

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**ESTOQUE DE CARBONO EM SOLOS SOB PLANTIOS DE
EUCALIPTO E FRAGMENTO DE CERRADO.**

ANA MARIA MARTINS RUFINO

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da UNESP -
Campus de Botucatu, para obtenção do
título de Mestre em Ciência Florestal.

BOTUCATU – SP
Maio – 2009

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**ESTOQUE DE CARBONO EM SOLOS SOB PLANTIOS DE
EUCALIPTO E FRAGMENTO DE CERRADO.**

ANA MARIA MARTINS RUFINO

Orientador: Prof^o. Dr. Iraê Amaral Guerrini

Co-orientadora: Prof^a. Dr^a. Vera Lex Engel

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da UNESP -
Campus de Botucatu, para obtenção do
título de Mestre em Ciência Florestal.

BOTUCATU – SP
Maio – 2009

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA LAGEADO - BOTUCATU (SP)

R926e Rufino, Ana Maria Martins, 1977-
 Estoque de carbono em solos sob plantios de eucalipto e
 fragmento de Cerrado / Ana Maria Martins Rufino. - Botuca-
 tu : [s.n.], 2009.
 x, 60 f. : il., color., gráfs., tabs.

 Dissertação (Mestrado)-Universidade Estadual Paulista,
 Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2009
 Orientador: Iraê Amaral Guerrini
 Co-orientador: Vera Lex Engel
 Inclui bibliografia

 1. Carbono orgânico no solo. 2. *Eucalyptus grandis*. 3.
 Ciclagem de nutrientes. I. Guerrini, Iraê Amaral. II. En-
 gel, Vera Lex. III. Universidade Estadual Paulista "Júlio
 de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciên-
 cias Agrônômicas. IV. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

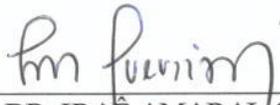
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

**TÍTULO: "ESTOQUE DE CARBONO EM SOLOS SOB PLANTIOS DE EUCALIPTO
E FRAGMENTO DE CERRADO".**

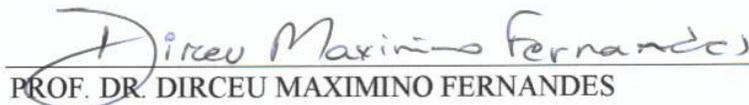
ALUNA: ANA MARIA MARTINS RUFINO

ORIENTADOR: PROF. DR. IRAÊ AMARAL GUERRINI

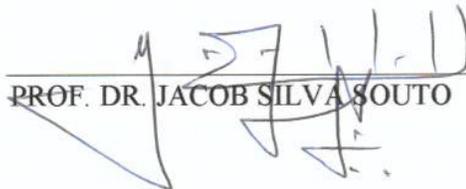
Aprovado pela Comissão Examinadora



PROF. DR. IRAÊ AMARAL GUERRINI



PROF. DR. DIRCEU MAXIMINO FERNANDES



PROF. DR. JACOB SILVA SOUTO

Data da Realização: 28 de Maio de 2009.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer à grande e preciosa Santa Rita de Cássia a quem sou devota, pela luz e força a mim destinadas para o presente trabalho e ao longo de toda a minha vida.

À minha pequena e preciosa família, minha mamãe Olga que tanto amo, minhas irmãs Camila e Gabriela, e ao doce de minha vida, minha sobrinha Olivia.

Ao meu amor Thiago, a quem agradeço e dedico este trabalho, pois, ao longo desses quatro anos, mostrou-se uma pessoa maravilhosa, paciente, sábia e sensata, apoiando-me em todos os momentos.

À minha nova família, minha querida sogra Heloisa, ao meu sogro Manoel e meus cunhados, Joice e Rodrigo. À tia Rita, tio Cid, Luisa, tia Tetê, tio Eninho, Thurzinho, Bruno, tia Ana, vovô Lélio, vó Dina, vó Teresa, Kairo, Patrícia (professora do Thi), André e Renata Luvizotto, por sempre acreditarem em meu potencial.

Às minhas amigas, Andreza, minha irmãzinha e amiga, sempre atenciosa, presente, paciente e sempre disposta a me ajudar; à Beatriz, sempre no cantinho dela, mas que me ajudou e torceu por mim sempre; à Paula Rachel pelo carinho e à Telma pela atenção; às queridas Isliana, Flávia, Daniela pela nova amizade e companhia, e a todos do Laboratório de Ecologia e Restauração Florestal; também às secretárias do Departamento de Ciências Florestais, Maria de Lourdes e Silvia, e à Selma do Departamento de Solos.

A todos os meus queridos professores, pelos ensinamentos e credibilidade depositados, em especial ao meu orientador Iraê Amaral Guerrini e à minha mãe e amiga e co-orientadora Vera Lex Engel. Aos Danilo Scorzoni Ré e Professora Magali Ribeiro da Silva, que contribuíram para um melhor desenvolvimento do presente trabalho.

À UNESP, pela oportunidade de aprendizado; à Companhia Suzano de Papel e Celulose, pelo apoio e estrutura física para a realização deste trabalho.

À FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) pela concessão da bolsa de mestrado, sem a qual não teria sido possível a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

Página

LISTA DE FIGURAS.....	VI
LISTA DE TABELAS.....	VIII
RESUMO.....	XI
SUMMARY.....	X
1 INTRODUÇÃO.....	01
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	04
2.1 Teor de carbono orgânico em solos.....	04
2.2 Ciclagem de nutrientes.....	11
2.3 Estoque de nutrientes.....	15
2.4 Caracterização da vegetação.....	19
2.4.1 O Bioma Cerrado.....	19
2.4.2 Plantios de eucalipto (<i>Eucalyptus grandis</i>).....	20
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	21
3.1. Áreas de estudo.....	21
3.2. Descrições dos sistemas em estudo.....	24
3.3. Amostragem e metodologia de coleta dos dados.....	31
3.4. Avaliação das amostras.....	33
3.5. Dados climáticos dos sistemas em estudo.....	35
4 RESULTADOS.....	36
4.1. Teor de carbono orgânico do solo.....	37
4.2. Densidade do solo.....	39
4.3. Estoque total de carbono orgânico.....	40
5 DISCUSSÃO.....	49
6 CONCLUSÕES.....	53
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	54

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1: Estoques globais de carbono nos ecossistemas terrestres.....	6
Figura 2: Modelo conceitual da decomposição/acúmulo de carbono orgânico do solo em áreas degradadas e após intervenção visando a recuperação da MOS pela adição de material orgânico ou pela revegetação. A/D = razão entre a adição e a decomposição de carbono.....	10
Figura 3: Esquema representativo da interação vegetação/solo, destacando-se os horizontes do perfil húmico em diferentes estádios de decomposição.....	12
Figura 4: Área de <i>Eucalyptus grandis</i> de 0 a 1 ano de idade.....	24
Figura 5: Mapa da Fazenda São Bento, situada no município de Itapetininga/SP.....	25
Figura 6: Área de <i>Eucalyptus grandis</i> de 3 a 4 anos de idade.....	26
Figura 7: Mapa da Fazenda Entre Rios (a) e mapa de solos (b), situada no município de Angatuba/SP.....	27
Figura 8: Área de <i>Eucalyptus grandis</i> com 6 a 7 anos de idade.....	28
Figura 9: Fragmento de Cerrado (a, b).....	29
Figura 10: Mapa da Fazenda Santo Inácio (a) e mapa de solos (b), situada no município de Angatuba/SP.....	30
Figura 11: a) distribuição de forma aleatória das 10 parcelas dentro de uma área de estudo, b) distribuição das 3 sub-parcelas dentro de uma única parcela.....	31
Figura 12: Pontos de coleta em cada sub-parcela.....	32
Figura 13: Distribuição das chuvas nas áreas de coletas entre Junho de 2007 à Março de 2008 (a,b).....	35
Figura 14: Teores de carbono no solo ao longo do perfil.....	37
Figura 15: Teores de carbono orgânico no solo em função da interação entre profundidade e sazonalidade.....	38
Figura 16: Distribuição da densidade do solo ao longo do perfil no inverno (a) e verão (b)....	39
Figura 17: Acúmulo de C orgânico (Mg ha ⁻¹) sob plantios de <i>Eucalyptus grandis</i> e de um fragmento de Cerrado no inverno.....	41

- Figura 18: Acúmulo de C orgânico (Mg ha^{-1}) sob plantios de *Eucalyptus grandis* e de um fragmento de Cerrado no verão.....42
- Figura 19: Estoques totais de carbono orgânico no solo ao longo do perfil para: a) plantio de eucalipto com 0 a 1 ano de idade; b) plantio de eucalipto com 3 a 4 anos de idade.....43
- Figura 20: Estoques totais de carbono orgânico no solo ao longo do perfil para: a) plantio de eucalipto com 6 a 7 anos de idade; b) fragmento de Cerrado *Strictu Sensu*.....44
- Figura 21: Estoques totais de carbono orgânico no solo ao longo do perfil para cada sítio estudado na interação sazonalidade e tratamento.....45
- Figura 22: Estoques totais de carbono orgânico no solo ao longo do perfil para cada sítio estudado na interação sazonalidade e profundidade.....46
- Figura 23: Curva de distribuição dos estoques totais de carbono de 0 a 60 cm de profundidade entre os plantios puros e o fragmento de Cerrado, segundo modelo de Siqueira et al. (2008).....48

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1: Função e importância dos organismos biorrecuperadores de solos.....	8
Tabela 2: Mecanismo de transferência de nutrientes entre compartimentos.....	17
Tabela 3: Descrição das áreas (Sistemas) experimentais com cultivo de eucaliptos e fragmento de Cerrado.....	21
Tabela 4: Atributos químicos e físicos dos solos sob os sistemas com cultivo de <i>Eucaliptus grandis</i> e fragmento de Cerrado.....	23
Tabela 5: Sumário da análise de variância para efeitos de tratamento, sazonalidade, e as comparações entre tratamento x profundidade, profundidade x sazonalidade e tratamento x profundidade x sazonalidade no Estoque total de C orgânico (Mg ha^{-1}), teor de C orgânico (%) e densidade (g cm^{-3}), para p (probabilidade) e F (teste estatístico).....	36
Tabela 6: Densidades médias do solo na camada de 0 – 60 cm para os quatro sistemas estudados no inverno e verão.....	40
Tabela 7: Valores percentuais de carbono no solo para cada profundidade estudada.....	42
Tabela 8: Estoque total de carbono orgânico em um Neossolo Quartzarêncio para quatro sistemas estudados em três profundidades.....	47
Tabela 9: Comparação da acumulação de C para diferentes usos do solo.....	51

RESUMO

O sequestro de carbono nos ambientes terrestres, sendo feito de forma natural pelos vegetais através da fotossíntese, cujo processo permite fixar o carbono nos solos e, em forma de matéria lenhosa nas plantas, vem sendo apontado como uma alternativa mitigadora das mudanças climáticas, segundo acordos internacionais como o Protocolo de Kyoto. A retirada da floresta nativa provoca a diminuição significativa da biomassa microbiana e da fertilidade do solo. A reserva de carbono na matéria orgânica do solo é uma importante estratégia para atenuar a concentração de CO₂ na atmosfera. Com o reflorestamento dessas áreas ocorre uma recuperação lenta e contínua da quantidade e qualidade da matéria orgânica. O eucalipto é a essência florestal mais plantada no Brasil e essas plantações florestais com eucalipto poderão cumprir o papel de aumentar as concentrações de carbono orgânico no solo, recuperando estruturas perdidas quando da exportação da madeira através da colheita, bem como, provocando mudanças ambientais associadas. Este trabalho objetivou quantificar a fixação de carbono no compartimento do solo de 0 a 60 cm de uma floresta nativa em comparação com plantios de eucalipto com 3 diferentes idades: 0 a 1 ano (área recém implantada); 3 a 4 anos (metade do ciclo) e 6 a 7 anos (época de corte). Foram escolhidos quatro diferentes sítios de amostragem com uma área amostral de 1 ha cada. Foram coletadas amostras de solo no inverno e no verão a diferentes profundidades para que se pudesse conhecer a quantidade de carbono orgânico fixado ao longo do perfil do solo considerando o fator da sazonalidade. Os resultados indicam que o manejo nas áreas interferiu no acúmulo de carbono no solo dos quatro sítios estudados, mostrando também que o fragmento de Cerrado estoca menos carbono que os plantios de eucalipto. Quanto à sazonalidade, houve diferença significativa entre o acúmulo de carbono entre os períodos de inverno e verão somente para a profundidade de 0 a 20 cm, a camada mais superficial do solo.

Palavras-chave: Carbono orgânico no solo, *Eucalyptus grandis*, ciclagem de nutrientes.

STOCK CARBON IN SOIL UNDER *Eucalyptus grandis* PLANTATIONS AND FRAGMENTS OF CERRADO. Botucatu, 2009. 60 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: ANA MARIA MARTINS RUFINO

Adviser: IRAÊ AMARAL GUERRINI

Co-adviser: VERA LEX ENGEL

SUMMARY

The carbon sequestration in terrestrial environments, by plants through photosynthesis, allows carbon fixing as a woody matter in plants. This process has been identified as an alternative to mitigate climate change, according to Kyoto Protocol, an international environmental agreement. The removal of the native forest causes a significant decrease of microbial biomass and soil fertility. The storage of carbon in soil organic matter is an important strategy to reduce the concentration of CO₂ in the atmosphere. With the reforestation of these areas, occurs a slow and continuous recovery of the quantity and quality of organic matter. The eucalyptus is the most planted species in Brazil for industrial supply. These eucalyptus reforestations may fulfill the role of increasing soil organic carbon concentration, recovering some structures lost by wood harvesting and causing associated environmental changes. This study aimed to quantify the carbon fixation within the soil compartment from 0 to 60 cm depth of a native forest formation in comparison with eucalyptus plantations with 3 different ages: 0 to 1 year (newly planted area); 3 to 4 years (half the harvesting cycle) and 6 to 7 years (harvesting time). Four different sites were chosen for sampling, with a sampling area of 1 ha each. Soil samples were collected in winter and summer time, at different depths, to quantify the organic carbon fixed throughout the soil profile, considering the seasonality factor. The results indicate that management in each area interfered in the accumulation of carbon in the soil in the four sites studied. The savanna fragment stored less carbon than the eucalyptus plantations. Regarding seasonality, a significant difference was found between the accumulation of carbon in winter and summer periods for the depth from 0 to 20cm, the most superficial layer of soil.

Keywords: Soil organic carbon, *Eucalyptus grandis*; Cycling of nutrients.

1 INTRODUÇÃO

Em tempos de grande preocupação, com alterações climáticas globais resultantes do aumento da concentração dos gases de efeito estufa na atmosfera, entre os quais, o gás carbônico CO₂ (WATSON et al, 2000), parte das atenções no meio científico está concentrada a respeito do solo e do uso da terra. Como ainda são incertas as consequências do aumento das concentrações do CO₂ atmosférico, como a fixação líquida de carbono pelas plantas e a decomposição da matéria orgânica do solo, conhecer com detalhes os fatores que determinam as perdas de CO₂ em diferentes situações de uso e manejo é fundamental para a compreensão do fenômeno de aquecimento global (D'ANDREA, 2004).

Em âmbito global, condições climáticas têm sido os fatores que mais explicam variações nas taxas de decomposição (CASTANHO, 2005). Em ecossistemas naturais é mantida estreita e harmônica integração da cobertura vegetal com o sistema físico, químico e biológico do solo, através de processos essenciais, como a ciclagem de nutrientes, pela formação e decomposição da matéria orgânica. Entretanto, essa harmonia é destruída fisicamente com as operações de preparo do solo e alterada quimicamente pela incorporação de corretivos e fertilizantes, causando o desequilíbrio do sistema e, em consequência, a aceleração ou retardamento dos processos de ciclagem de nutrientes e de formação e/ou decomposição da matéria orgânica (RESCK, 1996).

Os solos, em geral, têm um papel importante no ciclo do carbono na Terra. Isto é devido à sua maior alocação de estoque em ecossistemas terrestres. O estoque de carbono no solo é aproximadamente 2,1 vezes maior do que o estoque na atmosfera. Em uma escala global, solos minerais até 1 m de profundidade apresentam de 1300 a 1500 Gt C, ou seja, um estoque duas vezes maior do que o da biomassa de plantas terrestres. Isso é devido ao fato das florestas cobrirem cerca de 30% da superfície da Terra e estocarem em torno de 85% do carbono orgânico (CALDEIRA et al., 2002).

Em solos tropicais e subtropicais altamente intemperizados, a matéria orgânica e a serapilheira tem grande importância para o fornecimento de nutrientes às espécies florestais, influenciando na retenção de cátions, na complexação de elementos tóxicos e de micronutrientes, na estabilidade da estrutura e na infiltração, retenção de água e aeração do solo, e na atividade da biomassa microbiana, constituindo-se, assim, num componente fundamental da sua capacidade produtiva (BAYER & MIELNICZUK, 1999).

A matéria orgânica do solo (MOS) é toda fração orgânica localizada abaixo da superfície do solo, e é constituída de matéria morta (98% do total de C orgânico) e de matéria viva (raramente ultrapassa 4% do total de C orgânico do solo) que provenha de plantas, microorganismos da meso e macro fauna e de resíduos de animais e microorganismos do solo (SILVA & PASQUAL, 1999).

O estudo da matéria orgânica em seus diversos compartimentos, bem como sua relação com o manejo, visa desenvolver estratégias para utilização sustentável dos solos, com vistas a reduzir o impacto das atividades agrícolas sobre o ambiente. Pequenas alterações no total de matéria orgânica ou carbono do solo são dificilmente detectáveis em curto prazo, em parte, porque a variabilidade natural desses atributos do solo é geralmente elevada. Por isso, compartimentos da matéria orgânica (MO) ou do carbono (C) do solo, mais sensíveis ao manejo, podem ser utilizados como indicadores de mudanças na dinâmica do compartimento orgânico, como, por exemplo, frações de carbono orgânico do solo. (ANDRADE et al., 2005).

O presente trabalho objetivou: (a) verificar o potencial de acúmulo de carbono orgânico no compartimento do solo em reflorestamentos com *Eucalyptus grandis*

com diferentes idades em comparação a um fragmento de Cerrado; (b) verificar se o fragmento de Cerrado estoca mais carbono orgânico no solo, desconsiderando as raízes, quando comparado aos plantios de eucalipto; (c) verificar se há diferença no acúmulo de carbono no solo entre inverno e verão.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Teor de carbono orgânico em solos

Estudos a respeito do carbono orgânico do solo sob diferentes ecossistemas fornecem subsídios importantes para a avaliação da qualidade do solo. De acordo com Caldeira et al. (2002), o carbono orgânico do solo se encontra sob três formas: a) formas muito condensadas, de composições próximas ao carbono elementar (carvão vegetal, mineral e grafite); b) resíduos de plantas, animais e microorganismos alterados, muito resistentes à decomposição, denominados de húmus e “humatos”, e c) resíduos orgânicos pouco alterados de vegetais, animais e microorganismos vivos e mortos, que sofrem decomposição bastante rápida no solo.

Uma das questões que tem sido objetivo de preocupação por parte de cientistas e da sociedade em geral é o aquecimento global, que tem sido relacionado ao aumento de gases estufa na atmosfera, causado pelas atividades antrópicas. Diante desta preocupação, as florestas e plantações florestais têm sido consideradas como tendo importante papel na captação e estoque de CO₂ atmosférico. Embora existam muitos estudos de fluxos e estoque de carbono em florestas temperadas, as florestas tropicais ainda são pouco conhecidas quanto ao seu potencial de captação e acúmulo de carbono (CALDEIRA et al., 2002).

