP	-0,01	0,49	0,43	<b>0,98</b>	-0,22	0,22	<b>0,98</b>	0,41	1
	Resp.	CBM	% CBM	% C Tot.	%C FL	%C FP	Est. Tot.	Est. FL	Est. FP

Resp.: respiração basal; CBM: carbono de biomassa microbiana; %CBM: percentual de carbono de biomassa microbiana em função do carbono total estocado no solo na camada de 5-10 cm; %C Tot: percentual total de carbono estocado no solo na camada de 5-10 cm; %C FL: percentual de carbono na fração leve em função do carbono total estocado no solo na camada de 5-10 cm; %C FP: percentual de carbono na fração pesada em função do carbono total estocado no solo na camada de 5-10 cm; Est. Tot.: Estoque total de carbono no solo na camada de 5-10 cm; Est. FL: Estoque de carbono no solo na fração leve para a camada de 5-10 cm; Est. FP: Estoque de carbono no solo na fração pesada para a camada. Valores em destaque (negrito) são estatisticamente significativos a 5% pelo Teste T.

Contudo, em termos práticos, pode-se dizer que todos os sistemas se encontram em condições similares entre si e satisfatórias ao desenvolvimento microbiológico até a profundidade de 10 cm, considerando os índices propostos por Lopes et al. (2012).

Myers et al. (1994) e Souza (2012) relatam que a resistência à decomposição é maior para os polímeros orgânicos recalcitrantes (ligninas, suberinas, resinas e ceras). Assim, a não correspondência entre os maiores teores de carbono na fração leve e o CBM podem estar associados à qualidade dos resíduos adicionados ao solo (ALVARENGA; DAVIDE, 1999), que, provavelmente, apresentam maiores proporções de carbono mais resistente do

ponto de vista químico, como também foi observado sob eucalipto, por Mahakur e Behera (1999), e sob pinus, por Nsabimana e colaboradores (2004).

Nesta linha, os galhos e as acículas de pinus possuem compostos orgânicos, como extrativos e resinas, em maior quantidade, o que dificulta e especializa o processo de decomposição, restringindo-a a alguns microrganismos específicos (ROVIRA; VALLEJO, 2002; KLEINPAUL et al., 2003). Zinn (1998), em seu estudo sob pinus, também, verificou índices de carbono da biomassa microbiana muito baixos em relação a vários outros sistemas de uso do solo (cultivo anual, perene, pastagem e florestas plantadas e nativas).

De forma análoga, provavelmente, o baixo índice de CBM, observado no solo sob *C. Maculata*, assim como o alto valor sob *E. Grandis*, deve-se ao grau de recalcitrância dos materiais aportados por cada uma dessas espécies, diferenciando a dinâmica natural de ciclagem, como discutiram Rachwal et al. (2007), em seu trabalho com essências florestais nativas e plantadas. Apesar do maior estoque de carbono total e de fração leve encontrados nas parcelas de *C. maculata*, boa parte deste material aportado parece não estar prontamente biodisponível aos microrganismos decompositores, conforme proposto por Siqueira et al. (1991).

Apesar da diferença no CBM entre os diferentes ecossistemas florestais estudados, percebe-se que todos apresentaram níveis similares de respiração basal, em torno de 110  $\mu\text{g dia g}^{-1}$  na camada de 0-5 cm. Segundo os critérios propostos por Lopes e colaboradores, valores de respiração basal acima de 100  $\mu\text{g dia g}^{-1}$  conferem condição adequada ao sistema.

Os valores similares de respiração basal dos ecossistemas podem estar diretamente relacionados a dois fatores básicos: a estabilidade dos sistemas (ROSCOE; MACHADO, 2002), onde, com o passar do tempo e a manutenção das condições de solo, há uma tendência de homogeneização do índice de atividade microbiana, segundo aos aspectos ambientais (WINK et al., 2013); ou,

ainda, ao processo diferenciado de estresse fisiológico que age sobre os microrganismos entre sistemas, ou seja, à energia despendida necessária para processar diferentes tipos de materiais, condicionando um maior ou menor esforço dos mesmos para obtenção de energia (FERNANDES et al., 2012).

Em condições de estresse ambiental (nutricional, térmico, hídrico), os microrganismos derivam maior porção dos recursos energéticos disponíveis no sistema para manutenção de mecanismos celulares de convivência com as condições estressantes, ou seja, maior custo de manutenção ou maior taxa de respiração, em detrimento ao crescimento da biomassa (SCHIMMEL; BALSER; WALLENSTEIN, 2007).

Segundo Gama-Rodrigues et al. (2008), em solos com adição de serapilheira de baixa qualidade nutricional, a biomassa microbiana encontra-se sob estresse e é incapaz de utilizar totalmente o carbono orgânico (GOMES, 2014). No presente estudo, isto pode ter ocorrido no sistema sob *C. maculata*, ou seja, o menor valor relativo observado para esta espécie, mesmo com elevado estoque de carbono nas frações mais lábeis, indica uma provável condição de estresse para a população microbiana, decorrente da qualidade de substrato orgânico de formação de serapilheira, ou seja, a baixa taxa de biodisponibilidade deste material (FERNANDES et al., 2012).