O dióxido de carbono (CO_2) é assimilado pelas plantas no processo de fotossíntese que transforma esse gás, na presença de água e de minerais, em biomassa vegetal.

Em média, 58% dessa biomassa é carbono que compõe as folhas, frutos, caules e raízes. Os resíduos das plantas e de animais constituem os precursores da matéria orgânica do solo (MOS). A decomposição de resíduos de plantas e animais no solo constitui o processo biológico básico no qual o C é reciclado para a atmosfera como CO_2 , o nitrogênio torna-se disponível como amônio (NH_4^+) e nitrato (NO_3^-), e outros elementos associados, como o P, S e vários micronutrientes aparecem em fórmulas assimiláveis pelas plantas superiores. O conteúdo total de MOS é mantido em estado de equilíbrio característico do solo e do sistema de manejo aplicado. Esse é o processo básico de seqüestro de C no solo que consiste, portanto, na remoção líquida do CO_2 da atmosfera para os reservatórios tais como vegetação e solo (RESCK et al., 2008).

Em solos tropicais, profundos e sujeitos à atividade biológica intensa, o armazenamento em profundidade é relevante. Os biomas com maior acúmulo entre 1 e 3 metros do solo são as florestas (158 Gt C) e savanas (146 Gt C) tropicais (JOBAGY e JACKSON, 2000 *apud* MONTERO, 2008). Em solos de cerrado, Brossard et al (1997), que quantificaram os estoques de carbono até uma profundidade de 2,1 metros de profundidade (18,95 a 24,76 Kg C.m⁻²), comprovaram que 50% do estoque está contido na camada de 0-50 cm e 60-70% no primeiro metro do solo (12,3 a 18,5 Kg C.m⁻²).

O estoque de COS é função das interações entre clima, vegetação, drenagem e manejo, bem como das propriedades intrínsecas do solo, tais como textura, mineralogia e estrutura (RESCK et al., 2008). A estabilização desse carbono orgânico no solo (COS) depende de vários fatores, incluindo o clima, a quantidade e a qualidade de resíduos de plantas, fatores que afetam a atividade microbiana (exemplo: pH, disponibilidade de N, saturação por bases) e atributos do solo que protegem a MOS contra o ataque de microorganismos, em especial, a estrutura, a textura e a composição mineralógica do solo (RESCK et al., 2008). Silva e Pasqual (1999) acrescentam dizendo que a estabilidade desse carbono orgânico é resultante de três conjuntos gerais de características: recalcitrância, interações e acessibilidade, e complementam mostrando que a entrada anual de carbono no solo em ecossistemas tropicais está em torno de 110×10^{15} gC/ano, ou seja, 15% do CO_2 atmosférico, ou seja, retornando uma quantidade equivalente de C para a atmosfera.

O solo se constitui em um compartimento chave no processo de emissão e seqüestro de carbono. A Figura 1 evidencia que manejos inadequados podem mineralizar a matéria orgânica e transferir grandes quantidades de gases do efeito estufa para a atmosfera (CERRI & CERRI, 2007).

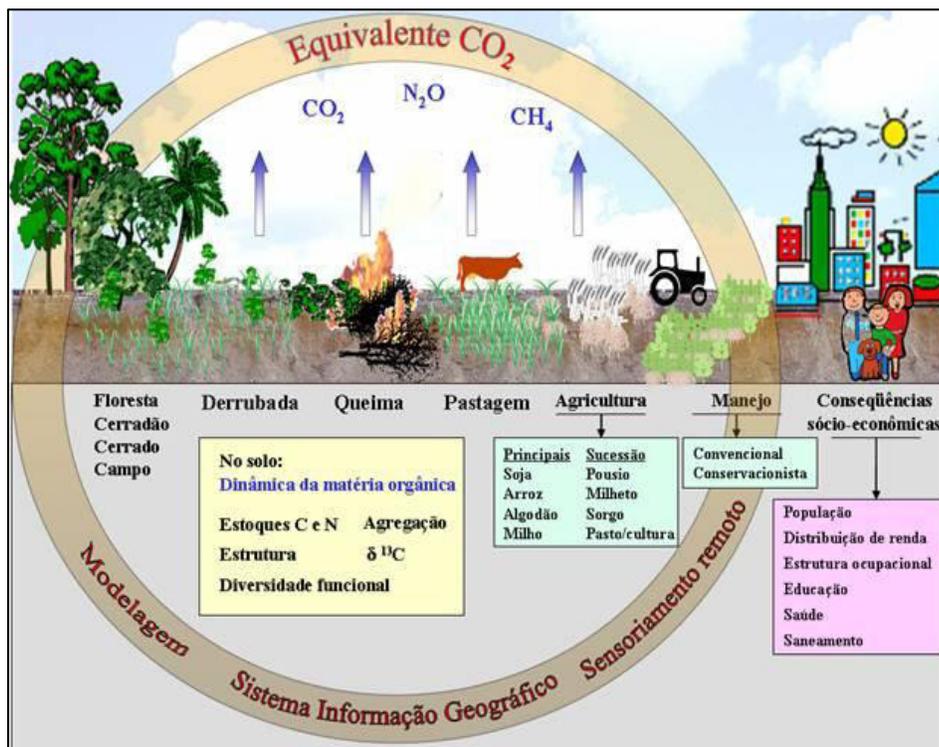


Figura 1: Estoques globais de carbono nos ecossistemas terrestres (CERRI & CERRI, 2007).

Ecossistemas naturais dos trópicos úmidos, como a Floresta Amazônica ou a Mata Atlântica, têm altas produtividades. O calor e a umidade favorecerem a decomposição da matéria orgânica do solo, e a ausência de perturbação física do solo permite que se formem grandes estoques de carbono. Como estas florestas existem há milhares de anos, há um equilíbrio estável entre as taxas de deposição de matéria orgânica e as taxas de decomposição, mantendo estáveis os estoques de carbono (BADDEY et al., 2004).

A diferença nos estoques de C entre solos sob mesma vegetação nativa é influenciada fortemente pela textura do solo. A matéria orgânica do solo é retida no solo em função da superfície específica das partículas do solo e, portanto, os estoques de C nos

solos de textura fina (argilosos) são bem maiores do que aqueles em solos de textura grossa (arenosos) (BADDEY et al., 2004).

O balanço de C no solo é dependente da relação entre as adições de C fotossintetizado pelas plantas (parte aérea e raízes) e as perdas de C para a atmosfera, resultantes da oxidação microbiana do C orgânico a CO₂ (COSTA et al., 2008).

O desmatamento e a queima de vegetação nativa são consideradas práticas que resultam nas perdas de carbono do solo, o que reduz drasticamente a deposição de resíduos sem uma alteração proporcional na decomposição da matéria orgânica do solo. (BADDEY et al., 2004).

RESCK et al. (2008) apresentaram um modelo com quatro compartimentos para descrever a localização da MOS no solo: (1) o reservatório BIO (biomassa microbiana), como o próprio nome indica, é constituído pela fauna e flora microbiana do solo; sua persistência em solos tropicais é mais curta do que em solos de regiões temperadas (0,25 anos e 2,5 anos, respectivamente); (2) o reservatório LAB (lábil) é formado de materiais lábeis, ou seja, aqueles prontamente disponíveis para a decomposição por ataque microbiano, como folhas, caules, raízes, frutos, restos de animais (tempo de residência: 5 anos nos trópicos e 20 anos na região temperada); os reservatórios (3) POM (fisicamente protegido pela estrutura do solo) e (4) COM (quimicamente protegido) são dotados de algum mecanismo de proteção contra a decomposição microbiana, e tem um tempo de residência no solo entre 25 e 100 anos e 100 a 3500 anos, respectivamente. Até certo ponto, o tamanho desses reservatórios é controlado por diferentes fatores: o POM é controlado pela ação mecânica de preparo e perturbação do solo, enquanto o COM pela adsorção às argilas do solo, o que lhe confere proteção relativamente alta em escala de tempo.

A maior parte do carbono do solo é orgânica (70%) e depende do balanço entre a edição de materiais e a posterior decomposição e mobilização destes no solo (MONTERO, 2008). Segundo Resck et al. (2008), parte dos 4% do carbono orgânico total que constitui o componente vivo da MOS é incorporado à biomassa microbiana do solo (de 2,4 a 3,2 % do C orgânico total do substrato pode ser utilizado pelos microorganismos para a síntese das células).

O acúmulo de carbono no solo é afetado pela textura e material parental porque a estabilização química da matéria orgânica depende do conteúdo de argila (MONTERO, 2008). Ainda segundo esse autor, os principais fatores que definem o carbono do solo são: o clima (padrões de temperatura e precipitação), a textura e material parental do solo (que determinam o conteúdo e tipo de minerais de argila) e os fatores bióticos (tipo de vegetação, atividade da comunidade decompositora e manejo).

A vegetação é um dos principais determinantes do carbono orgânico do solo, tanto pela forma e distribuição dos sistemas radiculares, quanto pela composição química do material orgânico incorporado ao solo, que é um dos principais fatores implicados na decomposição. A revegetação de áreas degradadas ou de solos muito arenosos estabiliza a área, protege o solo e garante o aporte de material orgânico ao solo, constituindo-se um importante processo recuperador (Tabela 1) (SIQUEIRA et al., 2008).

Tabela 1: Função e importância dos organismos biorrecuperadores de solos (desenvolvido a partir de Batjes, 2001 e Siqueira et al., 2008).

Organismos	Função e importância
Vegetação	<ul style="list-style-type: none"> • Proteção e recuperação do solo; • Incorporação de energia (cadeia trófica); • Regulação ambiental (térmico e hídrico); • Habitat para a fauna silvestre.
Organismos do solo (Macrofauna)	<ul style="list-style-type: none"> • Trituradores e misturadores; • Engenheiros do solo (habitat microbiano); • Rede alimentar.
Organismos do solo (Microbiota)	<ul style="list-style-type: none"> • Responsável pelo fluxo de energia/elementos no sistema solo-planta-atmosfera; • Desempenham funções específicas (produção de húmus, disponibilização de nutrientes, destoxificação de contaminantes, produção de metabólitos e enzimas); • Contribuem para a sanidade e desenvolvimento das plantas e agregação do solo; • A diversidade contribui para a evolução e estabilidade do sistema em reabilitação.

O conhecimento sobre o funcionamento do sistema radicular é de grande importância, pois auxilia também no manejo das florestas plantadas. De acordo com Santos et al. (2005), o conhecimento da área onde ocorre a maior atividade do sistema radicular das culturas é importante para estudos de fornecimento de nutrientes via solo, uma vez que a absorção de água e de nutrientes ocorre simultaneamente. As raízes finas têm curto período de vida (menos que um ano) e são as principais responsáveis pela absorção de água e nutrientes pelas plantas (RYLTER, 1997). De acordo com o mesmo autor, as raízes finas das plantas constituem um dos principais meios para acessar os recursos do solo, sendo que seu comprimento e número são indicadores da capacidade de absorção de nutrientes. As raízes finas são mais abundantes no horizonte orgânico, onde se concentram de 40 a 70% do total de biomassa dessas raízes, das quais 50-80% são compostas por biomassa morta, resultado da rápida decomposição e regeneração de raízes finas (HENDRICK & PREGITZER, 1993; EHRENFELD et al., 1992; VOGT et al., 1986 *apud* FREITAS et al., 2008),

Segundo Laclau et al. (2004), a proliferação de raízes finas na camada da superfície orgânica do solo no ecossistema florestal é vista como uma estratégia para adquirir nutrientes em solos pobres, nos quais há limitação de nutrientes. Isso é muito importante em floresta tropical, onde a maioria dos solos são altamente intemperizados, e a camada de raízes, freqüentemente, desenvolve-se dentro da camada orgânica para captura, ao longo do ano, de nutrientes produzidos pela decomposição da matéria orgânica. Laclau et al. (2001) demonstraram elevada heterogeneidade na distribuição espacial de raízes de espécies de *Eucalyptus spp.* e a redução de sua densidade com o aumento da profundidade.

Segundo Cantarella et al. (2001), a determinação da qualidade da matéria orgânica em solos baseia-se na sua oxidação a CO₂ por íons dicromato em meio fortemente ácido. Basicamente, este método de determinação da matéria orgânica trata de uma modificação do método conhecido por Método de Walkey-Black, proposto para medir a matéria orgânica facilmente oxidável ou decomponível do solo, que inclui húmus e resíduos, mas exclui carbonatos e carvão. A reação, no método de Walkey-Black, ocorre sem aquecimento externo, contando somente com o calor despreendido pela diluição do H₂SO₄. Desse modo, a oxidação do carbono da matéria orgânica não é completa; para compensar a oxidação parcial, aplica-se um fator de correção (1,33).

Como a MOS desempenha papel fundamental para o solo, qualquer interferência que provoque sua redução faz com que seja perdida parte da estabilidade desse carbono orgânico, levando o solo à perda de funcionalidade e degradação do solo (Figura 2). Em casos extremos, este processo leva o solo a perder sua capacidade regenerativa, necessitando de interferência antrópica para restabelecer parte de suas funções mínimas para iniciar o processo de reabilitação. Em uma perspectiva mais ampla, a redução do estoque de COS em solos sob exploração agrícola inadequada causa a degradação estrutural, declínio da fertilidade do solo e redução da atividade biológica (SIQUEIRA et al., 2008).

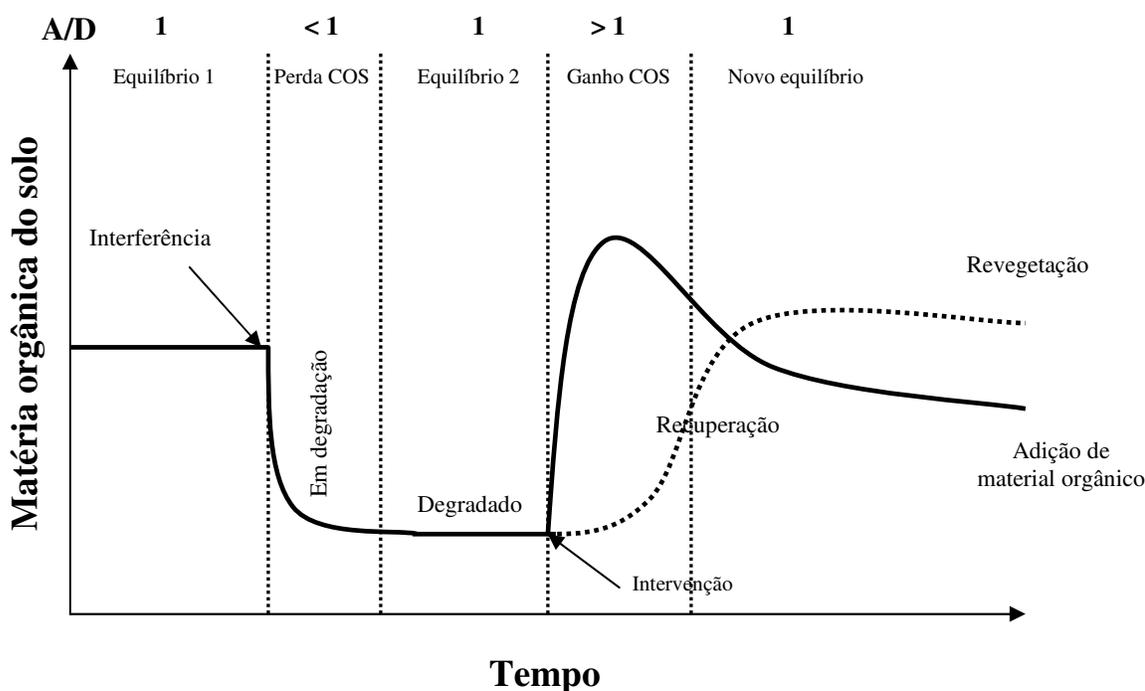


Figura 2: Modelo conceitual da decomposição/acúmulo de carbono orgânico do solo em áreas degradadas e após intervenção visando a recuperação da MOS pela adição de material orgânico ou pela revegetação. A/D = razão entre a adição e a decomposição de carbono (desenvolvido a partir de Batjes, 2001 e Siqueira et al., 2008).

Os teores de carbono estão diretamente ligados ao clima da região e, conseqüentemente, à atividade microbiana, que em climas tropicais é muito mais intensa, o que explica os níveis inferiores de carbono em solos tropicais quando comparados aos solos das zonas boreais e temperadas (CALDEIRA et al., 2002). Segundo Richter e Babbar (1991),

em regiões tropicais a variabilidade de formas de húmus tem sido ignorada, apesar da evidente diversidade de solos. Garay e Kindel (2001) complementam que isso se deve à ideia de que as altas temperaturas são responsáveis pelas elevadas taxas de decomposição e que, portanto, este tipo de estudo não seria relevante. Entretanto, esses autores demonstraram através de seus resultados, que variáveis que servem à caracterização da estrutura da matéria orgânica do solo podem desempenhar o papel de indicadores globais da diversidade intecossistêmica.

2.2 Ciclagem de nutrientes

A ciclagem de nutrientes em florestas nativas é um processo de suma importância para o equilíbrio ecológico de florestas naturais e das plantações florestais com espécies nativas. Essa ciclagem em florestas pode ser analisada através da compartimentalização da biomassa acumulada nos diferentes estratos e a quantificação das taxas de nutrientes que se movimentam entre seus compartimentos, através da produção de serapilheira, sua decomposição, lixiviação e outros. Podem ser considerados, por exemplo, como compartimentos da floresta: a biomassa aérea das árvores, a manta florestal, a biomassa das raízes, o solo, etc (POGGIANI & SCHUMACHER, 2004).

Essa ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais, plantados ou naturais, tem sido amplamente estudada com o intuito de se obter maior conhecimento da dinâmica dos nutrientes nestes ambientes, não só para o entendimento de seu funcionamento, mas também buscando informações para o estabelecimento de práticas de manejo florestal que possam vir a ser empregadas na recuperação de áreas degradadas e na manutenção da produtividade do sítio degradado em recuperação (SOUZA & DAVIDE, 2001).

A decomposição é um dos fatores limitantes no estabelecimento e desenvolvimento de ecossistemas florestais e representa um processo chave na manutenção da fertilidade do solo (LAVELLE et al., 1993), e quando avançada, forma o húmus, que é uma matéria orgânica escura, homogênea e muito rica em nitrogênio e polifenóis.

A formação do húmus (Figura 3) tem importantes implicações na estrutura do solo, capacidade de retenção de água, troca de íons, além de ter grande relevância como estoque de carbono e nutrientes em alguns sistemas (CASTANHO, 2005), definido como a desintegração gradual de organismos mortos até que sua estrutura não possa mais ser reconhecida e moléculas orgânicas complexas sejam fragmentadas em dióxido de carbono (CO_2), água e componentes minerais (COSTA et al., 2008).