Baixos teores de nutrientes no material vegetal, geralmente, correlacionam-se com baixas taxas de decomposição (COBO et al., 2002). Materiais com elevada relação C/N (>25) e altos teores de lignina e polifenóis sofrem decomposição mais lenta (MYERS et al., 1994). A serapilheira de eucalipto e pinus apresentam alta relação C/N, entre 30 e 100, além de alta relação C/P e C/S, o que contribui para lenta decomposição do resíduo (SKORUPA, 2001). Dessa forma, esses fatores favorecem o incremento nos estoques de carbono total e suas frações constituintes, relevantes no processo de sequestro de carbono (PEGORARO, 2007).

Considerando-se a relação percentual entre o CBM e o carbono total para esta camada (Figura 7), observa-se a tendência de formação do seguinte agrupamento: (I) *E. cloeziana* e *E. grandis*; (II) mata nativa; (III) *E. pilularis* e *C. maculata*; e (IV) *Pinus caribaea*. Neste caso, pode-se inferir que os povoamentos de *E. cloeziana* e *E. grandis* proporcionaram melhores condições, em termos de microclima e substrato à vida da microbiota do solo (ROSCOE; MACHADO, 2002), em comparação aos demais ecossistemas florestais, inclusive, superando até o valor encontrado sob a mata nativa.

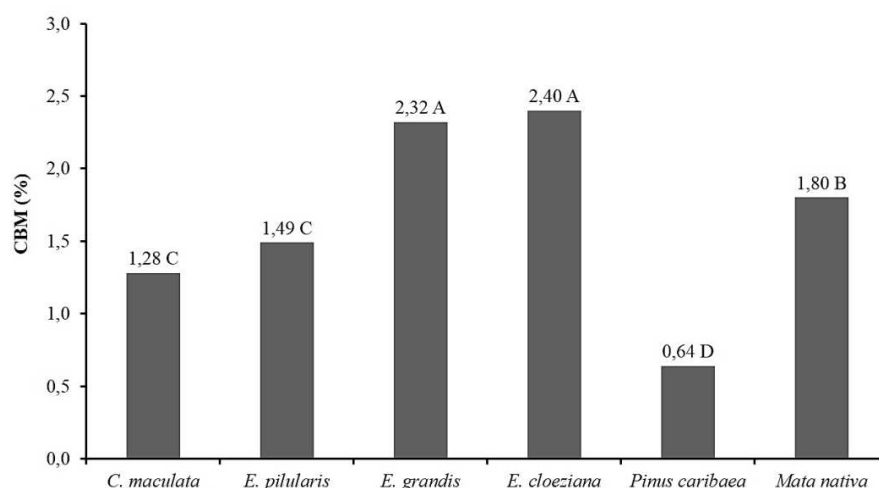


Figura 7 Relação percentual do carbono da biomassa microbiana em função do carbono total no solo para a camada 0-5 cm. As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo Teste de Scott-Knott a 5% de significância

Avaliando-se em profundidade, constatou-se uma redução clara na presença de microrganismos no solo, acompanhando a tendência de queda nos estoques de matéria orgânica disponível (Figura 8).

Os dados de CBM e respiração mostraram mais uma vez a vegetação nativa comporta a maior biomassa de microrganismos no solo, seguida pelo *E.*



*pilularis* e os demais ecossistemas. Para respiração basal, *E. pilularis* e *E. grandis* foram ligeiramente superiores aos demais sistemas, que se igualaram num patamar inferior nesta camada.

O CBM teve queda global em comparação com os dados levantados em superfície e a respiração basal manteve-se relativamente estável, com também uma leve tendência de queda, como também observaram Gama-Rodrigues et al. (2008).

Segundo o sistema de classificação proposto por Lopes et al. (2012), os índices de CBM do presente trabalho foram considerados adequados a 5-10 cm de profundidade para a mata nativa, *E. pilularis*, *Pinus caribaea* e *E. grandis*; e moderados para *C. maculata* e *E. grandis*. Para respiração basal foram adequados os sistemas sob *E. cloeziana* e *E. pilularis*; sendo os demais com valores tidos como moderados.