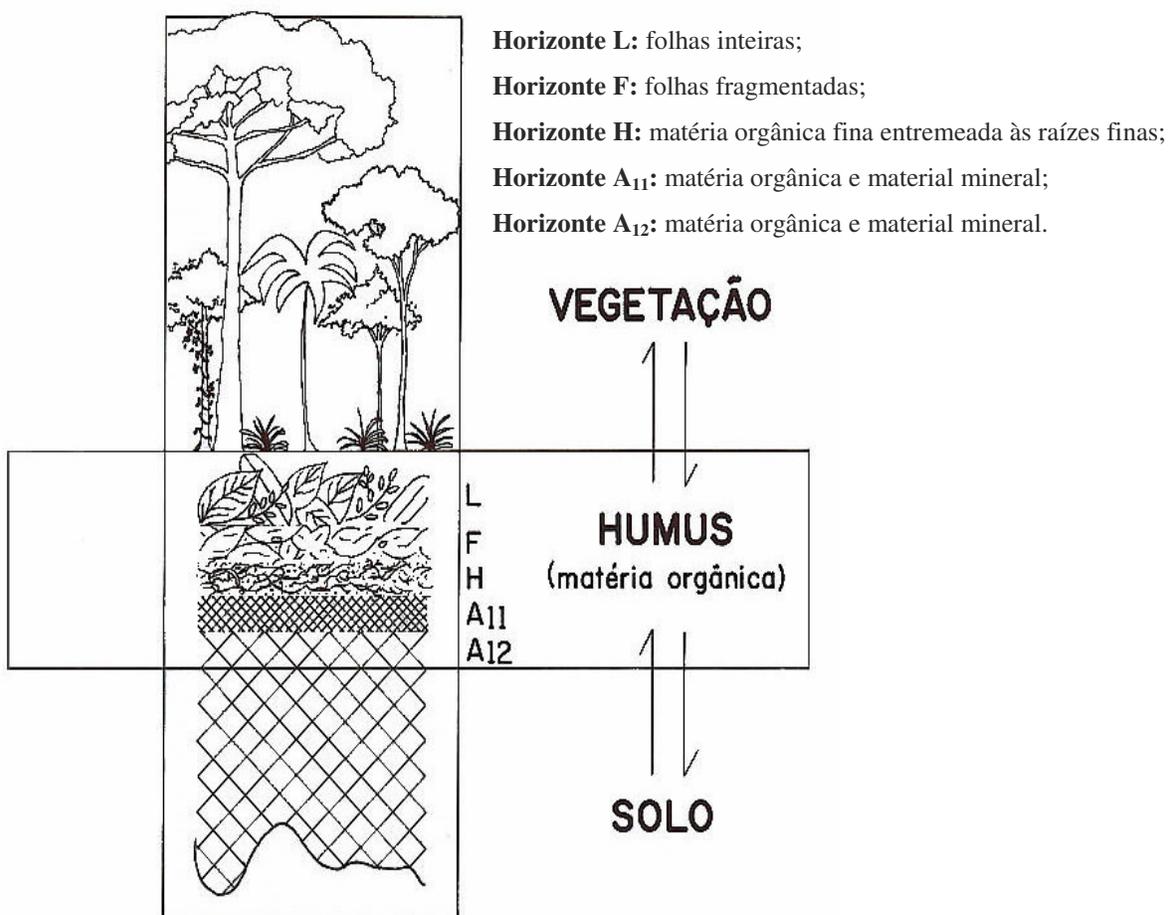


Figura 3: Esquema representativo da interação vegetação/solo, destacando-se os horizontes do perfil húmico em diferentes estádios de decomposição (KINDEL et al., 2003).

A decomposição também é regulada pela interação de três grupos de variáveis: as condições físico-químicas do ambiente, as quais são controladas pelo clima e pelas características edáficas do sítio; a qualidade (orgânica e nutricional) do substrato, que determina sua degradabilidade; e a natureza da comunidade decompositora, os macro e microorganismos (COSTA et al., 2008), além de vários fatores bióticos e abióticos que afetam a produção de serapilheira, tais como: tipo de vegetação, altitude, latitude, precipitação, temperatura, regimes de luminosidade, deciduidade da vegetação, estágio sucessional, disponibilidade hídrica e características do solo (PINTO, 2005).

O preparo de solo e o manejo de culturas afetam as taxas metabólicas dos microorganismos nos processos de decomposição dos resíduos vegetais e da matéria orgânica no solo, as quais também são influenciadas pela temperatura e umidade do solo (COSTA et al., 2008). Considerando o solo como um importante componente relacionado à produção de madeira, pois é ele o responsável pelo suprimento de água e de nutrientes para as plantas, a conservação ou a melhoria da sua qualidade é vital para sustentação dessa atividade produtiva. A sustentabilidade da atividade florestal está, dessa forma, diretamente relacionada à conservação do solo (CHAER & TOTOLA, 2007).

Os nutrientes de um ecossistema florestal encontram-se distribuídos em quatro compartimentos básicos: 1) compartimento orgânico constituído pelos organismos vivos e seus restos; 2) o compartimento de nutrientes disponíveis (na solução do solo ou adsorvidos às superfícies do complexo argila-húmus); 3) o compartimento de minerais primários (nutrientes não disponíveis); e 4) o compartimento atmosférico formado por gases e partículas em suspensão (POGGIANI & SCUMACHER, 2004).

O estoque da MOS apresenta rápida queda quando o solo é submetido a sistemas de preparo com intenso revolvimento (Silva et al., 1999), tendo acelerado o processo de degradação das condições químicas, físicas e biológicas dos solos de diversas regiões do Brasil, decorrente do aumento das perdas por erosão hídrica e oxidação microbiana.

O estudo do compartimento serapilheira é importante pelo papel que desempenha no processo de ciclagem de nutrientes. A deposição de materiais orgânicos é uma das principais transferências que ocorrem no ecossistema florestal, e sua periodicidade varia

de espécie para espécie, sendo que os fatores climáticos influenciam significativamente nesse fenômeno (SCHUMACHER, 1992).

Em sistemas florestais, a compreensão dos fatores que regulam a decomposição pode assumir importante papel no manejo de plantios florestais, possibilitando a elaboração de técnicas de cultivo que melhorem a utilização de nutrientes contidos nos resíduos vegetais que formam a serapilheira.

Os recursos alimentares disponíveis, como também a estrutura do microhabitat gerado, podem possibilitar a colonização de várias espécies de microorganismos que farão parte da fauna do solo, tendo diferentes estratégias de sobrevivência nesse local. Segundo Correia & Andrade (1999), quanto mais diversa for a cobertura vegetal, maior será a heterogeneidade da serapilheira formada, que apresentará um maior número de nichos a serem colonizados, resultando, portanto, em uma maior diversidade das comunidades da fauna de solo. Por isso, faz-se importante buscar o entendimento do funcionamento de qualquer tipo de formação florestal, nativa ou pura, para entender de que maneira a comunidade microbiana se comporta à diferentes tipos de materiais depositados.

Para avaliar a qualidade do solo, indicadores químicos, físicos e biológicos devem ser identificados e analisados quanto à sua sensibilidade a mudanças e distúrbios causados pelo manejo. A análise de indicadores bioquímicos e microbiológicos de qualidade do solo é relevante quando se deseja obter informações sobre o desempenho de funções-chave do solo, como a capacidade de ciclar e armazenar nutrientes. Entretanto, existem poucas informações acerca do impacto de práticas de manejo florestais sobre indicadores microbiológicos em solos sob cultivo de eucalipto, especialmente em regiões tropicais, uma vez que as análises de rotina comumente adotadas para se avaliar o potencial produtivo de solos em florestas plantadas consideram apenas um número limitado de indicadores físicos e químicos (CHAER & TOTOLA, 2007).

Oliveira (1997) afirma que as fontes de nutrientes no sistema são os nutrientes transferidos dentro da biomassa, derivados da decomposição de materiais orgânicos, nutrientes na precipitação, adição de nutrientes à precipitação devido à lavagem e escoamento pelo dossel, e derivados de fontes minerais.

Devido à íntima associação com os processos que ocorrem no compartimento serapilheira-solo e a sua grande sensibilidade a interferências no ecossistema, a composição da comunidade da fauna do solo reflete o padrão de funcionamento do ecossistema. Essa serapilheira é a principal via de transferência de nutrientes das plantas ao solo, em ecossistemas florestais. Assim, o estudo da ciclagem de nutrientes minerais, via serapilheira, é fundamental para conhecer a estrutura e funcionamento de tais ecossistemas. A liberação dos nutrientes contidos nessa biomassa do solo ocorre através do processo de decomposição. A sua regulação depende fundamentalmente da atuação da fauna edáfica, que se encontra inteiramente envolvida nos processos de fragmentação da serapilheira e estimulação da comunidade microbiana do solo (CORREIA & ANDRADE, 1999).

2.3 Estoque de nutrientes

Através da fotossíntese e da absorção de água e nutrientes, os elementos e compostos inorgânicos vão sendo incorporados à biomassa vegetal, passando da forma inorgânica para a forma orgânica. A eficiência deste processo depende de características genéticas da planta, das condições de clima e solo e das práticas de manejo adotadas. Além da quantificação da biomassa (parte aérea e raízes), mensurações da necromassa (serapilheira, troncos e galhos caídos e raízes mortas) permitem ter uma idéia quantitativa do material orgânico disponível para ser ciclado nestes sistemas (ANDRADE, 1997).

A formação da camada de serapilheira, típica dos solos florestais, depende basicamente da quantidade de resíduos orgânicos depositados da parte aérea das plantas e da taxa de decomposição desses materiais (VITOUSEK & SANFORD, 1986). Nesse sentido, é importante conhecer qual a quantidade aportada desse material, o seu teor em nutrientes e compostos orgânicos e a sua velocidade de decomposição nos diferentes povoamentos florestais, nativos e implantados, sob as variadas condições climáticas existentes.

A importância da serapilheira para a ciclagem dos nutrientes em povoamentos florestais nativos ou implantados já foi reconhecida desde o século XIX, onde se

observou uma diminuição gradual na produtividade de florestas de coníferas, que tiveram sua serapilheira frequentemente removida para uso como cama de animais, prática comum naquele século (PRITCHETT, 1979).

A serapilheira inclui folhas, caules, ramos, frutos, flores e outras partes da planta, bem como restos de animais e material fecal. Uma vez formada, ela é submetida a um processo de decomposição com a liberação eventual dos elementos minerais que compõem os tecidos orgânicos, e que em diferentes plantas não apresenta a mesma velocidade de decomposição, devido às diferenças na estrutura e composição das folhas e de outras partes das plantas (ANDRADE, 1997).

Avaliando-se a produção de matéria seca das diferentes partes do vegetal e seu teor de nutrientes, pode-se calcular o estoque de nutrientes dos vários componentes da biomassa vegetal. Essa informação é fundamental para avaliações da ciclagem de nutrientes e para dimensionamentos de exploração de ecossistemas produtivos, onde se pode conhecer qual a quantidade de elementos está sendo mantida no sistema e qual está sendo exportada através da retirada de produtos, como madeira, frutos, entre outros (ANDRADE, 1997).

Spurr & Barnes (1973) afirmam que em condições ótimas para atividade biológica (solo suficientemente aquecido, úmido e arejado durante grande parte do ano), a decomposição deverá ocorrer satisfatoriamente, sem acúmulo de matéria orgânica. Essa atividade pode ser inibida por frio, acidez, condições insatisfatórias com relação à umidade e pouco arejamento, fazendo com que ocorra um maior acúmulo de serapilheira.

A decomposição, assim como a deposição de matéria orgânica e o retorno de nutrientes ao solo florestal, são os três aspectos básicos da ciclagem de nutrientes. Estudos sobre a ciclagem de nutrientes são de fundamental importância para uma melhor compreensão da auto-sustentabilidade dos ecossistemas, cujos aspectos ecológicos são ainda pouco conhecidos; além disso, a decomposição é o processo mais importante na transferência de nutrientes da vegetação ao solo. Fatores como as taxas de decomposição de serapilheira e mineralização de nutrientes contribuem para uma maior ou menor eficiência na utilização de nutrientes nos ecossistemas (OLIVEIRA, 1997).

Um dos aspectos mais importantes na ciclagem de nutrientes é a produção e decomposição da serapilheira e as transferências de elementos liberados no solo através desses processos (DELITTI, 1982). Em linhas gerais, o estudo do estoque e da ciclagem de nutrientes deve ser realizado através da quantificação de nutrientes que entram no ecossistema (importação) e dos que saem (exportação), daqueles que permanecem estocados nos diversos compartimentos do ecossistema e dos fluxos de transferência entre compartimentos Este mecanismo pode ser visualizado com mais detalhe na Tabela 2.

Tabela 2: Mecanismo de transferência de nutrientes entre compartimentos (LOPES et al., 2002).

Importação
Deposição úmida
Deposição seca
Intemperismo do material de origem
Exportação
Perda através do perfil do solo
Escoamento superficial e sub-superficial
Cursos d'água
Ação dos animais
Produção agrícola
Compartimentos onde são estocados os nutrientes
Biomassa vegetal
Biomassa animal
Serapilheira
Solo
Agentes biológicos transformadores
Microorganismos
Fauna edáfica.
Transferência de nutrientes entre compartimentos: Água da chuva que
Escoamento pelo tronco
Absorção pela biomassa viva

O conhecimento dessa ciclagem entre os diversos compartimentos dos ecossistemas e destes para o ambiente circundante pode contribuir para a elucidação das interações entre os seres vivos e o meio, já que são fundamentais para a manutenção da integridade dos diversos sistemas ecológicos (DELITTI, 1982).

Estudos demonstram que interações biológicas podem estar empiricamente ligadas ao maior fluxo de nutrientes em uma floresta natural, com possíveis

benefícios aos “participantes”. Cada organismo, com suas adaptações específicas, deve desempenhar um papel importante no controle de estoques de nutrientes, com relação ao tamanho desses estoques e às taxas de transferência entre eles (OLIVEIRA, 1997).

Poggiani (1992) afirma que o fluxo de nutrientes na floresta não segue caminhos rígidos, mas varia de acordo com a estrutura e o funcionamento dos ecossistemas característicos das diferentes zonas de vida da Terra, ou seja, em cada ecossistema os nutrientes têm sua forma característica de ciclagem. Os nutrientes são gradualmente acumulados no sistema vegetação-solo e tendem a ser distribuídos entre os vários compartimentos de maneiras consideradas características para os diferentes biomas (OLIVEIRA, 1997).

Os principais mecanismos responsáveis pela transferência de nutrientes da biomassa de espécies arbóreas para o solo são: a lavagem da vegetação pela chuva, que desloca substâncias minerais e orgânicas das estruturas da parte aérea, e a decomposição da necromassa vegetal, que inclui a serapilheira, troncos e galhos caídos e raízes mortas. No caso particular dos sistemas florestais, a maior parte dos nutrientes que é ciclada é absorvida por plantas ainda na serapilheira pela trama de raízes presentes nesta camada e no horizonte superficial do piso florestal (GOLLEY, 1978).

Os fragmentos florestais constituem hoje um dos maiores desafios para a conservação. A fragmentação florestal tornou-se uma realidade e a degradação dos fragmentos é o resultado da pressão antrópica exercida de várias formas (RODRIGUES & GANDOLFI, 2000). O entendimento das mudanças geradas por este processo na estrutura e dinâmica das comunidades vegetais, na diversidade e abundância da fauna e as interações entre ambas, impulsiona a elaboração de novas pesquisas nestes ambientes (ESPÍRITO-SANTO et al., 2002). As transformações geradas no compartimento da serapilheira são críticas para a compreensão da ciclagem de nutrientes nestes ambientes, e este conhecimento tem sido enfatizado como um aspecto relevante para a preservação dos ecossistemas naturais (BERZAGHI, 1994).

Com relação ao método de comparação de áreas de diferentes estágios sucessionais, Kuniyoshi (1989) afirma que o tipo de clima e solo das áreas deve ser o mesmo,

e ressalta a importância de se conhecer ecologicamente muito bem as áreas de estudo. Vitousek & Sanford (1986) citam, ainda, o clima, a composição de espécies, o estágio sucessional da vegetação e a fertilidade do solo como fatores que causam variações na ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais.

2.4 Caracterização da vegetação

2.4.1 O Bioma Cerrado

O segundo maior bioma brasileiro é o Cerrado, um mosaico de formações vegetais que variam desde campos abertos até formações densas de florestas que podem atingir os 30 metros de altura (EITEN, 1972, 1994; RIBEIRO & WALTER, 1998 *apud* AGUIAR, et al., 2004). O Cerrado brasileiro constitui-se na maior savana neotropical e em razão da sua extensão estimada em cerca de 200 milhões de hectares representa uma parcela significativa dos ecossistemas terrestres, tendo, portanto, considerável contribuição para o ciclo do carbono no planeta (RESENDE, 2002).

O Cerrado é, sem sombra de dúvida, uma região que tem grande potencial como produtora de alimentos e energia para suprir as necessidades do país e de outras partes do mundo. O clima é estacional, com um período chuvoso de outubro a março sucedendo a um período seco, de abril a setembro. A precipitação média anual é de 1500 mm e as temperaturas são geralmente amenas ao longo do ano, entre 22°C e 27°C em média (RESCK et al., 2008).

No bioma Cerrado, que possui destaque no cenário agrícola nacional, grande parte da vegetação original foi devastada, principalmente nas chapadas, para ceder lugar a pastagens ou culturas anuais, como no Sul de Goiás.

Atualmente, ainda pode ser incorporado ao sistema produtivo dois terços da área total do Cerrado, o que representa 136 milhões de hectares. Em solos com cobertura vegetal natural, o C orgânico encontra-se em equilíbrio dinâmico, com teores praticamente constantes com o tempo. Essa condição é alterada quando o solo é submetido ao

cultivo, e um novo equilíbrio é atingido num nível que varia em razão das características do sistema de manejo adotado (D'ANDREA et al., 2004).

2.4.2 Plantios de eucalipto (*Eucalyptus grandis*)

No Brasil, o gênero *Eucalyptus* foi introduzido em 1825 como espécie ornamental e como quebra-vento. Para finalidades econômicas seu uso iniciou-se em 1903, quando eram necessários dormentes para atender ao desenvolvimento das estradas de ferro através da Companhia Paulista de Estradas de Ferro – CPEF (ANDRADE, 1961).

Historiadores mencionam a introdução do eucalipto na Europa por volta de 1774, para fins ornamentais. Seus primeiros ensaios para produção em escala comercial foram em 1854. Na Índia, os primeiros plantios ocorreram em 1843 e na África do Sul, em 1828. É provável que o Chile tenha sido o primeiro país da América do Sul a introduzir o gênero, em 1823. Navarro de Andrade, considerado o pai da eucaliptocultura no Brasil, desenvolveu experiências de 1904 a 1909 no horto florestal de Jundiaí, comparando várias espécies nativas – Peroba, Cabreúva, Jequitibá, Jacarandá-paulista e Pinheiro-do-paraná - com o eucalipto, tendo esse se destacado das demais espécies supracitadas quanto à produtividade dentre outras vantagens (SILVA, 2001).

No Brasil, o eucalipto tem sido a principal essência utilizada nos programas de reflorestamento e, quase sempre, questiona-se sobre as mudanças que podem promover no solo. Sabe-se, por exemplo, que ele apresenta alta eficiência de uso de nutrientes, produzindo, como consequência, serapilheira de baixa qualidade nutricional quando comparada àquela da maioria das florestas tropicais naturais (GAMA-RODRIGUES & BARROS, 2002).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Áreas de estudo

As áreas selecionadas para o presente trabalho encontram-se entre os municípios de Angatuba e Itapetininga, no Estado de São Paulo. Para o desenvolvimento desta pesquisa, foram escolhidas 4 (quatro) diferentes áreas que foram chamadas de sistemas. Os sistemas 1, 2 e 3 (Tabela 3) apresentavam o mesmo manejo, isto é, eram áreas de plantios de eucalipto, mas o que os diferenciava, que é o foco deste estudo, eram as diferentes idades dos plantios. O único sistema que não era composto pela cultura do eucalipto foi o sistema 4, correspondente ao fragmento do Cerrado, que neste trabalho foi o sistema-controle.

Tabela 3: Descrição das áreas (Sistemas) experimentais com cultivo de eucaliptos e fragmento de Cerrado.

Nome	Espécie	Idade	Localização	Tipo de solo
Sistema 1	<i>Eucalyptus grandis</i>	0 a 1 ano	Fazenda São Bento Itapetininga/SP	Neossolo Quartzarênico RQ1
Sistema 2	<i>Eucalyptus grandis</i>	3 a 4 anos	Fazenda Entre Rios Angatuba/SP	Neossolo Quartzarênico RQ1
Sistema 3	<i>Eucalyptus grandis</i>	6 a 7 anos	Fazenda Santo Inácio Angatuba/SP	Neossolo Quartzarênico RQ1
Sistema 4	Fragmento de Cerrado <i>Strictu Sensu</i>	Fragmento de mata	Fazenda Santo Inácio Angatuba/SP	Neossolo Quartzarênico RQ1

Os critérios para a escolha das áreas foram, a presença da cultura de *Eucalyptus grandis*, os mesmo tipos de solo (Neossolo Quartzarênico) (EMBRAPA, 1999), a presença de um fragmento de mata nativa de Cerrado no mesmo local ou próximo às demais áreas, e uma área recém-implantada, ou seja, com um histórico de não possuir plantios anteriores. Outra condição para que o presente trabalho fosse realizado, foi a semelhança quanto às condições edafoclimáticas e também quanto à topografia.

O relevo das áreas de estudo é classificado como plano à suave ondulado, pois, sabe-se que a topografia dos terrenos influencia na dinâmica do carbono no solo.

As análises química e granulométrica do solo utilizado no experimento foram realizadas no Laboratório de Solo e Folha – Agrolabor Consultoria Ltda, localizado no município de Itapetininga, Estado de São Paulo, e estão apontadas na Tabela 4.

Tabela 4: Atributos químicos e físicos dos solos sob os sistemas com cultivo de *Eucaliptus grandis* e fragmento de Cerrado.

Sistemas	pH	M.O	P (mg/dm ³)		Complexo Sortivo (mmol/dm ³)					Saturações (%)					
	CaCl ₂	g/kg	Resina	K	Ca	Mg	Al	H+Al	S.B.	CTC	Ca	Mg	K	V%	Al m%
Fragmento de Cerrado	4,5	23,0	11,0	0,3	12,0	9,0	7,0	29,0	21,3	50,3	23,9	17,9	0,6	42,3	24,7
<i>E. grandis</i> (0 a 1 ano)	4,6	23,0	17,0	0,1	14,0	10,0	4,0	28,0	24,1	52,1	26,9	19,2	0,2	46,3	14,2
<i>E. grandis</i> (3 a 4 anos)	4,4	15,0	44,0	0,5	10,0	5,0	7,0	40,0	15,5	55,5	18,0	9,0	0,9	27,9	31,1
<i>E. grandis</i> (6 a 7 anos)	4,5	16,0	7,0	0,4	9,0	8,0	5,0	26,0	17,4	43,4	20,7	18,4	0,9	40,1	22,3

	Enxofre (S)	Boro (B)	Ferro (Fe)	Cobre (Cu)	Manganês (Mn)	Zinco (Zn)	Relações entre Cátions			Análise Granulométrica			
	DTPA	Água Quente	DTPA	DTPA	DTPA	DTPA	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	Areia	Silte	Argila	
mg/dm ³						Ca/Mg	Ca/K	Mg/Kg/kg.....			Classe Textural
Fragmento de Cerrado	11	0,04	74	0,1	0,6	0,3	1,3	40,0	30,0	819	170	11	Arenosa
<i>E. grandis</i> (0 a 1 ano)	7	0,13	70	0,2	2,2	0,4	1,4	140,0	100,0	816	98	86	Arenosa
<i>E. grandis</i> (3 a 4 anos)	38	0,26	34	0,3	2,2	0,6	2,0	20,0	10,0	817	86	97	Arenosa
<i>E. grandis</i> (6 a 7 anos)	8	0,01	36	0,1	1,6	0,3	1,1	22,5	20,0	802	131	67	Arenosa

3.2 Descrição dos sistemas em estudo

Sistema 1: Plantio de *Eucalyptus grandis* - 0 a 1 ano de idade (Talhão n° 45);

O presente sistema localiza-se no município de Itapetininga e situa-se nas coordenadas 23° 43' 229 latitude sul e 48° 03' 366 longitude oeste, no Estado de São Paulo, pertencente à Fazenda São Bento, da Companhia Suzano de Papel e Celulose.

A área é recoberta por um plantio de *Eucalyptus grandis*, espaçamento 3,0 m x 2,0 m (Figura 4), com aproximadamente 1 ano de idade. A área total da fazenda é de 67,75 ha, sendo amostrado 1 ha da área total.

A área do sistema 1, sem o histórico de plantios de *Eucalyptus sp* anteriores, era uma área antiga de pastagem, instalada após a retirada da vegetação natural, sem presença de fogo nos últimos 20 anos e somente com a exploração da vegetação local.



Figura 4: Área de *Eucalyptus grandis* com 0 a 1 ano de idade.

A seguir, o mapa da Fazenda São Bento (Figura 5) com a indicação da localização do sistema em estudo.

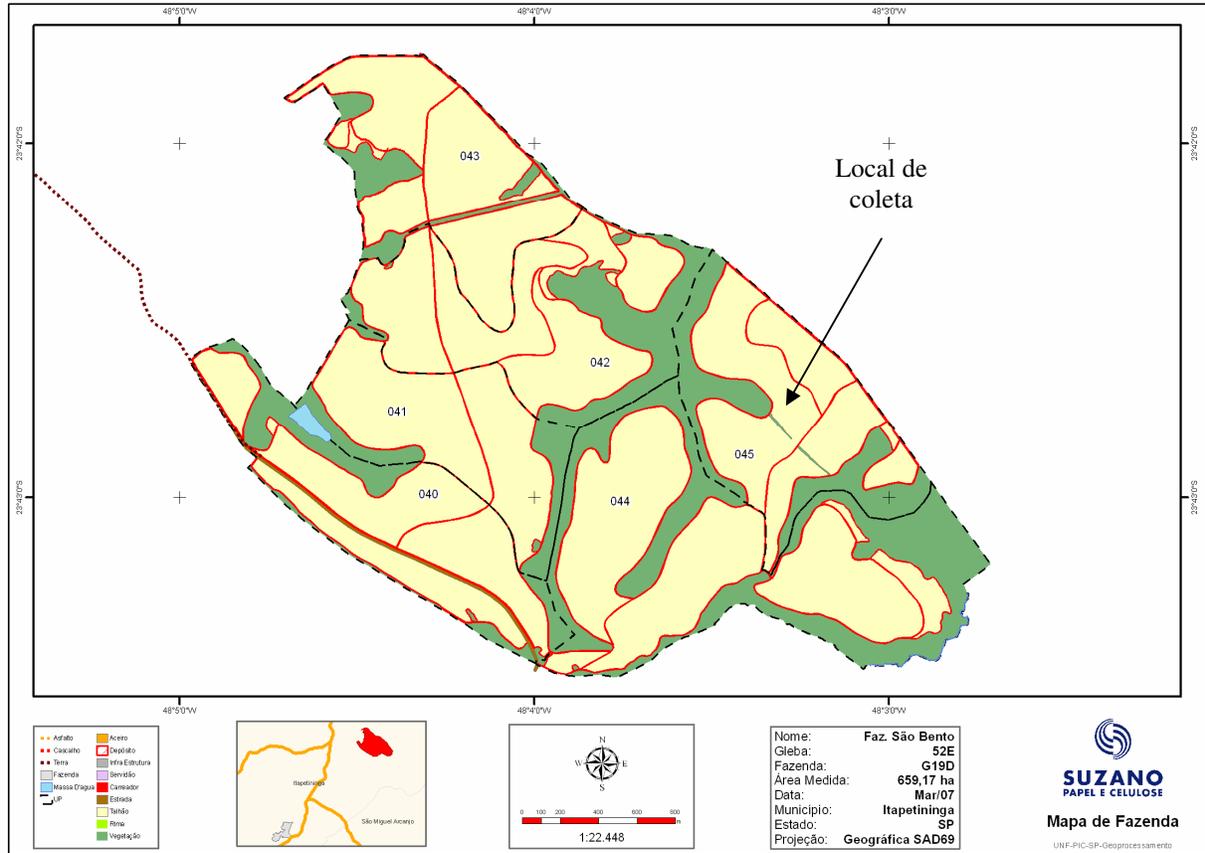


Figura 5: Mapa da Fazenda São Bento, situada no município de Itapetininga – SP.

Sistema 2: Plantio de *Eucalyptus grandis* - 3 a 4 anos de idade (Talhão n° 274);

O presente sistema localiza-se no município de Angatuba e situa-se nas coordenadas 23° 18' 341 latitude sul e 48° 26' 832 longitude oeste, no Estado de São Paulo, pertencente à Fazenda Entre Rios, da Companhia Suzano de Papel e Celulose.

A área é recoberta por um plantio de *Eucalyptus grandis*, espaçamento 3,0 m x 2,0 m (Figura 6), tendo sido implantada no dia 28 de abril de 2004, possuindo 3 anos e 2 meses no início da coleta das amostras (junho/2007). A área total da Fazenda é de 49,62 ha, sendo amostrado 1 ha desse total. O histórico da área indica que houve plantios de *Eucalyptus sp* anteriores, isto é, outras rotações da cultura.



Figura 6: Área de *Eucalyptus grandis* com 3 a 4 anos de idade.

O mapa da Fazenda Entre Rios (Figura 7a) e o mapa de solo (Figura 7b) com a indicação da localização do sistema em estudo estão apresentados a seguir.

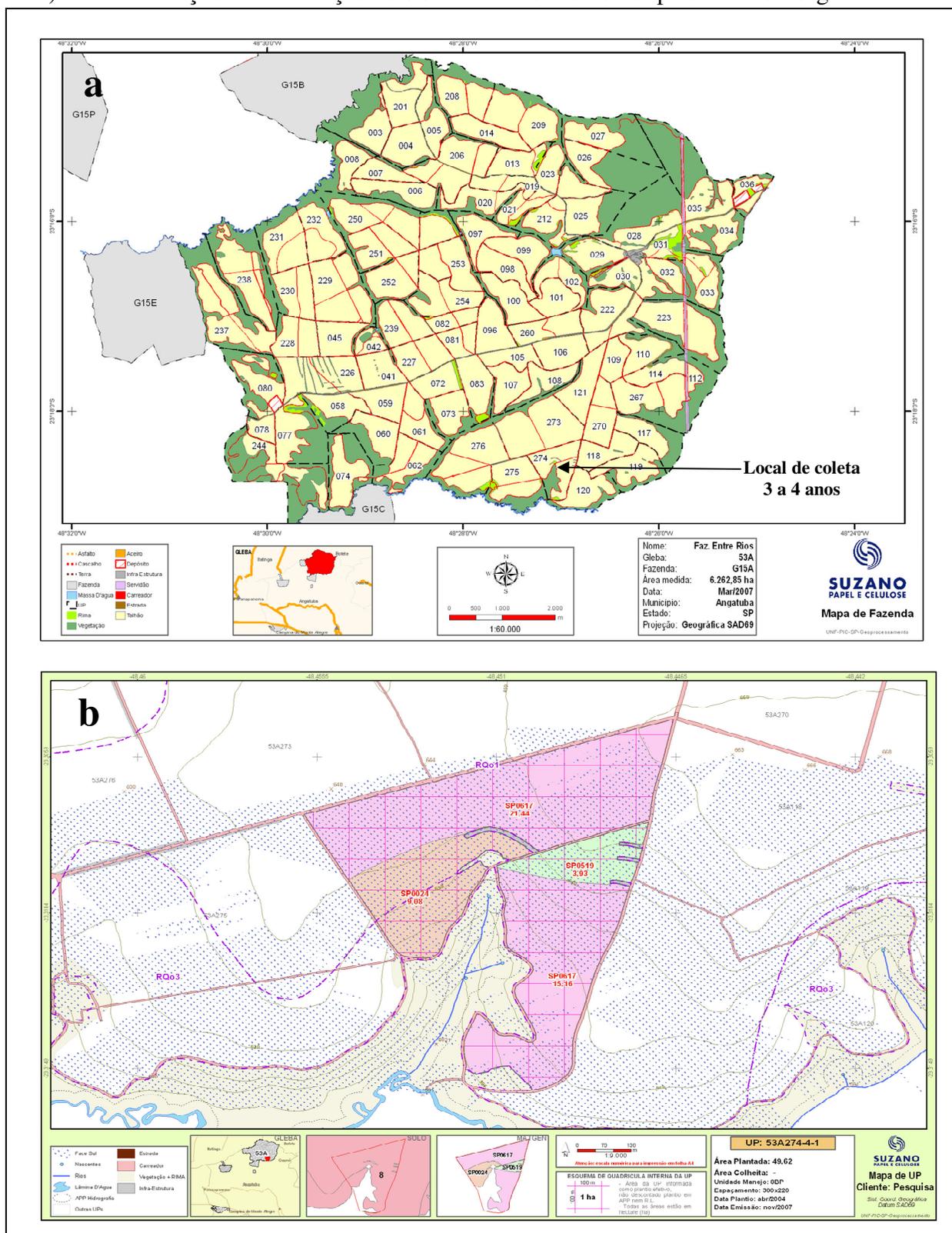


Figura 7: Mapa da Fazenda Entre Rios (a) e mapa de solos (b), situada no município de Angatuba – SP (RQ1 = Neossolo Quartzarênico).

Sistemas 3: Plantio de *Eucalyptus grandis* - 6 a 7 anos de idade (Talhão n° 162).

O presente sistema localiza-se no município de Angatuba e situa-se nas coordenadas 23° 20' 191 latitude sul e 48° 35' 012 longitude oeste, no Estado de São Paulo, pertencentes à Fazenda Santo Inácio, da Companhia Suzano de Papel e Celulose.

A área é recoberta por um plantio de *Eucalyptus grandis*, espaçamento 3,0 m x 2,0 m (Figura 8), tendo sido implantada dia 26 de setembro de 2001, possuindo 5 anos e 9 meses no início da coleta das amostras (junho/2007). A área total da Fazenda é de 11,38 ha, sendo amostrado 1 ha desse total. Neste caso, o histórico da área indica que houve plantios de *Eucalyptus sp* anteriores, isto é, outras rotações da cultura.



Figura 8: Área de *Eucalyptus grandis* com 6 a 7 anos de idade.

Sistema 4: Fragmento de Cerrado

O presente sistema localiza-se no município de Angatuba - SP e situa-se nas coordenadas 23° 20' 697 latitude sul e 48° 35' 089 longitude oeste, no Estado de São Paulo, pertencentes à Fazenda Santo Inácio da Companhia Suzano de Papel e Celulose.

O histórico deste sistema (testemunha) (Figura 9 a,b), não apresenta indícios de fogo nos últimos 20 anos e quaisquer atividades que pudesse alterar as características da área, além de possuir o mesmo tipo de solo.

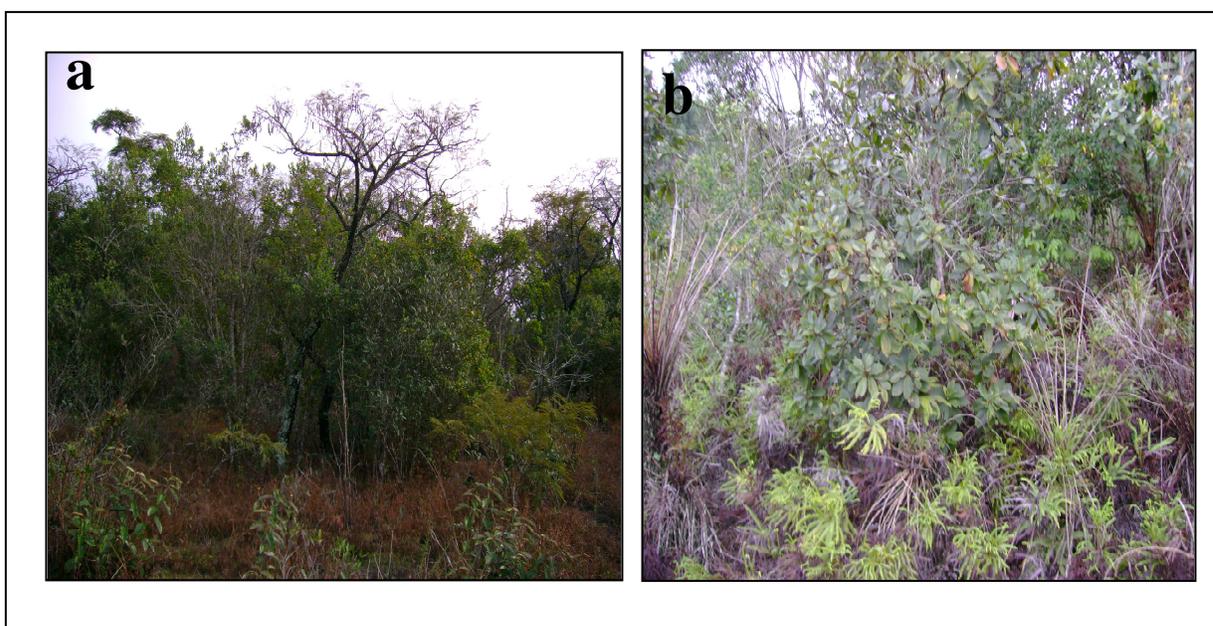


Figura 9: Fragmento de Cerrado (a, b).

A seguir serão apresentados, o mapa da Fazenda Santo Inácio com a indicação da localização dos sistemas em estudo (Figura 10a) e o mapa de solos da mesma área (Figura 10b).