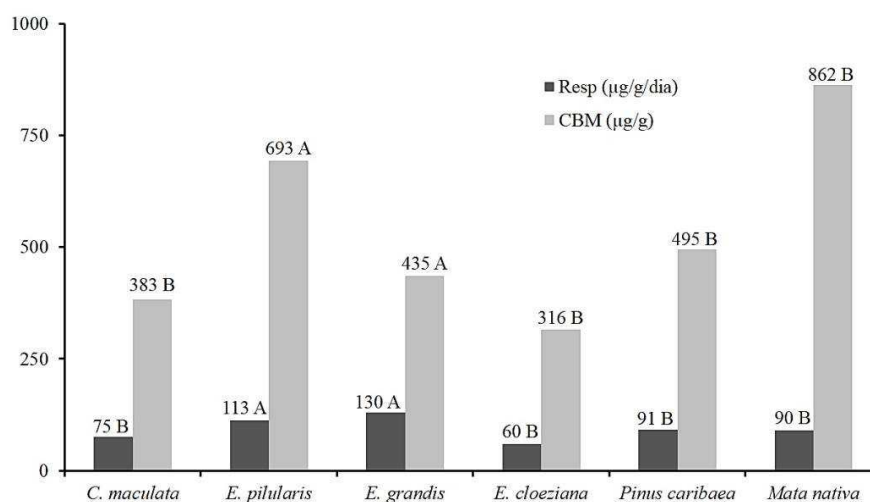


Figura 8 Parâmetros microbiológicos para camada de 5-10 cm. As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância

É interessante notar que o carbono da biomassa microbiana permanece inferior sob *C. maculata* em relação à quase todos os demais sistemas, mesmo com os elevados estoques de carbono total e na fração leve, reafirmando a baixa decomponibilidade natural dos resíduos produzidos por essa espécie.

Percebe-se, ainda, que, na subsuperfície em geral, os índices melhoram para pinus, principalmente CBM, já que o contato e a ação inibidora dos compostos fenólicos das acículas depositadas na serapilheira seriam menores na profundidade, possibilitando um aumento da microflora do solo (KLEINPAUL et al., 2003).

Na camada de 5-10 cm, também, houve uma redução nos valores percentuais relativos de CBM em relação aos valores encontrados para 0-5 cm (Figura 9). As condições de sobrevivência em subsuperfície são mais limitantes à vida dos microrganismos (ZINN; LAL; RESCK, 2005), reafirmando a tendência geral dos resultados de diluição de efeito com a profundidade (MARCHIORI-JÚNIOR; MELO, 2000; PULROLNIK et al., 2009).

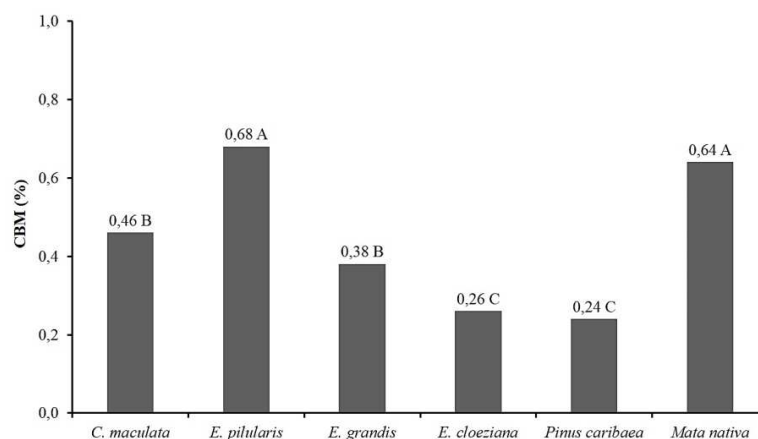


Figura 9 Relação percentual do carbono da biomassa microbiana em função do carbono total no solo na camada de 5-10 cm. As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância

## 5 CONCLUSÕES

Considerando a atividade microbiológica, a quantidade e qualidade do carbono orgânico e a fertilidade do solo sob ecossistemas florestais plantados de eucalipto, pinus e sob mata nativa pode-se concluir que:

A mata nativa apresentou as melhores condições gerais de solo em termos de acúmulo e qualidade de carbono, biomassa, atividade microbiana e fertilidade.

Os eucaliptos apresentaram condições de solo próximas àquelas encontradas sob mata nativa, com destaque para as espécies *C. maculata* e *E. cloeziana*.

O *C. maculata* foi a espécie com maior crescimento das árvores e, também, o sistema que proporcionou os maiores estoques globais de carbono no solo dentre os ecossistemas florestais plantados, contudo esta fração não se encontrou prontamente biodisponível à microbiota do solo.

Sob *E. cloeziana* foram encontrados índices de estoque ligeiramente inferiores, porém este fato foi compensado por maior biomassa e atividade microbiana. Dessa forma, pode ser considerado o melhor ecossistema plantado, do ponto de vista ecológico de dinâmica da matéria orgânica no solo.

O *Pinus caribaea* var. *hondurensis* foi o sistema menos eficiente do ponto de vista de estocagem de carbono, fertilidade e oferecimento de condições à vida no solo. Nesse sistema verificou-se maior aprofundamento do carbono no perfil.

O nível de fertilidade do solo, sob todos os sistemas, foi extremamente baixo. As melhores condições foram observadas para aqueles ecossistemas que mantiveram os maiores estoques de carbono orgânico no solo, particularmente, a mata nativa e *C. maculata*.