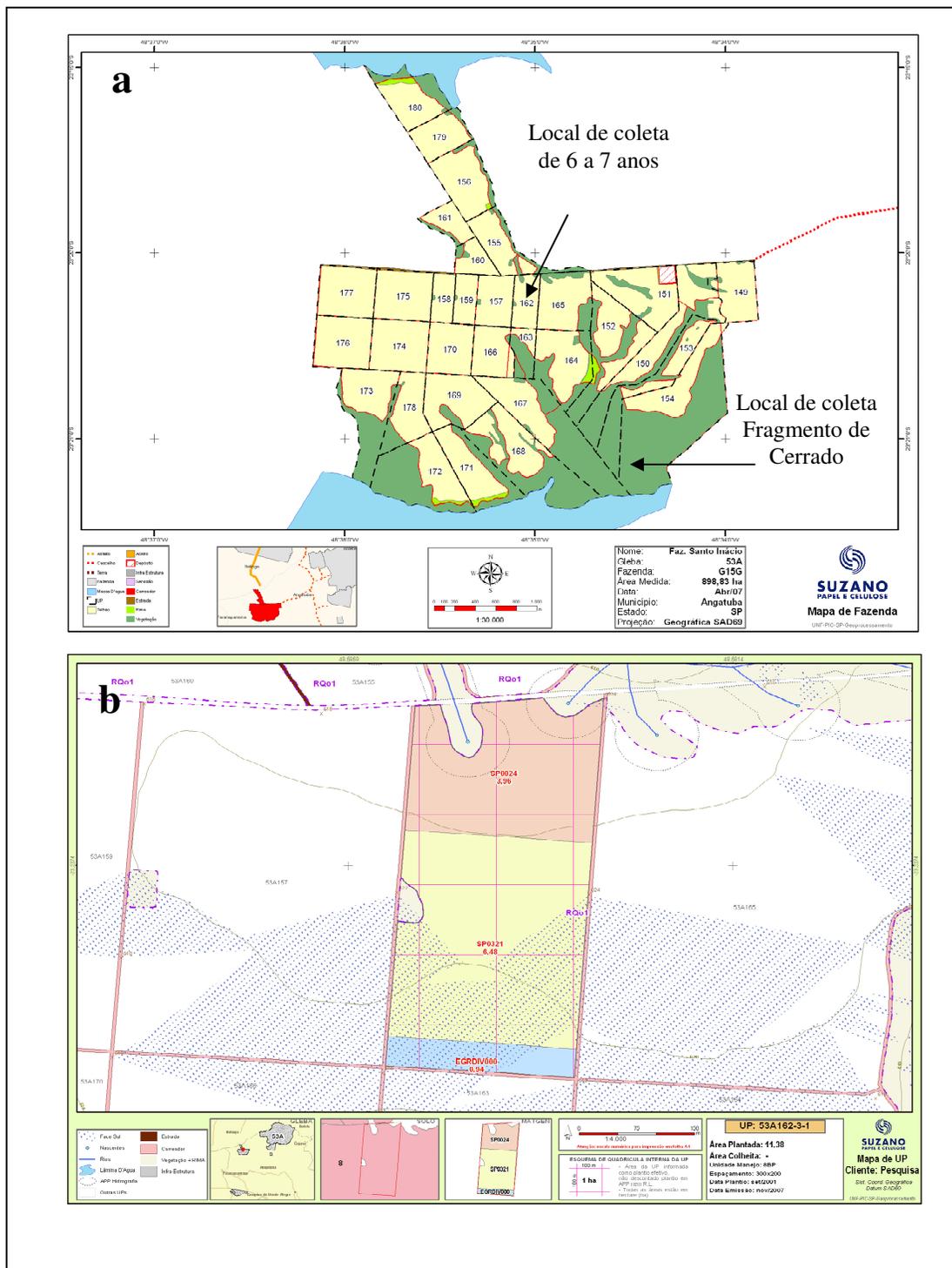


Figura 10: Mapa da Fazenda Santo Inácio (a) e mapa de solos (b), situada no município de Angatuba – SP.

3.3 Amostragem e metodologia de coleta dos dados

Em cada sistema foi demarcada uma área amostral de 1 ha com 100 parcelas contíguas de 10 m x 10 metros. Foram sorteadas aleatoriamente 10 parcelas (Figura 11a) entre as 100, em cada área amostral e alocadas dentro de cada parcela mais 3 sub-parcelas (A, B e C) (Figura 11b).

Tanto as coletas de solo para a análise do carbono orgânico em laboratório com o trado holandês, quanto as coletas com os anéis volumétricos para o cálculo da densidade do solo, foram realizadas concomitantemente para as seguintes profundidades: 0–5 cm, 5–10 cm, 10–20 cm, 20–40 cm, 40–60 cm.

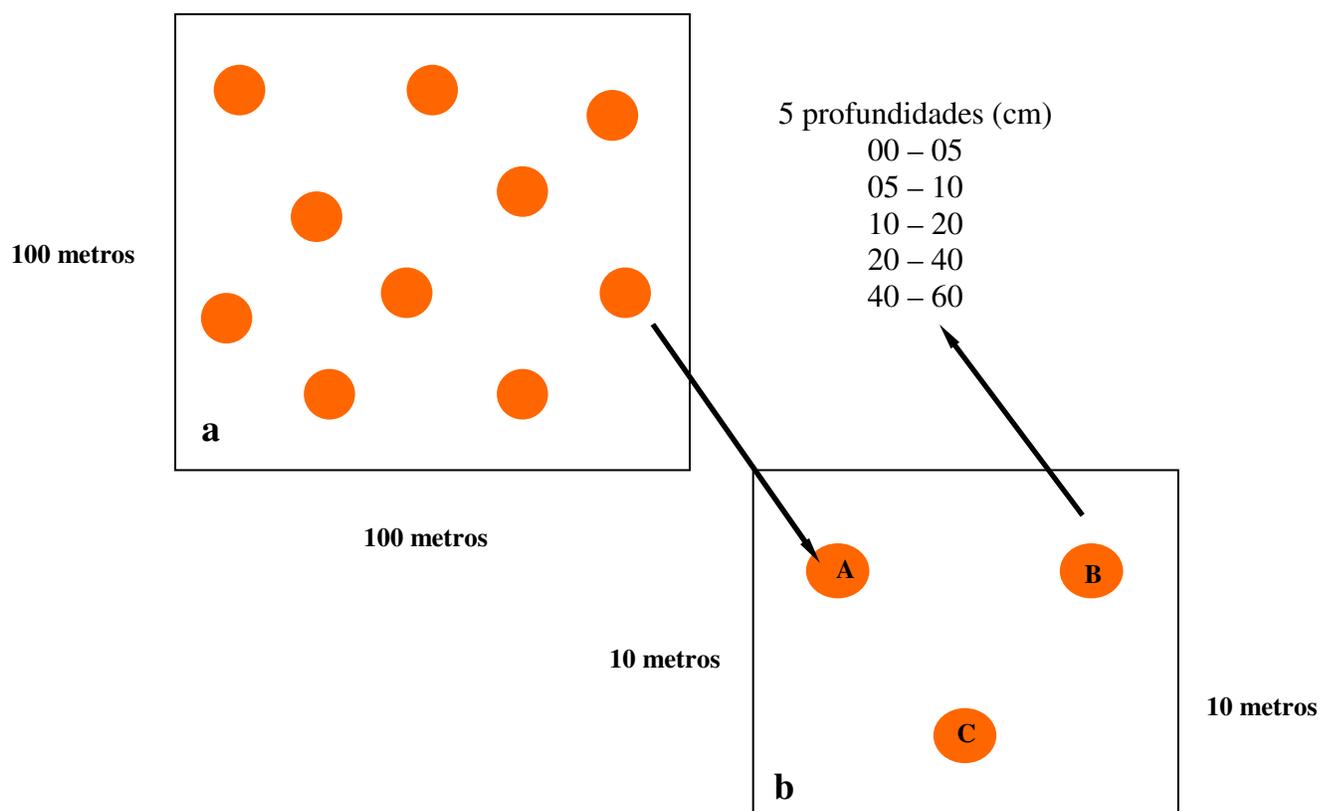


Figura 11: a) distribuição de forma aleatória das 10 parcelas dentro de uma área de estudo, b) distribuição das 3 sub-parcelas dentro de uma única parcela.

Ambas as amostragens foram retiradas sempre pareadas dentro de cada parcela (Figura 12).



Figura 12: Pontos de coleta em cada sub-parcela.

A umidade do solo foi calculada a partir da diferença entre o peso de massa úmida e peso de massa seca das amostras de densidade. Os pesos obtidos não foram utilizados como variáveis para os cálculos ou comparações entre os fatores estudados, pois,

algumas coletas foram feitas posteriormente à grande precipitação de chuva e outras, em dias sem chuvas, o que inviabilizou a utilização dos dados para compor os resultados do presente estudo.

3.4 Avaliação das amostras

As amostras compostas retiradas com o trado holandês, a diferentes profundidades, foram secas em estufa a uma temperatura entre 35° a 40° por um período de 8 horas, tempo geralmente recomendado para solos mais arenosos, passadas em peneiras de 2,0 mm e, em seguida, submetidas à análise do seu teor de matéria orgânica.

O cálculo do teor de carbono orgânico no solo foi feito através da seguinte fórmula:

$$\text{Teor de C (g dm}^{-3}\text{)} = \frac{\text{Matéria Orgânica}}{1,724}$$

A densidade do solo foi obtida através da expressão:

$$d = \frac{\text{massa}}{\text{volume}}$$

onde: a massa seca foi obtida a partir da diferença na pesagem do anel volumétrico com o solo úmido e após 48 horas em estufa a 105°.

As análises de carbono orgânico foram realizadas no Laboratório de Análise Química para fins de Fertilidade do Solo pertencente ao Departamento de Recursos Naturais/Ciência do Solo da FCA/UNESP.

Para a análise do estoque médio* de carbono em Mg ha^{-1} (megagrama por hectare) no solo, multiplica-se o teor de carbono médio da parcela pela sua densidade e pela profundidade de escavação, conforme equação a seguir. O estoque total de carbono ao longo do perfil foi obtido pela soma do estoque médio em cada profundidade.

$$\text{Est}_{\text{total}} \text{ C (Mg ha}^{-1}) = \text{C} \times \text{d} \times \text{p}$$

onde,

C = teor médio de carbono (g dm^{-3});

d = densidade do solo (g cm^{-3});

p = profundidade de escavação (cm).

Para a verificação do efeito da idade no estoque de carbono do solo das plantações florestais, os dados foram submetidos à análise de variância e testes de comparação de médias. Foram feitas também comparações entre as plantações e a mata nativa.

A análise estatística foi feita através do *Software* (R, 2008), além da confecção de alguns gráficos e, para os parâmetros que foram significativos, foi aplicado o teste de Tukey, para comparação de médias. Foram comparados os fatores: tratamento (sistemas); profundidade; sazonalidade.

Para verificar a tendência em acumular ou perder carbono orgânico em relação ao sistema de referência (sistema-controle), foi calculada a variação do estoque de carbono em relação ao fragmento de Cerrado, pela diferença entre os valores médios do estoque de carbono nesse sistema e dos plantios de eucalipto, nas profundidades estudadas.

* Os dados utilizados neste trabalho foram obtidos pelas médias dentro dos tratamentos e para cada profundidade amostrada.

3.5 Dados climáticos dos sistemas em estudo.

A Figura 13 apresenta a distribuição das chuvas em ambos os municípios de estudo. O Sistema 1 localiza-se em Itapetininga, local em que o acumulado das chuvas foi inferior em 70% dos meses de coleta, apresentando uma precipitação acumulada maior que o Angatuba, somente nos meses de julho e agosto de 2007 e em janeiro de 2008.

Observa-se que no inverno somente o mês de julho apresentou um elevado índice de chuvas em ambos os municípios de coleta, aumento gradativamente a partir de novembro também em ambos os locais. Dezembro de 2007 foi o mês mais chuvoso e agosto do mesmo ano foi o mês mais seco.

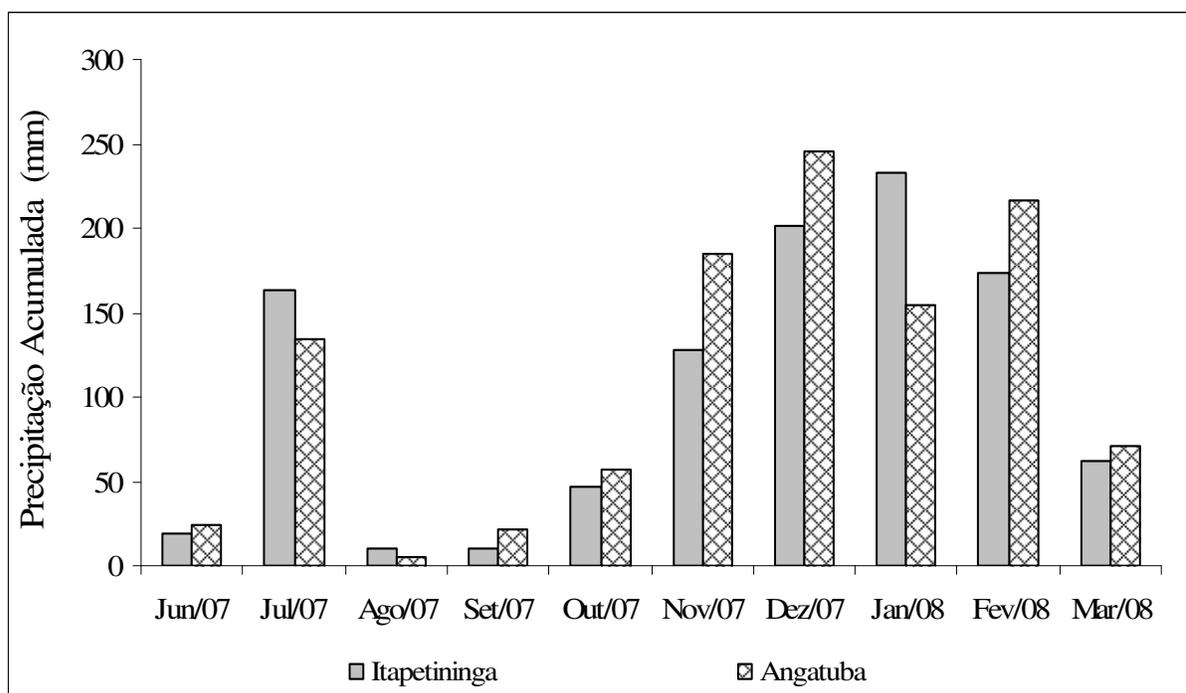


Figura 13: Distribuição das chuvas nas áreas de coletas entre Junho de 2007 e Março de 2008.

4 RESULTADOS

As estatísticas para os atributos analisados são apresentadas na Tabela 5. Os efeitos analisados separadamente (tratamento, profundidade e sazonalidade) e a interação entre eles diferiram nos quatro sistemas estudados para a densidade, teor e estoque total de carbono orgânico no solo. A interação tratamento x sazonalidade não apresentou diferenças significativas para o teor de carbono orgânico no solo e a profundidade x sazonalidade não apresentou diferença para a densidade do solo. A interação tripla, tratamento x sazonalidade x profundidade, não foi significativa para o teor de carbono orgânico e estoque total (Tabela 5).

Tabela 5: Sumário da análise de variância para efeitos de tratamento, profundidade, sazonalidade, e as comparações entre tratamento x profundidade, profundidade x sazonalidade e tratamento x profundidade x sazonalidade no Estoque total de C orgânico (Mg ha^{-1}), teor de C orgânico (g dm^{-3}) densidade (g cm^{-3}), para p (probabilidade) e F (teste estatístico).

Causa da variação	Variável					
	Estoque total		Teor de carbono		Densidade	
	F	p	F	p	F	p
Tratamento	21,713	0,000**	13,528	0,000**	76,576	0,001**
Profundidade	223,855	0,000**	1205,64	0,000**	6,1462	0,000**
Sazonalidade	4,936	0,027*	5,602	0,019*	23,023	0,001**
Tratamento x profundidade	3,409	0,003*	2,613	0,000**	4,273	0,001**
Tratamento x sazonalidade	8.818	0,000**	1,368	0,254	11,759	0,001**
Profundidade x sazonalidade	3,455	0,034*	5,667	0,004*	1,008	0,518
Trat. x profundidade x sazonalidade	0,932	0,473	0,586	0,742	3,449	0,001**

* Significativo ao nível de, pelo menos, 5% de probabilidade.

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

4.1 Teor de carbono orgânico do solo

Os teores de carbono orgânico foram influenciados pela profundidade em todos os sistemas estudados, sendo a profundidade de 0 a 20 cm a única que diferenciou das demais e onde foram encontrados os maiores valores (Figura 14).

Os maiores teores de carbono orgânico no solo, considerando a média nos dois períodos de coletas realizados foram encontrados na camada mais superficial do solo, onde o Sistema 1 apresentou 8,9 g dm⁻³ de carbono orgânico de 0-20 cm de profundidade, referente ao plantio de eucalipto de 0 a 1 ano de idade; o Sistema 2 apresentou 8,5 g dm⁻³ de carbono para a profundidade de 20-40 cm e os Sistemas 3 e 4, apresentaram ambos para a mesma profundidade de 0 a 20 cm, 6,9 g dm⁻³ de carbono no solo. As menores percentuais foram encontradas no Sistema 4 (S4), sendo 6,9; 3,2; 2,9 g dm⁻³ ao longo do perfil de 0-20, 20-40 e 40-60, respectivamente (Figura 14).

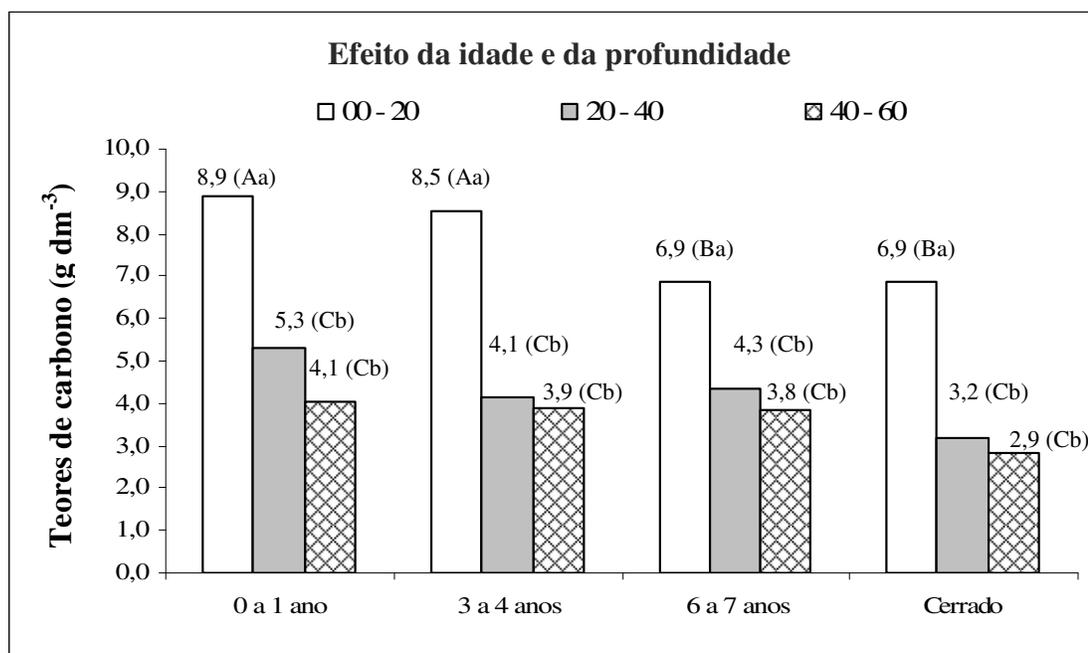


Figura 14: Teores de carbono no solo ao longo do perfil. (Letras iguais minúsculas dentro do tratamento e maiúsculas entre os tratamentos não diferem entre si a 5% de probabilidade).

Dentro de cada idade estudada não ocorreram diferenças entre as profundidades de 20 a 40 e 40 e 60 cm. Porém, quando essas idades são comparadas entre si, observa-se que, para a profundidade de 0 a 20 cm, houve diferença significativa nos plantios

de 0 a 1 ano e 3 a 4 anos quando comparados com o plantio de 6 a 7 anos e fragmento de Cerrado. Mesmo não sendo significativa a diferença entre a profundidade de 0 a 20 cm nos plantios de 0 a 1 ano e 3 a 4 anos de idade, houve uma tendência da área de 0 a 1 ano possuir uma maior porcentagem de carbono nesses solos.

O teor de carbono no solo teve comportamento semelhante, decrescendo com o aumento da profundidade, pois, o teor está diretamente relacionado com a matéria orgânica do solo e, com o aumento da profundidade, diminui a aeração no solo e a atividade dos microorganismos decompositores. A parcela-controle (Cerrado) foi o sistema que apresentou os menores teores de carbono em todo o perfil estudado e entre todos os tratamentos, embora não tenha diferido estatisticamente dos demais sistemas de estudo.

A Figura 15 apresenta o efeito entre profundidade e sazonalidade. Observa-se que o teor de carbono na profundidade de 0-20 diferiu das demais entre e dentro dos períodos de inverno e verão. A partir de 20 cm e até 60 cm de profundidade, não houve diferença significativa dentro e entre a sazonalidade. Para os resultados dos teores de carbono, houve diferença significativa entre a sazonalidade e profundidade somente para a profundidade de 0 a 20 cm, a camada mais superficial do solo, sendo o verão a época de maior concentração de carbono no solo com $8,3 \text{ g dm}^{-3}$ quando comparado ao inverno de mesma profundidade com $7,3 \text{ g dm}^{-3}$.

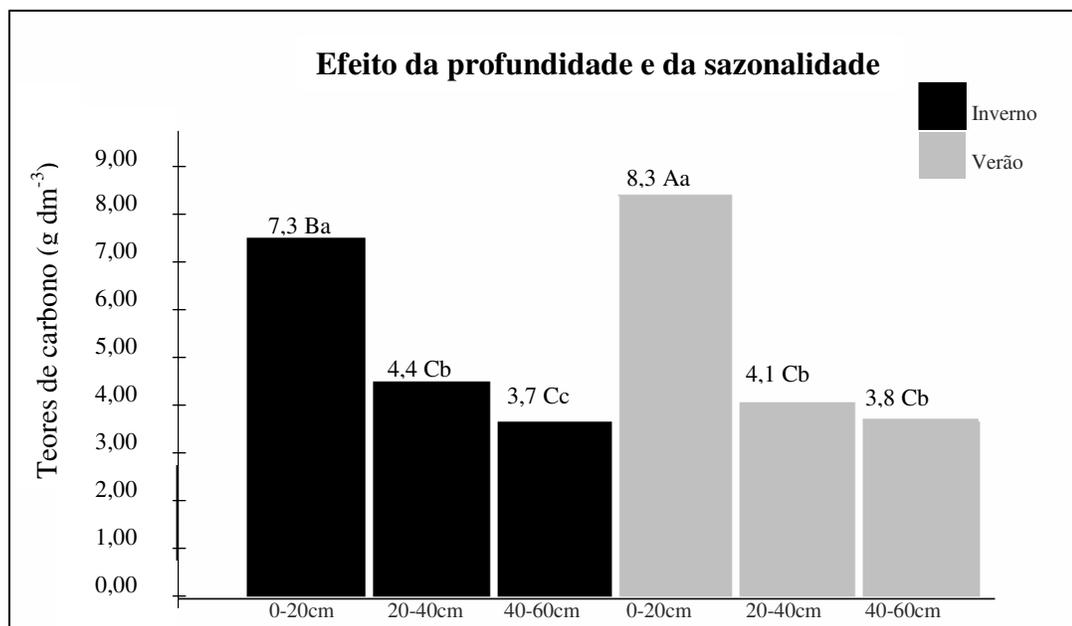


Figura 15: Teores de carbono orgânico no solo em função da interação entre profundidade e sazonalidade. (Letras iguais minúsculas dentro do tratamento e maiúsculas entre os tratamentos não diferem entre si a 5% de probabilidade).

4.2. Densidade do solo

As médias das densidades do solo, em função das áreas em estudo e da profundidade do solo, estão apresentadas na Figura 16. O fragmento de Cerrado apresentou as menores densidades em todo o perfil estudado, encontrando 1,49; 1,44; 1,46 g cm⁻³ no inverno e, 1,44; 1,40; 1,43 g cm⁻³ no verão.

As densidades do solo tenderam a decrescer com o aumento da profundidade para o Sistema 1 (1,53; 1,51; 1,50 g cm⁻³) e Sistema 3 (1,56; 1,54; 1,52 g cm⁻³) no inverno, tendo somente o Sistema 2 apresentado um aumento gradativo das densidades com o aumento da profundidade. No verão somente o Cerrado obteve um acréscimo com o aumento da profundidade, e os demais sistemas permaneceram estáveis ao longo do perfil.

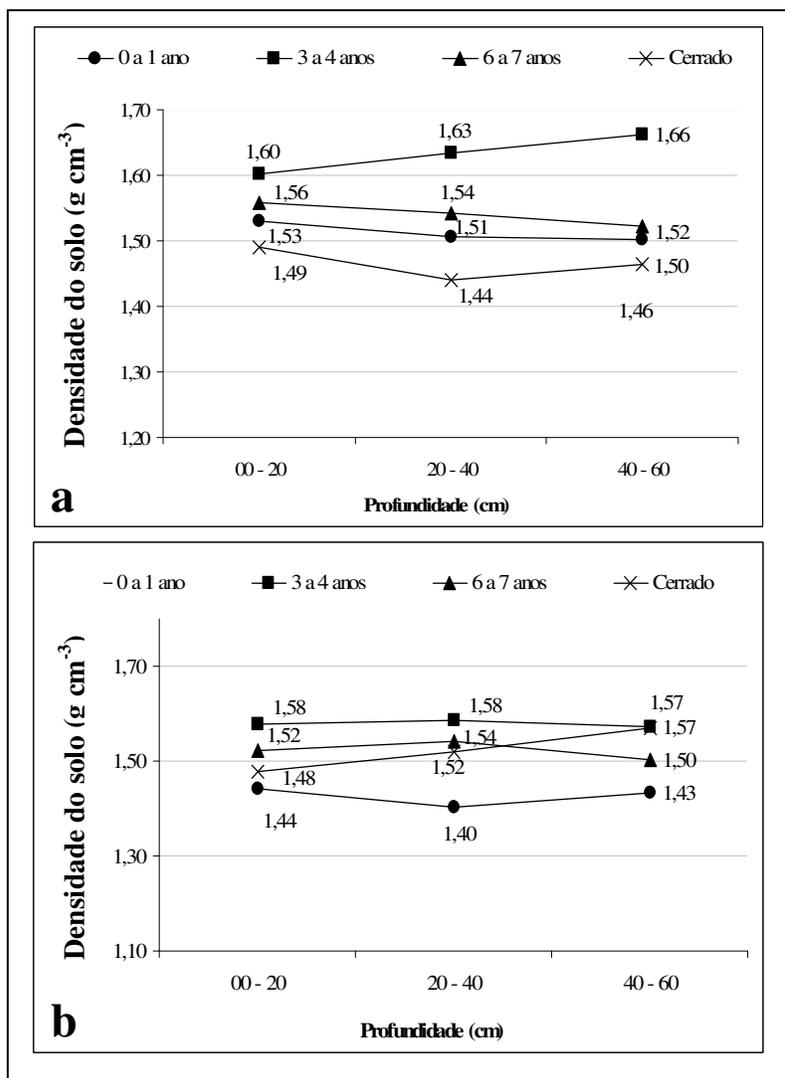


Figura 16: Distribuição da densidade do solo ao longo do perfil no inverno (a) e verão (b).

Os resultados apresentados na Tabela 6 são decorrentes das médias de densidade calculadas na camada 0-60 cm. A camada de 0-20 cm foi segmentada em 0-05, 05-10 e 10-20 cm, para melhor observar as variações da camada mais superficial do solo.

As maiores densidades foram encontradas na área de eucalipto com 3 a 4 anos de idade no inverno e verão (Tabela 6), referente ao sistema que representa o meio do ciclo, onde os plantios recebem maior número de manutenções, tratos culturais e adubações dentro do talhão de eucalipto, o que estaria provocando um maior tráfego de máquinas e implementos dentro da área. A densidade do solo nas duas épocas de coleta não mostra alteração significativa apenas na camada de 0 – 5 cm de profundidade; para as demais, há diferenças significativas.

Tabela 6: Densidades médias do solo na camada de 0 – 60 cm para os quatro sistemas estudados no inverno e verão.

Tratamento	00 - 05	05 - 10	10 - 20	20 - 40	40 - 60
Invernog cm ⁻³				
Eucalipto com 0 a 1 ano	1,55a	1,41b	1,36b	1,40b	1,43b
Eucalipto com 3 a 4 anos	1,57a	1,59a	1,56a	1,58a	1,57a
Eucalipto com 6 a 7 anos	1,48a	1,56a	1,52a	1,54a	1,50a
Fragmento de Cerrado	1,44a	1,50b	1,50a	1,58a	1,62a
Verãog cm ⁻³				
Eucalipto com 0 a 1 ano	1,54b	1,55c	1,50a	1,51b	1,50b
Eucalipto com 3 a 4 anos	1,61a	1,64a	1,56a	1,63a	1,66a
Eucalipto com 6 a 7 anos	1,55b	1,60b	1,52a	1,54ab	1,52b
Fragmento de Cerrado	1,48c	1,50c	1,49a	1,50b	1,50b

Médias seguidas de letras minúsculas iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade entre colunas e separadamente para época de coleta.

4.3. Estoque total de carbono orgânico

Na Figura 17 são apresentados os estoque médios de C orgânico ao longo do perfil do solo, no inverno. Houve uma oscilação menor entre os tratamentos e entre as profundidades, em relação ao verão (Figura 18) onde foram encontrados também os

menores valores dos estoques. A área de 3 a 4 anos foi a que apresentou os maiores estoques totais 23,4 Mg ha⁻¹ para a camada de 0-20 cm de profundidade.

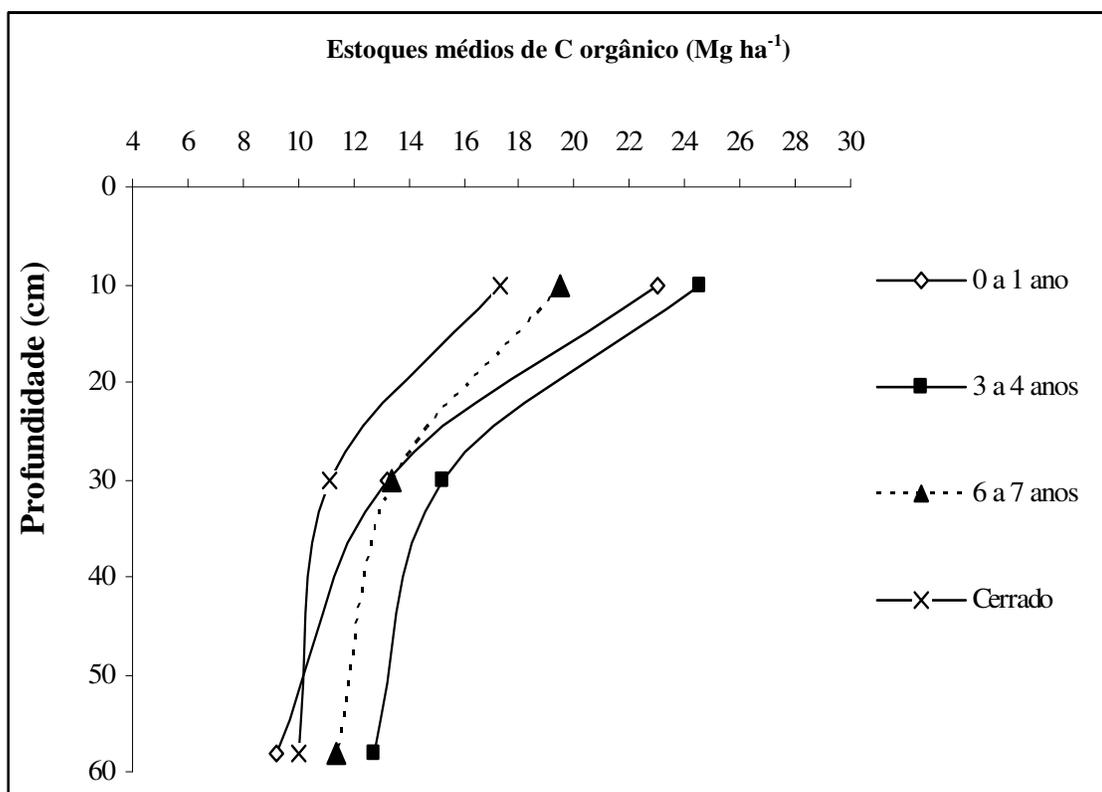


Figura 17: Acúmulo de C orgânico (Mg ha⁻¹) sob plantios de *Eucalyptus grandis* e de um fragmento de Cerrado no inverno.

Os solos dos plantios de eucalipto, à uma profundidade de 0 a 60 cm de profundidade seguem a tendência de estocarem mais carbono que o Cerrado na amostragem de inverno e verão.

Os maiores estoques foram encontrados no verão nas primeiras profundidades para o sistema 1 (0 a 1 ano de idade), seguidos pelo S2 (3 a 4 anos de idade), havendo uma oscilação maior entre os sistemas estudados, tendo o fragmento de Cerrado chegado à valores muito baixos no verão (Figura 18).

Os solos dos plantios de eucalipto, à uma profundidade de 0 a 60 cm de profundidade seguem a tendência de estocarem mais carbono que o Cerrado também na amostragem de verão.

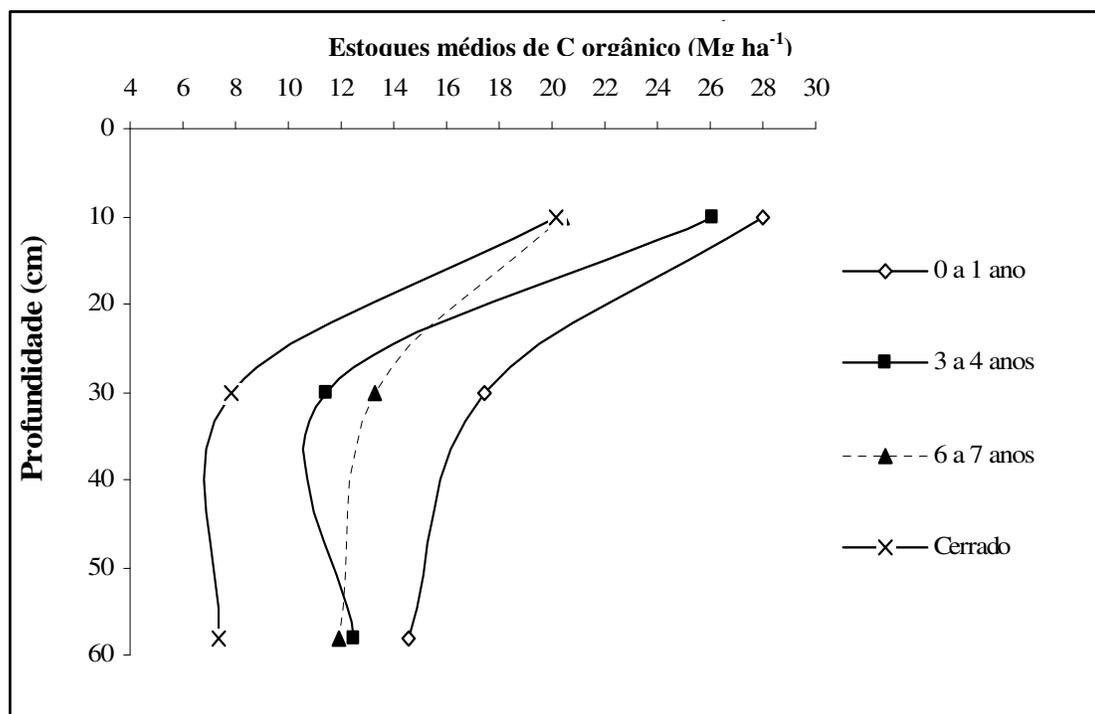


Figura 18: Acúmulo de C orgânico (Mg ha⁻¹) sob plantios de *Eucalyptus grandis* e de um fragmento de Cerrado no verão.

Observa-se para todos os tratamentos e para as cinco profundidades estudadas, que o carbono estocado no solo diminuiu com o aumento da profundidade.

A Tabela 7 apresenta as porcentagens de carbono para cada profundidade estudada, tomando como referência, o total estocado ao longo de todo o perfil de 0 a 60 cm de profundidade. O fragmento de Cerrado foi o que apresentou os maiores valores percentuais de carbono com 57% no verão, seguido pelo sistema com eucalipto com 3 a 4 anos de idade com 52,2%, ambas para a camada mais superficial do solo de 0 a 20 cm de profundidade. A área de 0 a 1 ano de idade foi a única que apresentou o maior percentual no inverno, com cerca de 50,6%.

Tabela 7: Valores em porcentagem do carbono estocado no solo para cada profundidade estudada.

Profundidade (cm)	0 a 1 ano		3 a 4 anos		6 a 7anos		Cerrado	
	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão
	%							
00-20	50,6	46,6	46,7	52,2	44,0	44,8	45,0	57,0
20-40	29,1	29,0	29,0	22,8	30,3	29,1	29,0	22,1
40-60	20,3	24,4	24,3	25,0	25,7	26,1	26,0	20,9

As Figuras 19 e 20 ilustram as variações dos estoques totais de carbono para os sistemas estudados ao longo do perfil para as amostras de inverno e verão.

A Figura 19a apresenta as maiores médias dos estoques totais de 0-20 cm de profundidade para o verão e não apresenta interação entre fatores, pois as curvas são paralelas entre si. A Figura 19b, referente a área de 3 a 4 anos de idade, apresenta interação entre os fatores e os estoques no verão são ligeiramente maiores de 0-20 cm, e diminuem com relação ao inverno de 20 a 40 cm, estabilizando-se de 40 a 60 cm de profundidade. O plantio de eucalipto de 6 a 7 anos foi, provavelmente, o sistema com menos variação entre as profundidades, pois os estoques decrescem em uma tendência suave de 0-60 cm de profundidade (Figura 20a). A parcela-controle apresentou os menores valores, no inverno e verão, de 0-60 cm de profundidade (Figura 20b).