Os estoques de carbono, a presença de microrganismos e a fertilidade do solo na camada de 5-10 cm foram consideravelmente menores em relação à camada superficial, proporcionando diferenças relativas inferiores para os ecossistemas florestais estudados.

## REFERÊNCIAS

ABURJAILE, S. B. et al. Pesquisa e caracterização da diversidade microbiológica do solo, na região de São José do Buriti-MG, em decorrência da substituição de cobertura florestal nativa (Cerrado) por plantações de eucalipto. **Ciência Equatorial**, Amapá, v. 1, n. 2, p. 69-81, jul. 2011.

ALEF, K.; NANNIPIERI, P. **Methods in applied soil microbiology and biochemistry**. London: Academic Press, 1995.

ALVARENGA, M. I. N.; DAVIDE, A. C. Características físicas e químicas de um Latossolo Vermelho-Escuro e a sustentabilidade de agroecossistemas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Brasília, v. 23, n. 4, p. 933-942, 1999.

ANDERSON J. M.; INGRAM J. S. I. **Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods**. Wallingford: CAB International, 1989.

ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. Ratios of microbial biomass carbon to total organic matter in arable soils. **Soil Biology Biochemistry**, Elmsford, v. 21, n. 4, p. 471-479, 1989.

ANTONANGELO, A.; BACHA, C. J. C. As fases da silvicultura no Brasil. **Revista Brasileira de Economia**, Rio de Janeiro, v. 52, n. 1, p. 207-209, 1998.

ARAÚJO, R.; WENCESLAU, J. G.; MARILUSA, P. C. L. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob cerrado nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 5, p. 1099-1108, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTOS DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário estatístico ABRAF 2013: ano base 2012**. Brasília: ABRAF, 2013.

BARROS, J. D. S. Contribuições da matéria orgânica do solo para mitigar as emissões agrícolas de gases de efeito estufa. **Polêmica**, Lima, v. 12, n. 2, p. 341-351, abr./jun. 2013.

BARROS, N. F. et al. Algumas relações solo-espécies de eucalipto em suas condições naturais. In: BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. (Ed.). **Relação solo-eucalipto**. Viçosa: Folha de Viçosa, 1990. p. 1-24.

BARROS, N. F.; BRANDI, R. M. Influência de três espécies florestais sobre a fertilidade de solo de pastagem em viçosa, MG. **Brasil Florestal**, Rio de Janeiro, v. 21, n. 6, p. 24-29, 1975.

BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. Eucalipto. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARAES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Ed.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5 aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 25-32.

BAYER, C. et al. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 86, n. 2, p. 237-245, Apr. 2006.

BRAGA, R. M. et al. Long-term impact of eucalyptus on the chemical characteristics of distroferic red latosol. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, Oxford, v. 8, n. 17, p.313-322, Nov. 2014.

BRAGA, R. M. et al. Physical attributes of distroferic red latosol under four eucalypt species over the long term. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 37, n. 4, p. 313-322, jul./ago. 2013.

BRASILIS. **A história de madeira**. [S.l.: s.n.], 2007. Disponível em: <<http://www.brasilis.pro.br/portugues/muirabrasilis/historia/historia.htm>>. Acesso em: 22 set. 2009.

BREYMEYER, A.; DEGORSKI, M.; REED, D. Decomposition of pine-litter organic matter and chemical properties of upper soil layers: transect studies. **Environmental Pollution**, Barking, v. 98, n. 3, p. 361-367, Dec. 1997.

CARNEIRO, M. A. C. et al. Carbono orgânico, nitrogênio total, biomassa e atividade microbiana do solo em duas cronossequências de reabilitação após a mineração de bauxita. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 621-632, mar./abr. 2008.

CATTELAN, A. J.; VIDOR, C. Flutuações na biomassa, atividade e população microbiana do solo, em função de variações ambientais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 14, p. 133-142, 1990.

CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOLOS. **Manual de métodos de análise de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 1997.

CHAVES, R. Q.; CORRÊA, G. F. Macronutrientes no sistema solo - *Pinus caribaea* Morelet em plantios apresentando amarelecimento das acículas e morte de plantas. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 5, p. 691-700, set./out. 2005.

CHRISTENSEN, B. T. Organic matter in soil: structure, function and turnover. **Plant Production**, Tjele, n. 30, p. 01-95, 2000.

COBO, J. G. et al. Nitrogen mineralization and crop uptake from surface applied leaves of green manure on a tropical volcanic-ash soil. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 36, n. 2, p. 87-92, Sept. 2002.

COLEMAN, D. C.; OADES, J. M.; UEHARA, G. **Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems**. Honolulu: University of Hawaii Press, 1989.

CONCEIÇÃO, P. C. et al. Fracionamento densimétrico com politungstato de sódio no estudo da proteção física da matéria orgânica em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 541-549, mar./abr. 2008.

CORREIA, M. E. F.; ANDRADE, A. G. Formação de serapilheira e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999. p. 197-226.

DANTAS, A. A. A.; CARVALHO, L. G.; FERREIRA, E. Classificação e tendências climáticas em Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 6, p. 2163-2171, nov./dez.2007.

DENARDIN, R. B. N. et al. Estoque de carbono no solo sob diferentes formações florestais, Chapecó-SC. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, n. 1, p. 59-69, jan./mar. 2014.

DIAS, H. C. T.; OLIVEIRA-FILHO, A. T. Fenologia de quatro espécies arbóreas de uma Floresta Estacional Semidecídua Montana em Lavras, MG. **Cerne**, Lavras, v. 2 n. 1, p. 66-88, 1996.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W. et al. (Ed.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: SSSAJ, 1994. p. 3-22.

DRUMOND, M. A. et al. Distribuição de biomassa e de nutrientes em diferentes coberturas florestais e pastagem na região do médio Rio Doce-MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 21, n. 2, p. 175-186, abr./jun. 1997.

ESTADOS UNIDOS. Department of Energy. **Sequestration of carbon: state of the science**. Washington: Department of Energy, 1999.

FACHINI, L. **Frações e estoques de carbono orgânico em solo do planalto catarinense cultivado com pinus**. 2012. 51 p. Dissertação (Mestrado em Manejo do Solo) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2012.

FEIGL, B. J. et al. Soil microbial biomass in Amazonian soils: Evaluation of methods and estimates of pool sizes. **Soil Biology & Biochemistry**, Elmsford, v. 27, n. 1, p. 1467-1472, Nov. 1995.

FERNANDES, M. M. et al. Matéria orgânica e biomassa microbiana em plantios de eucalipto no Cerrado Piauiense. **Revista Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 19, n. 4, p. 453-459, out./dez. 2012.

FERREIRA, D. F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Symposium**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 36-41, nov./dez. 2008.

FONSECA, S. et al. Alterações em um Latossolo sob eucalipto, mata natural e pastagem. I. Propriedades físicas e químicas. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 17, n. 3, p. 271-288, 1993.

FREIXO, A. A. et al. Estoques de carbono e nitrogênio e distribuição de frações orgânicas de Latossolo do Cerrado sob diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, p. 425-434, 2002.

GAMA-RODRIGUES, E. F. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo, ecossistema tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Genesis, 1999. p. 227-243.

GAMA-RODRIGUES, E. F. et al. Atributos químicos e microbianos de solos sob diferentes coberturas vegetais no norte do Estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 1521-1530, 2008.

GAMA-RODRIGUES, E. F. et al. Nitrogênio, carbono e atividade da biomassa microbiana do solo em plantações de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 6, p. 893-901, nov./dez. 2005.

GIDDENS, K. M.; PARFITT, R. L.; PERCIVAL, H. J. Comparison of some soil properties under *Pinus radiata* and improved pasture. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, Wellington, v. 40, n. 3, p. 409-416, 1997.



GOLCHIN, A. et al. Structural and dynamic properties of soil organic matter as reflected by  $^{13}\text{C}$  natural abundance, pyrolysis mass spectrometry and solid-state  $^{13}\text{C}$  NMR spectroscopy in density fractions of an Oxisol under forest and pasture. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v. 33, n. 1, p. 59-76, 1995.

GOMES, M. V. **Estoque de carbono e emissão de gases do efeito estufa em Cambissolo sob plantações de *Pinus taeda***. 2014. 92 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

GUEDES, S. F. F. **Carbono orgânico e atributos químicos do solo em áreas florestais no planalto dos campos gerais, SC**. 2005. 58 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2005.

GUO, L. B.; GIFFORD, R. M. Soil carbon stocks and use change: a meta analysis. **Global Change Biology**, Oxford, v. 8, n. 4, p. 345-360, Apr. 2002.

GUPTA, V. V. S. R.; GERMIDA, J. Distribution of microbial biomass and its activity in different soil aggregate size classes as affected by cultivation. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 20, n. 8, p. 777-786, 1998.

HASSE, G. **Eucalipto: histórias de um imigrante vegetal**. Porto Alegre: Já Editores, 2006.

JANZEN, H. H. et al. Light-fraction organic matter in soils from long-term crop rotations. **Soil Science Society of America**, Madison, v. 56, n. 6, p. 1799-1806, 1992.

KLEINPAUL, I. S. et al. Acúmulo de serapilheira em povoamentos de pinus e eucaliptos no campus da UFSM. In: CONGRESSO FLORESTAL ESTADUAL DO RIO GRANDE DO SUL, 9., 2003, Nova Prata. **Anais...** Nova Prata: Prefeitura Municipal, 2003.

KRONKA, F. J. N. et al. **Inventário florestal da vegetação natural do estado de São Paulo**. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente; Instituto Florestal, 2005.

LAL, R.; BRUCE, J. P. The potential do world cropland soils to sequester C and mitigate the greenhouse effect. **Environmental Science & Policy**, Exeter, v. 2, n. 2, p. 177-185, May 1999.