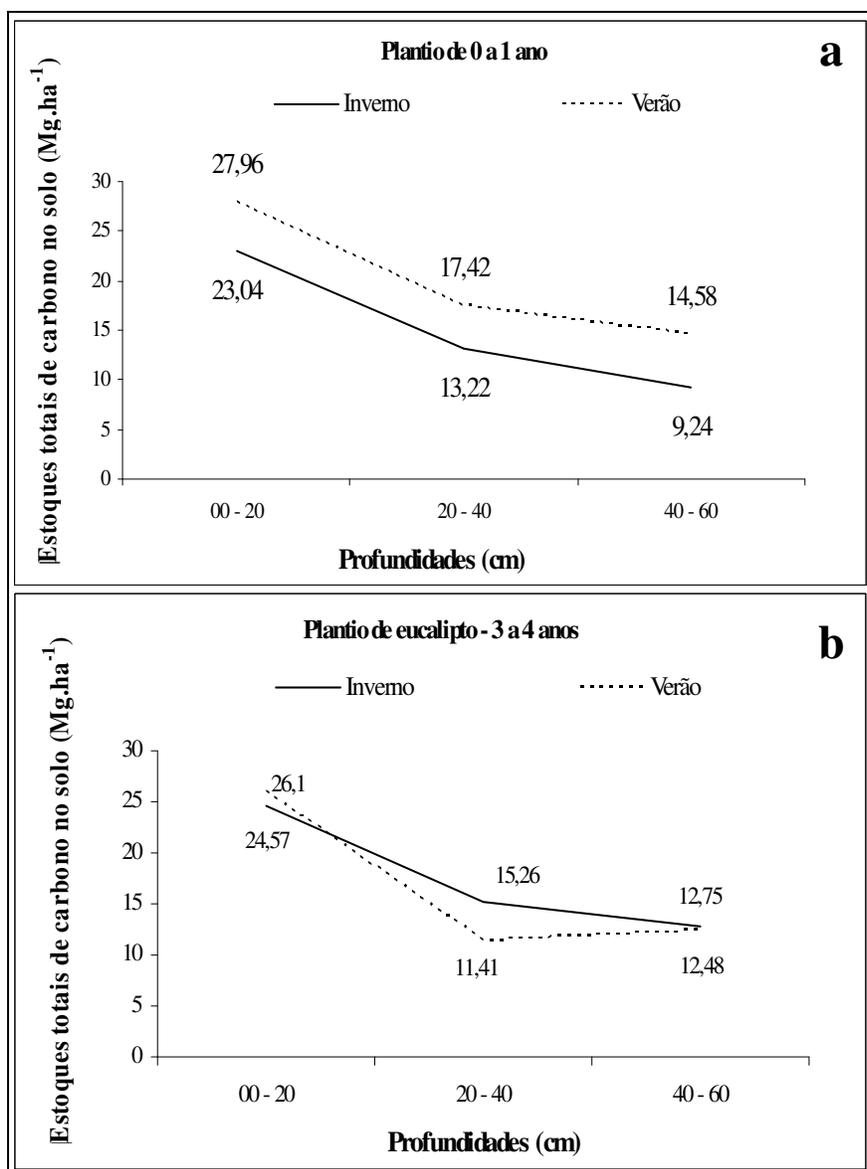


Figura 19: Estoques totais de carbono orgânico no solo ao longo do perfil para: a) plantio de eucalipto de 0 a 1 ano de idade; b) plantio de eucalipto de 3 a 4 anos de idade.

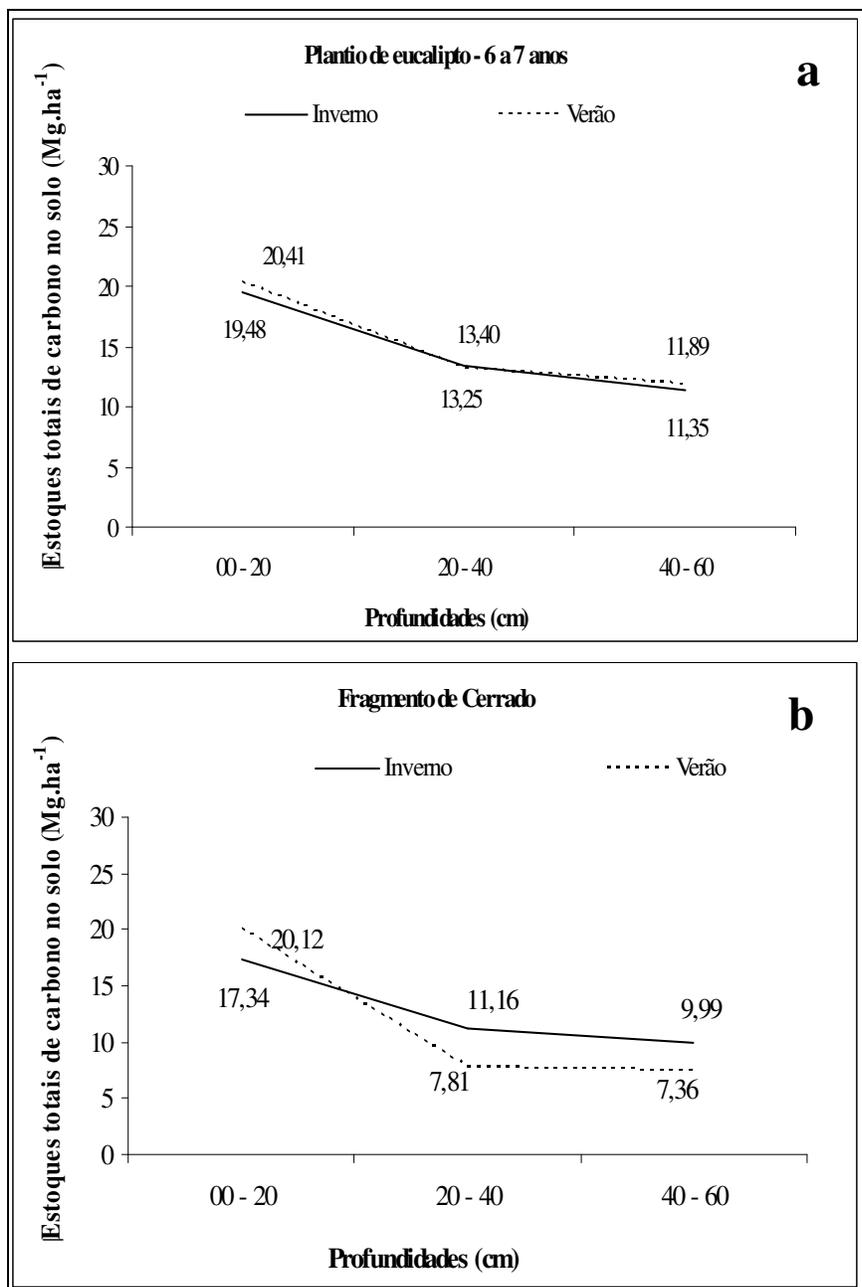


Figura 20: Estoques totais de carbono orgânico no solo ao longo do perfil para: a) plantio de eucalipto de 6 a 7 anos de idade; b) fragmento de Cerrado.

A interação entre sazonalidade e tratamento foi altamente significativa, mostrando que, no verão, o plantio de eucalipto de 6 a 7 anos não difere dos demais tratamentos (Figura 21).

O plantio de eucalipto de 0 a 1 ano de idade no inverno não difere apenas do plantio de eucalipto de 3 a 4 anos de idade. A parcela-controle no inverno diferiu de

todos os outros tratamentos, apenas não tendo diferença significativa entre a parcela-controle do verão. Os maiores estoques foram encontrados no plantio de eucalipto de 0 a 1 ano de idade.

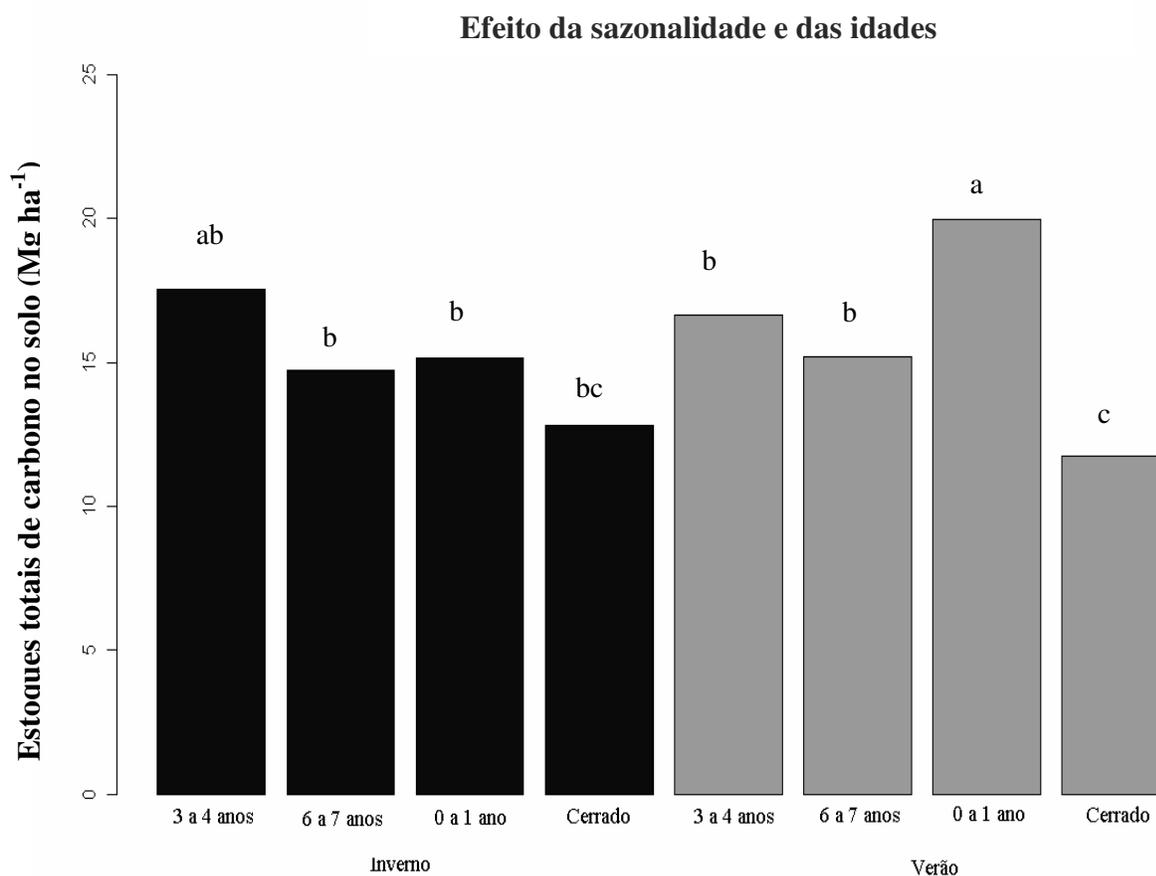


Figura 21: Estoques totais de carbono orgânico no solo ao longo do perfil para cada sítio estudado na interação sazonalidade e tratamento. (Letras iguais não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey).

Entre as épocas de amostras, a profundidade de 0-20 foi diferente das demais, seguida pelo inverno, também para a mesma profundidade. Para 20-40 e 40-60 no inverno, não houve diferença significativa entre as profundidades correspondentes no verão.

A interação entre sazonalidade e profundidade (Figura 22) foi significativa conforme a Tabela 4, que apresenta o sumário da análise de variância. Desconsiderando os tratamentos, observa-se que, dentro da sazonalidade do inverno, as três profundidades diferiram entre si. Já dentro do verão, somente a profundidade de 00 a 20 diferiu das demais, não tendo diferenças entre 20-40 e 40-60 cm de profundidade.

Efeito da sazonalidade e das idades

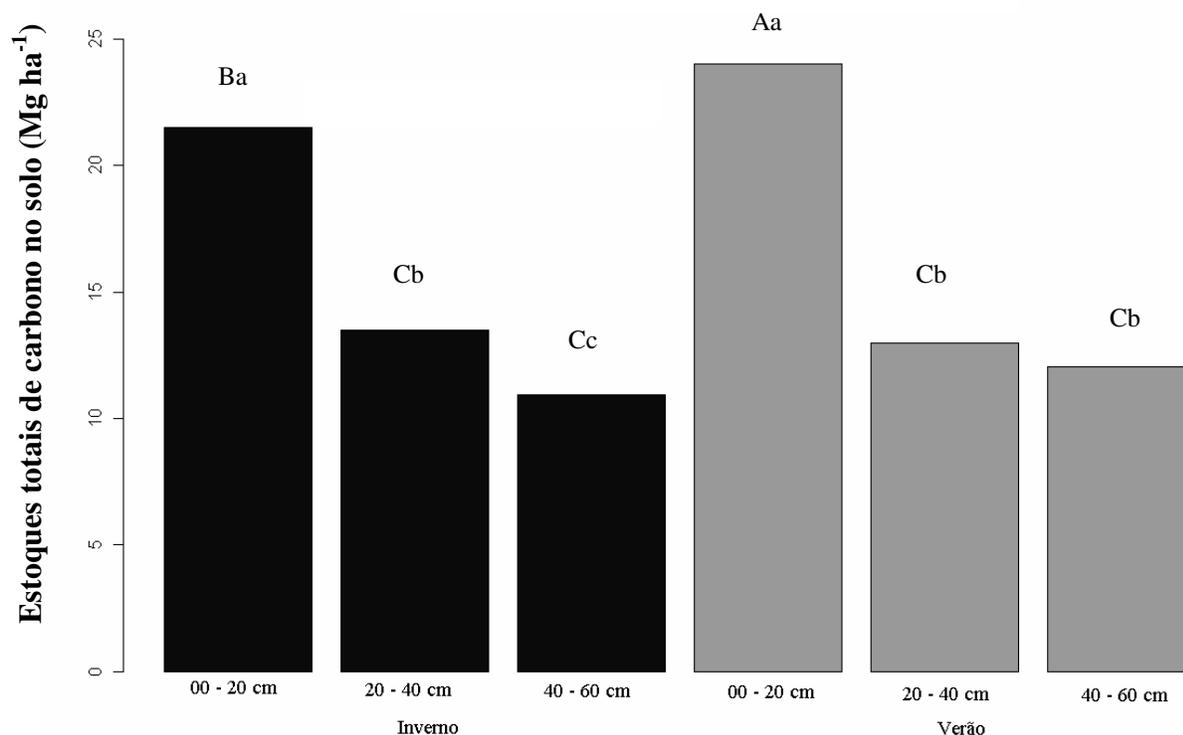


Figura 22: Estoques totais de carbono orgânico no solo ao longo do perfil para cada sítio estudado na interação sazonalidade e profundidade. (Letras iguais minúsculas dentro dos períodos de coleta e maiúsculas entre os períodos não diferem entre si a 5% de probabilidade).

Na Tabela 8, observa-se os resultados do fragmento de mata do presente estudo quando comparados à outros sistemas estudados, mostrando que, tomando

como referência o fragmento de Cerrado, todos as demais áreas com diferentes sistemas de manejo apresentaram maiores estoques de carbono no solo ao longo de um perfil de 40 cm de profundidade.

Tabela 8: Estoque total de carbono orgânico em um Neossolo Quartzarênico para quatro sistemas estudados em três profundidades.

Sistemas (Totais)	Profundidades (cm)			Total
	0-20	20-40	40-60	
-----Estoque C (Mg ha ⁻¹)-----				
Fragmento de Cerrado	18,7b A	9,5 b B	8,7 a B	36,9 c
<i>Eucalyptus grandis</i> (0 a 1 ano de idade)	25,5a A	15,3 a B	11,9 a B	52,7 a
<i>Eucalyptus grandis</i> (3 a 4 anos de idade)	25,3a A	13,3 a B	12,6 a B	51,3 a
<i>Eucalyptus grandis</i> (6 a 7 anos de idade)	19,9b A	13,3 a B	11,6 a B	44,9 b

Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Entendendo um pouco mais a distribuição dos estoques totais de carbono no solo, a Figura 23 mostra que houve um ganho de C pelos plantios puros quando comparados à parcela-controle, o que também foi observado por O'Connell e Sankaran (1997) *apud* Caldeira et al. (2002). Esses autores afirmam que a distribuição de carbono nos diversos componentes do ecossistema e o efeito disso nas taxas da ciclagem de nutrientes parecem ser a maior diferença entre estas espécies exóticas e muitas florestas naturais.

A Figura 23 apresenta segundo o modelo de Siqueira et al. (2008), o caminho percorrido pelo carbono no solo ao longo do ciclo do eucalipto comparando-se com uma área-testemunha (Fragmento de Cerrado *Strictu sensu*). Essa área, para o presente trabalho, foi considerada o sistema em equilíbrio, sem a intervenção humana nos últimos 20 anos.

Através da implantação dos talhões de *Eucalyptus grandis*, para o presente trabalho, houve um ganho na biomassa do solo pela deposição de material vegetal produzido por esses plantios onde são relatadas baixas taxas de decomposição, o que acarretou em um aumento da quantidade de nutrientes na interface serapilheira-solo, com alta relação C/N. Essa baixa taxa de decomposição seria, em parte, decorrente da eficiente retranslocação

de nutrientes (ciclagem biogeoquímica) pelo eucalipto, produzindo uma serapilheira de baixa qualidade nutricional, especialmente em N e P, podendo ser visto segundo Costa et al. (2008); Gama-Rodrigues & Barros (2002).

Os sistemas estudados com idades de 0 a 1 ano e de 3 a 4 anos não diferiram estatisticamente entre si, mas diferiram das áreas com 6 a 7 anos e do fragmento de Cerrado. Do sítio referente ao meio do ciclo até o sítio próximo ao corte houve um processo de perda de carbono no solo decorrente da diminuição do aporte de matéria orgânica no solo e da estabilização desse sistema.

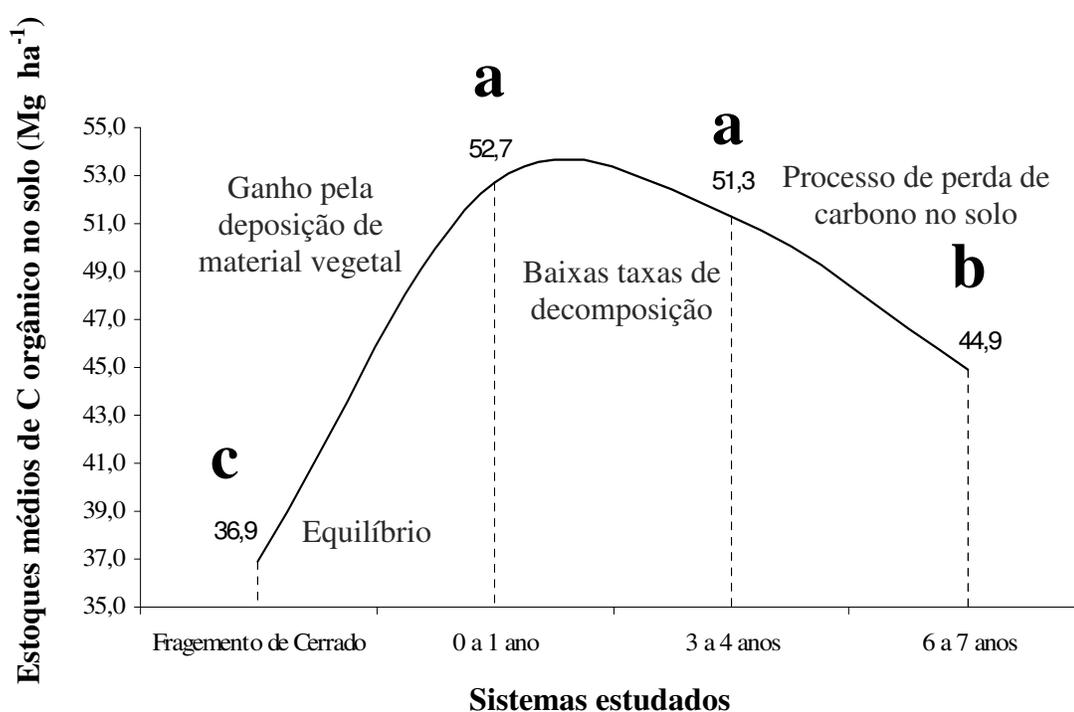


Figura 23: Curva de distribuição dos estoques totais de carbono de 0 a 60 cm de profundidade entre os plantios puros e o fragmento de Cerrado.

5 DISCUSSÃO

Vários estudos realizados na área de quantificação do estoque ou dos teores de carbono orgânico no solo, visando o conhecimento do funcionamento do compartimento-solo, têm apresentado padrões semelhantes aos encontrados no presente estudo, com um decréscimo das quantidades de carbono com o aumento da profundidade do solo (SZAKÁCS, 2003; RESCK et al, 2008; MONTERO, 2008).