LEITE, F. P. et al. Alterations of soil chemical properties by eucalyptus cultivation in five regions in the Rio Doce valley. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 3, p. 821-831, maio/jun. 2010.

LIMA, A. M. N. et al. Frações da matéria orgânica do solo após três décadas de cultivo de eucalipto no vale do Rio Doce - MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 1053-1063, 2008.

LIMA, W. P. **O reflorestamento com eucalipto e seus impactos ambientais**. São Paulo: ARTPRESS, 1987.

LOPES, A. A. C. et al. Interpretation of microbial soil indicators as a function of crop yield and organic carbon. **Soil Science Society of America**, Madison, v. 77, n. 2, p. 461-472, June 2012.

LOPES, M. I. M. S.; GARRIDO, M. A. O.; MELLO, F. A. F. Influência do cultivo de Pinus sobre a matéria orgânica e propriedades químicas de um latossolo vermelho escuro primitivamente sob vegetação de cerrado, II: Efeitos sobre o pH e teores de H. **Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, Piracicaba, v. 41, n. 1, p. 155-170, 1984.

LUNDQUIST, E. J. et al. Changes in microbial biomass and community composition, and soil carbon and nitrogen pools after incorporation of Rye into three California agricultural soils. **Soil Biology Biochemistry**, Amsterdam, v. 31, n. 2, p. 221-236, Feb. 1999.

MAHAKUR, D.; BEHERA, N. Decomposition of *Eucalyptus* leaf litter in field conditions. **Ecology Environment and Conservation**, Washington, v. 5, p. 65-68, 1999.

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

MARINARI, S. et al. Humification-mineralization pyrolytic indices and carbon fractions of soil under organic and conventional management in central Italy. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 92, n. 1-2, p. 10-17, Jan. 2007.

MARTINS, G. M. et al. Avaliação de atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférico sob diferentes povoamentos florestais. **Cerne**, Lavras, v. 8, n. 1, p. 32-41, 2002.

MATOS, E. P. N. B.; WEBER, O. B. Avaliação de indicadores biológicos de qualidade do solo de diferentes agrossistemas comparados com uma área de mata nativa no Ceará In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE ECOLOGIA, 3., 2009, São Lourenço. **Anais...** São Lourenço: Sociedade de Ecologia do Brasil, 2009.

MELO, J. T.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C. Efeito de procedências de *Eucalyptus cloeziana* no sobre os teores de nutrientes e de carbono orgânico em solo de Cerrado. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, Planaltina, n. 155, p. 5-16, ago. 2005.

MELO, V. F. et al. Balanço nutricional, eficiência de utilização e avaliação da fertilidade do solo em P, K, Ca e Mg em plantios de eucalipto no Rio Grande do Sul. **Instituto de Pesquisa e Estudo Florestais**, Piracicaba, v. 48-49, p. 8-17, jan./dez. 1995.

MENDHAM, D. S.; O'CONNELL, A. M.; GROVE, T. S. Organic matter characteristics under native forest, long-term pasture, and recent conversion to eucalyptus plantations in Western Australia: microbial biomass, soil respiration, and permanganate oxidation. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v. 40, n. 5, p. 859-872, Aug. 2002.

MIELNICZUK, J. et al. Manejo de solo e culturas e sua relação com os estoques de carbono e nitrogênio do solo. In: CURI, N. et al. **Tópicos em ciência do solo: volume 3**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. p. 209-248.

MONTERO, L. L.; DELITTI, W. B. C. Silvicultura em solos de cerrado: implicações para o acúmulo de carbono. In: CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 8., 2007. **Anais...** Caxambu: Embrapa, 2007.

MORALES, C. A. S. et al. Carbono orgânico e atributos químicos do solo em florestas de *Pinus taeda*. **Scientia Plena**, Santa Maria, v. 8, n. 4, p. 1-9, fev. 2012.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: Editora da UFLA, 2003.

MOURA, V. P. G. et al. **Avaliação de espécies e procedências de *Eucalyptus* em Minas Gerais e Espírito Santo**: resultados parciais. Brasília: Embrapa, 1980. (Boletim de Pesquisa, 1).

MYERS, R. J. K. et al. The synchronisation of nutrient mineralisation and plant nutrient demand. In: WOOMER, P. L.; SWIFT, M. J. (Ed.). **The biological management of tropical soil fertility**. New York: Wiley-Sayce Publications, 1994. p. 81-112.

NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L. Nutrição mineral do eucalipto. In: BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. (Ed.). **Relação solo-eucalipto**. Viçosa: Folha de Viçosa, 1990. p. 25-98.

NSABIMANA, D.; HAYNES, R. J.; WALLIS, F. M. Size, activity and catabolic diversity of the soil microbial biomass as affected by land use. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 26, n. 2, p. 81-92, June 2004.

NUNES, Y. R. F. et al. Variações da fisionomia, diversidade e composição de guildas da comunidade arbórea em um fragmento de floresta semidecidual em Lavras, MG. **Acta Botanica Brasilica**, São Paulo, v. 17, n. 2, p. 213-229, abr./jun. 2003.

OKI, V. K. **Impactos da colheita de Pinus taeda sobre o balanço hídrico, a qualidade da água em microbacias**. 2002. 71 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura de “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2002.

OLIVEIRA FILHO, A. T.; SCOLFORO, J. R. S.; MELLO, J. M. Composição florística e estrutura comunitária de um remanescente de floresta semidecidual montana em Lavras, MG. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 17, n. 2, p. 167-182, dez. 1994.

PARFITT, R. L. et al. Effects of clay minerals and land use on organic matter pools. **Geoderma**, Amsterdam, v. 75, n. 1-2, p. 1-12, Jan. 1997.

PEGORARO, R. F. **Sequestro de carbono e alterações bioquímicas da matéria orgânica de solos cultivados com eucalipto**. 2007. 140 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.

PELLISSARI, A. L. et al. Atributos físico-hídricos e estoque de carbono em Neossolo Quartzarênico sob plantio de Eucalyptus urograndis. **Nativa**, Cuiabá, v. 1, n. 1, p. 24-28, out./dez. 2013.

PEREIRA, B. A. S. Introdução de coníferas no Brasil, um esboço histórico. **Caderno de Geociências**, Brasília, n. 4, p. 25-38, 1990.

POGGIANI, F. et al. Quantificação da deposição de folhede em talhões experimentais de *Pinus taeda*, *Eucalyptus viminalis* e *Mimosa scabrella* plantados em uma área degradada pela mineração do xisto betuminoso. **Instituto de Pesquisa e Estudo Florestais**, Piracicaba, n. 37, p. 21-29, 1987.

POWLSON, D. S.; BROOKS, P. C.; CHRISTENSEN, B. T. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of change in total soil organic matter due to straw incorporation. **Soil Biology Biochemistry**, Amsterdam, v. 19, n. 2, p.159-164, 1987.

PULROLNIK, K. et al. Estoques de carbono e nitrogênio em frações lábeis e estáveis da matéria orgânica de solos sob eucalipto, pastagem e cerrado no Vale do Jequitinhonha – MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 5, p. 1125-1136, set./out. 2009.

RACHWAL, M. F. G. et al. Manejo dos resíduos da colheita de acácia-negra e a sustentabilidade do sítio. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 17, n. 2, p. 137-144, abr./jun. 2007.

RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 6, p. 609-623, nov./dez. 2007.

RESENDE, M.; KER, J.; BAHIA FILHO, A. F. C. Desenvolvimento sustentado no cerrado. In: ALVAREZ V., V. H.; FONTES, L. E. F.; FONTES, M. P. F. (Ed.). **O solo nos grandes domínios morfo-climáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa: SBCS, 1996. p. 169-199.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. V. H. (Ed.). **Recomendação para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª Aproximação**. Viçosa: Comissão de fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999.

RICE, C. W.; MOORMAN, T. B.; BEARE, M. Role of microbial biomass carbon and nitrogen in soil quality. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J. (Ed.). **Methods for assessing soil quality**. Madison: Soil Science Society of America, 1996. p. 203-216.

ROSCOE, R.; MACHADO, P. L. O. A. **Fracionamento físico do solo em estudos da matéria orgânica**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002.

ROVIRA, P.; VALLEJO, V. R. Labile and recalcitrant pools of carbon and nitrogen in organic matter decomposing at different depths in soil: an acid hydrolysis approach. **Geoderma**, Amsterdam, v. 107, n. 1-2, p. 109-141, May 2002.

SCHIMEL, J.; BALSER, T. C.; WALLENSTEIN, M. Microbial stress-response physiology and its implications for ecosystem function. **Ecology**, Washington, v. 88, n. 6, p. 1386-1394, June 2007.

SCHUMACHER, V. M. **Aspectos da ciclagem de nutrientes e do microclima em talhões de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh, *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus toreliana* F. Muell.** 1992. 87 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura de “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 1992.

SCOLFORO, J. R. S. **O mundo do eucalipto: os fatos e mitos de sua cultura.** Rio de Janeiro: Mar de Idéias Navegação Cultural, 2008.

SELLE, G. L. Ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 23, n. 4, p. 29-39, out./dez. 2007.

SHIMIZU, J. H. Pinus na silvicultura brasileira. **Revista Madeira**, Curitiba, v. 16, n. 99, p. 4-14, set. 2006.

SILVA, C. A.; MACHADO, P. L. O. A. **Sequestro e emissão de carbono em ecossistemas agrícolas: estratégias para o aumento dos estoques de matéria orgânica em solos tropicais.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2000. (Documentos, 19).

SILVA, E. F. **Frações da matéria orgânica e decomposição de resíduos da colheita de eucalipto em solos de tabuleiros costeiros da Bahia.** 2008. 124 p. Tese (Doutorado em Solo e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

SILVA, J. C. **Paradigmas das plantações de eucalipto: no limiar entre o bom senso e a insensatez.** Viçosa: Arka, 2009.

SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S. Matéria orgânica do solo. In: VARGAS, M. A. T.; HUNGRIA, M. (Ed.). **Biologia dos solos dos cerrados.** Planaltina: Embrapa, 1997. p. 467-524.

SILVA, L. G. et al. Atributos físicos, químicos e biológicos de um Latossolo de cerrado em plantio de espécies florestais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 6, p. 613-620, jun. 2009.

SIQUEIRA, J. O. et al. Significance of phenolic compounds in plant-soil microbial systems. **Critical Reviews in Plant Sciences**, Boca Raton, v. 10, n. 1, p. 63-121, 1991.

SIX, J. et al. Stabilization mechanisms of soil organic matter: implications for C-saturation of soils. **Plant and Soil**, The Hague, v. 241, n. 2, p. 155-176, Apr. 2002.

SKORUPA, A. L. A. **Acumulação e decomposição de serapilheira em povoamento de eucalipto, na Região do Baixo do Rio Doce-MG**. 2001. 64 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

SOARES, E. M. B. **Frações da matéria orgânica e composição molecular de substâncias húmicas de solos sob cultivo de eucalipto em biomas distintos**. 2009. 136 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

SOUZA, I. F. **Decomposição de resíduos da colheita e transferência de carbono para o solo em plantações de eucalipto**. 2012. 70 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.

SRIVASTAVA, S. C.; SINGH, J. S. Microbial C, N and P in dry tropical forest soils: effects of alternate land-user and nutrient flux. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 23, n. 2, p. 117-124, 1991.

STEVENSON, F. J. **Humus chemistry: genesis, composition and reactions**. 2. ed. New York: Willey & Sons, 1994.

SWIFT, R. S. Sequestration of carbon by soil. **Soil Science**, Elmsford, v. 166, p. 858-871, 2001.

TORRES, C. M. M. E. et al. Sistemas agroflorestais no Brasil: uma abordagem sobre a estocagem de carbono. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 34, n. 79, p. 235-244, jul./set. 2014.

TOSIN, J. C. **Influência do *Pinus elliottii* Engelm, da *Araucaria angustifolia* (Bert) O. KTZE e da mata nativa sobre a atividade de microflora do solo.** 1977. 111 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1977.

TRUMBORE, S. Age of soil organic matter and soil respiration: radiocarbon constraints on belowground C dynamics. **Ecological Applications**, Tempe, v. 10, n. 2, p. 399-411, Apr. 2000.

TURNER, J.; LAMBERT, M. Changes in organic carbon in forest plantation soils in eastern Australia. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 133, n. 3, p. 231-247, Aug. 2000.

VALE, R. S. **Agrossilvicultura com eucalipto como alternativa para o desenvolvimento sustentável da Zona Da Mata De Minas Gerais.** 2004. 101 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.

VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring microbial biomass C. **Soil Biology & Biochemistry**, Elmsford, v. 19, n. 6, p. 703-707, 1987.

VELOSO, H. P.; RANGEL FILHO, A. L.; LIMA, J. C. A. **Classificação da vegetação brasileira adaptada a um sistema universal.** Rio de Janeiro: IBGE, 1991.

VIERA, M.; SCHUMACHER, M. V. Deposição de serapilheira e de macronutrientes em um povoamento de acácia-negra (*Acacia mearnsii* Wild.) no Rio Grande do Sul. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 2, p. 225-233, abr./jun. 2010.

WARDLE, D. A. A comparative assessment of factors with influence microbial biomass carbon and nitrogen levels in soil. **Biological Reviews**, Cambridge, v. 67, n. 3, p. 321-358, Aug. 1992.

WENDLING, B. et al. Densidade, agregação e porosidade do solo em áreas de conversão do cerrado em floresta de pinus, pastagem e plantio direto. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, supl. 1, p. 256-265, mar. 2012.

WINK, C. et al. A idade das plantações de *Eucalyptus* sp. influenciando os estoques de carbono. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 2, p. 333-343, abr./jun. 2013.



WITHERS, J. R. Studies on the status of unburnt *Eucalyptus* woodland at Ocean Grove, Victoria. III. comparative water relations of the major tree species. **Australian Journal of Botany**, Melbourne, v. 26, n. 6, p. 819-835, 1978.

ZAIA F. C.; GAMA-RODRIGUES, A. C. Ciclagem e balanço de nutrientes em povoamentos de eucalipto na região Norte Fluminense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n. 5, p. 843-852, set./out. 2004.

ZINN, Y. L. **Caracterização de propriedades físicas, químicas e da matéria orgânica de solos nos cerrados sob plantações de Eucalyptus e Pinus**. 1998. 85 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade de Brasília, Brasília, 1998.

ZINN, Y. L.; DIMAS, V. S.; SILVA, J. E. Soil organic carbon as affected by afforestation with eucalyptus and pinus in the Cerrado region of Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 166, n. 1-3, p. 285-294, Aug. 2002.

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