A teoria de acúmulo de C no solo é baseada em mecanismos de estabilização e leva em conta a interação do material orgânico com minerais do solo e sua proteção pelo efeito de agregação. Como existe a necessidade da interação entre superfícies minerais e matéria orgânica, sugere-se que o acúmulo de carbono no solo seja finito (ALVES et al., 2008).

O presente trabalho encontrou as maiores concentrações de carbono na camada mais superficial, o que é confirmado por Montero (2008), o qual afirma que, na camada superficial do solo, as quantidades de carbono e matéria orgânica são máximas porque a maioria do material orgânico se incorpora ao solo a partir da decomposição da serapilheira e das raízes finas que, principalmente em solos tropicais, estão concentradas na superfície.

O aumento ou diminuição deste estoque depende da quantidade e qualidade da matéria orgânica que entra no solo, os quais, junto à taxa de decomposição, são determinados pela interação entre clima, atributos do solo e uso e manejo das terras, levando-se em conta seu histórico de uso (FIDALGO et al., 2007).

Em dados relativos, o fragmento de Cerrado foi o sistema que apresentou os maiores valores percentuais de carbono, com 57% no verão, seguido pelo sistema de 3 a 4 anos com 52,2%.

A área de 0 a 1 ano de idade foi a única que apresentou o maior percentual no inverno, apresentando um valor de 50,6%. Para o presente estudo, mais de 60% de todo carbono estocado está em uma profundidade de 0 a 40 cm, resultado semelhante ao trabalho de Brossard et al. (1997) que, estudando o estoque de carbono em sete perfis de solo até uma profundidade de 2,1 metros (em áreas correspondentes ao Cerradão, Cerrado, Campo Sujo, Campo Limpo, Mata Ciliar, pastagem nativa sob vegetação de Cerrado e pastagem), concluíram que na camada de 0 a 50 cm estavam cerca de 50% de todo o carbono estocado no perfil de solo.

No presente estudo, os resultados mostram que foram estocados entre 19,9 e 25,5 Mg ha⁻¹ entre os plantios de eucalipto de 0 a 20 cm de profundidade, o que pode ser comparado aos trabalhos de Bustamante et al (2006) e Silva et al. (2004) (Tabela 12), que entre seus resultados para plantios de eucalipto, mostram que os estoques, para uma profundidade de 0-20 cm, podem variar de 24,9 a 43,3 Mg ha⁻¹.

Analisando separadamente o estoque total de carbono orgânico no solo por profundidade, nota-se que existiram grandes diferenças entre o sistema-controle e as áreas manejadas dos plantios de eucalipto, sendo que o que mais se aproximou do sistema de referência foi o plantio de eucalipto de 6 a 7 anos de idade.

Não houve diferença significativa entre os totais de carbono estocados para o perfil de 0 a 60 cm de profundidade entre os plantios de eucalipto de 0 a 1 ano e 3 a 4 anos (Figura 21), para os demais sistemas, houve diferença, até mesmo entre o fragmento de Cerrado e o plantio de eucalipto de 6 a 7 anos, onde existia uma tendência de apresentarem estoques mais semelhantes entre si quando comparados com as demais áreas estudadas, isto se deve, segundo Burle et al. (1997) e Bayer et al. (2000b) à deposição do material vegetal dos plantios homogêneos, pois, o plantio direto ou sistemas de cultivo com grande aporte de resíduos orgânicos de longa duração resulta num aumento dos estoques de carbono orgânico no solo. Isso explica os elevados estoques nos plantios de eucalipto através da elevada deposição do material vegetal desses plantios puros (Tabela 9).

Bustamante et al. (2006) estimaram, ainda, que os estoques de C em diferentes compartimentos de um cerrado *strictu sensu* do Brasil Central (na vegetação e no solo a 100 cm de profundidade) foi de 265 Mg ha⁻¹ de carbono, subdivididos nos estratos arbóreo (28,5 Mg ha⁻¹) e herbáceo (4 Mg ha⁻¹), serapilheira (5 Mg ha⁻¹), raízes e detritos (42,5 Mg ha⁻¹) e matéria orgânica do solo (185 Mg ha⁻¹).

Ao longo de um perfil de solo de 1 metro de profundidade, para plantios de eucalipto, Silva et al. (2004) encontrou em solos arenosos, cerca de 60 Mg ha⁻¹ de carbono, sendo que para a profundidade de 0-20 foi encontrado cerca de 21,0 Mg ha⁻¹, o que pode ser comparado com o presente estudo, onde o plantio de 0 a 1 ano de idade estocou 52,7 Mg ha⁻¹ somente até 60 cm de profundidade, e de 0 a 20 estocou 25,5 Mg ha⁻¹; o talhão de eucalipto de 3 a 4 anos de idade estocou de 0 a 20 cm de profundidade 25,3 Mg ha⁻¹. O plantio de eucalipto de 6 a 7 anos foi o que mais se aproximou dos resultados das coletas do fragmento de Cerrado com um total para os perfis de 44,9 e 36,9 Mg ha⁻¹, respectivamente.

Tabela 9: Comparação da cumulação de C para diferentes usos do solo.

Camada (cm)	Fragmento de Cerrado ²	Pastagem nativa ¹	<i>B. decumbens</i> ¹	<i>B. decumbens</i> + leguminosas ¹	<i>Eucalyptus grandis</i> ² (0-1 ano)	<i>Eucalyptus grandis</i> ² (3-4 anos)	<i>Eucalyptus grandis</i> ² (6-7 anos)
0-20	18,7	31,1	30,8	32,4	25,5	25,3	19,9
20-40	9,5	26,3	23,1	25,6	15,3	13,3	13,3
Total	28,2	57,4	53,9	58,0	40,8	38,6	33,2

¹ (Adaptado de Silva et al. 2004).

² Presente estudo.

Algumas espécies exóticas, tais como o *Eucalyptus sp*, *Pinus sp* e *Casuarina sp* são alguns exemplos de indivíduos que estão sendo usados para estabelecer plantações homogêneas, devido à uma elevada deposição de material vegetal nos solos, acumulando uma maior quantidade de carbono orgânico na serapilheira do que em florestas naturais. A decomposição mais lenta da serapilheira e a imobilização dos nutrientes são as principais causas do alto teor de nutrientes e carbono orgânico no solo florestal (CALDEIRA et al., 2002).

O estoque de C do solo calculado apresentado neste trabalho, segundo a literatura, depende de uma série de fatores que interagem entre si, sendo eles: profundidade do solo, conteúdo de argila e mineralogia, atributos estruturais e a habilidade em formar agregados, retenção de umidade no solo, densidade de cargas e superfície específica, além do histórico da área (LAL, 2006). Esses são os motivos pelos quais se buscou avaliar, também, se o manejo da vegetação implantada em áreas de plantios puros interferiria no conteúdo de C no solo, o que acabou se confirmando pelos resultados obtidos.

O regime de chuvas não interferiu diretamente na quantidade de material vegetal depositado sobre o solo

6 CONCLUSÕES

- 1) O manejo nas áreas estudadas interferiu no acúmulo de carbono orgânico no solo;
- 2) Os solos sob o fragmento de Cerrado estocam menos carbono no solo que os plantios de eucalipto ao longo de um perfil de 60 cm de profundidade;
- 3) Há diferença no acúmulo de carbono entre os períodos, onde o maior estoque foi encontrado no verão, de 0 a 20 cm de profundidade.

7 REFERÊNCIAS

AGUIAR, L.M.S.; MACHADO, R.B.; MARINHO-FILHO, J. A diversidade biológica do Cerrado. In: AGUIAR, L.M.S & CAMARGO, A.J.A. (Eds). **Cerrado: ecologia e caracterização**. Planaltina: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p. 17-40.

ALVES, B. J. R.. et al. Dinâmica do carbono em solos sob pastagens. In: SANTOS, G. A. et al. (Eds). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. cap. 29, p. 561-570.

ANDRADE, A. G. **Ciclagem de nutrientes e arquitetura radicular de leguminosas arbóreas de interesse para revegetação de solos degradados e estabilização de encostas**. 1997. 182 f. Tese (Doutorado em Agronomia)-Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 1997.

ANDRADE, E. N. **O eucalipto**. 2. ed. São Paulo: Oficinas Tipográficas da Companhia Paulista de Estradas de Ferro, 1961. 667 p.

ANDRADE, C. A. et al. Qualidade da matéria orgânica e estoques de carbono e nitrogênio em Latossolo tratado com biossólido e cultivado com eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 29, p. 803-816, set. 2005.

BADDEY, R. M. et al. **Sequestro de carbono em solos sob sistemas agropecuários produtivos**. Seropédica: EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Agrobiologia, 2004. 3 p. (Boletim técnico).

BATJES, N. H. Options of increasing carbon sequestration in west African soils: an exploratory study with special focus on Senegal. **Land Degradation and Development**, v. 12, p.131-142, 2001.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999. p. 9-26.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; MARTIN-NETO, L.; CERETTA, C. A. Effect of on no till ropping systems on soil organic matter in an sandy clay loan Acrisol from southern Brazil monitored by electron spin resonance and nuclear magnetic resonance of ^{13}C . **Soil Tillage**, Amsterdam, v. 53, p. 95-104, 2000b.

BERZAGHI, A. J. P. **Dinâmica da serapilheira na Mata de Araucária e Podocarpus do Parque Estadual de Campos do Jordão**. 1994. 118 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia)-Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

BROSSARD, M. et al. Estoques de carbono em solos sob diferentes fisionomias de cerrados. In: LEITE, L. L.; SAITO, C. H. (Eds). **Contribuição ao conhecimento ecológico do cerrado**. Brasília, DF: UnB, 1997. p. 272-277.

BURLE, M. L.; MIELNICZUK, J.; FOCCHI, S. Effect of cropping systems on soil chemical characteristics, with emphasis on soil acidification. **Plant and Soil**, The Hague, v. 190, p. 309-316, 1997.

BUSTAMANTE, M. M. et al. Soil carbon and sequestration potencial in the cerrado region of Brazil. In: LAL, R. et al. (Eds). **Carbon sequestration in soils of Latin America**. New York: Food Product, 2006. p. 285-299.

CALDEIRA, M. V. W. et al. Carbono orgânico em solos florestais. In: SANQUETTA, C. R. et al. (Eds.). **As florestas e o carbono**. Curitiba: Ecoplan, 2002. p. 191-213.

CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A; RAIJ, B. van. Determinação da matéria orgânica, In: _____. (Eds.). **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: IAC, 2001. cap. 9, p. 173-180.

CASTANHO, C. T. **Fatores determinantes no processo de decomposição em florestas do Estado de São Paulo**. 2005. 112 f. Dissertação (Mestrado Biologia comparada)-Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2005.

CERRI, C. C.; CERRI, C. E. P. **Agricultura e aquecimento global**. Piracicaba: ESALQ, Centro de Energia Nuclear na Agricultura, 2007. 9 p.

CHAER, G. M.; TOTOLA, M. R. Impacto do manejo de resíduos orgânicos durante a reforma de plantios de eucalipto sobre indicadores de qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 6, p. 1381-1396, nov./dez. 2007.

CORREIA, M. E. F.; ANDRADE, A. G. Formação de serapilheira e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, J. A. O. **Fundamentos da matéria orgânica no solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999. 491 p.

COSTA, F. S. et al. Estoque de carbono orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistemas de manejo no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, n. 32, p. 323-332, out. 2008.

D'ANDREA, A. F. et al. Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 39, n. 2, p. 179-186, fev. 2004.

D'ANDREA, A. F. **Fluxo de CO₂ do solo em áreas com cafeeiros e povoamentos florestais**. 2004. 97 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004.

DELITTI, W. B. C. Ciclagem de nutrientes em matas ciliares. **Silvicultura em São Paulo**, São Paulo, SP, n. 16A, p. 88-98, mar. 1982.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF, 1999. 412 p.

ESPÍRITO-SANTO, F. D. B. et al. Variáveis ambientais e a distribuição de espécies arbóreas em um remanescente de Floresta Estacional Semidecídua Montana no campus da Universidade Federal de Lavras, MG. **Acta Botânica Brasílica**, Lavras, MG, v. 16, n. 3, p. 331-356, mar. 2002.

FIDALGO, E. C. C. et al. Estoque de carbono nos solos do Brasil. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, Rio de Janeiro, n. 121, p. 1-27, dez. 2007.

FREITAS, T. A. S. et al. Dinâmica de raízes de espécies arbóreas: visão da literatura. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 18, n. 1, p. 133-142, jan./mar. 2008.

GAMA-RODRIGUES, A.C.; BARROS, N.F. Ciclagem de nutrientes em floresta natural e em plantios de eucalipto e de dendê no sudeste da Bahia, Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 26, p. 193-207, 2002.

GARAY, I.; KINDEL, A. Diversidade funcional em fragmentos de Floresta Atlântica: valor indicador das formas de húmus florestais. In: _____. (Eds.). **Conservação da biodiversidade em ecossistemas tropicais**. Petrópolis: Vozes, 2001. p. 350-368.

GOLLEY, F. B. **Ciclagem de minerais em um ecossistema de floresta tropical úmida**: tradução de Eurípides Malavolta. São Paulo: EPU; EDUSP, 1978. 256 p.

KINDEL, A. et al. **Quantificação dos horizontes húmicos e dinâmica da decomposição de Material Foliar em Solos Florestais**: contribuição ao estudo de sequestro de carbono. Comunicado Técnico. Rio de Janeiro: ISSN 1517-5685. p. 1-8. 2003.

KUNIYOSHI, Y. S. Reconhecimento de fases sucessionais de vegetação. In: SEMINÁRIO SOBRE AVALIAÇÃO E RELATÓRIO DE IMPACTO AMBIENTAL, 1, 1989, Curitiba. **Anais...** Curitiba: FUPEF, 1989. p. 97-107.

LACLAU, J. P. et al. Spatial distribution of *Eucalyptus* roots in a deep sandy soil in the Congo: relationships with the ability of the stand to take up water and nutrients. **Tree Physiology**. France, v. 21, p. 129-136, 2001.

LACLAU, J. P. et al. The function of the superficial root mat in the biogeochemical cycles of nutrients in Congolese Eucalyptus plantations. **Annals of Botany**. France, v. 93, p. 249-261, 2004.

LAL, R. Soil carbon sequestration in Latin America. In: LAL, R. et. (Eds). **Carbon sequestration in soils of Latin America**. New York: Food Product, 2006. p. 49-63.

LAVELLE, P. et al. A hierarchical model for decomposition in terrestrial ecosystems: applications to soils of sumid tropics. **Biotropica**, Washington, DC, v. 25, n. 2, p. 130-150, 1993.

LOPES, M. I. S. et al. Ciclagem de nutrientes minerais. In: SYSLVESTRE, L. S.; ROSA M. M. T. **Manual metodológico para estudos botânicos na mata atlântica**. Seropédica: UFRRJ, EDUR, 2002. p. 72-102.

MONTERO, L. L. **Carbono em solos de cerrado**: vegetação nativa de cerradão versus plantios de *Eucalyptus* e *Pinus*. 2008. 130 f. Tese (Doutorado em Ecologia)-Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

O'CONNELL, A. M.; SANKARAN, K. V. Organic matter accretion, decomposition and mineralisation. In: NAMBIAR, E. K. S.; BROWN, A. G. (Eds.). **Management of soil, nutrients and water in tropical plantations forests**, Camberra: ACIAR; CSIRO, p.443-480, 1997. 571 p. (Monograph, n. 43).

OLIVEIRA, R. E. **Aspectos da dinâmica de um fragmento florestal em Piracicaba-SP**: silvigênese e ciclagem de nutrientes. 1997. 79 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1997.

PINTO, S. I. C. **Florística, estrutura e ciclagem de nutrientes em dois trechos de floresta estacional semidecidual na reserva florestal mata do paraíso, Viçosa-MG**. 2005. 110 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

POGGIANI, F. Alterações dos ciclos biogeoquímicos em florestas. In: CONGRESSO NACIONAL SOBRE ESSÊNCIAS NATIVAS, 2., 1992, São Paulo, SP. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 3, p. 734-739, 1992.

POGGIANI, F.; SCHUMACHER, M. V. Nutrient cycling in native forests. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Eds.). **Forest nutrition and fertilization**. Piracicaba: IPEF, 2004. p. 285-306.

PRITCHETT, W. L. **Properties and management of forest soils**. New York: John Wiley, 1979. v. 1, 500 p.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **Foundation for statistical computing**. Vienna, 2008. Disponível em: <<http://www.R-project.org>>. Acesso em: 15 out. 2008.

RESCK, D. V. S. Manejo de solos e sustentabilidade dos sistemas agrossilvipastoris na região dos Cerrados. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO, INTERNATIONAL (SYMPOSIUM ON TROPICAL SAVANNAS), 1., 1996, Brasília, DF. **Anais...** Brasília, DF: EMBRAPA, CPAC, 1996. p. 81-89.

RESCK, D. V. S. et al. Dinâmica da matéria orgânica no Cerrado. In: SANTOS, G. A.; SILVA, (Eds.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. cap. 21, p. 359-418.

RESENDE, A. V. O estoque de carbono no Cerrado: um estudo de caso. In: SANQUETTA, C. R. et al. (Eds.). **As florestas e o carbono**. Curitiba: Ecoplan, 2002. p. 175-190.

RICHTER, D.D.; BABBAR, L.I. Soil Diversity in the Tropics. **Advances in Ecological Research**. Academic Press, London, v. 21, p. 100-113, 1991.

RYLTER, R. M. **Fine root production and carbon and nitrogen allocation in basket willows**. 1997. Thesis (Doctor in Agricultural Sciences.)-Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, 1997.

RODRIGUES, R. R.; GANDOLFI, S. Conceitos, tendências e ações para a recuperação de florestas ciliares. In: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO FILHO, H. F. **Matas ciliares: conservação e recuperação**. São Paulo: EDUSP; FAPESP, 2000. cap.15, p. 233-247.

SANTOS, D. B. dos; COELHO, E. F. AZEVEDO, C. A. V. de Absorção de água pelas raízes do limoeiro sob distintas frequências de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, n.3, p.327-333, 2005.

SCHUMACHER, M. V. **Aspectos da ciclagem de nutrientes e do microclima em talhões de *Eucalyptus camaldulensis*, *E. grandis* e *E. torrelliana***. 1992. 104 p. Dissertação (Mestrado em Ciências)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1992.

SILVA, J. C. **Eucalipto: a madeira do futuro**. Curitiba: Revista da madeira, 2001. 114p.

SILVA, J. E. da. et al. Carbon storage in a clayey oxisol cultivated pastures in the “Cerrado” region, Brazil. **Agriculture Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 103, p. 357-363, 2004.

SILVA, L. V.; PASQUAL, A. Dinâmica e modelagem da matéria orgânica do solo com ênfase ao ecossistema tropical. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 14, n. 3, p. 13-24, 1999.

SIQUEIRA, J. O.; SOARES, C. R. F. S.; SILVA, C. A. Matéria orgânica em solos de áreas degradadas. In: SANTOS, G. A. et al. (Eds.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Metrópole, 2008. cap. 26, p. 495-524.

SOUZA, J. A.; DAVIDE, A. C. Deposição de serapilheira e nutrientes em uma mata não minerada e em plantações de bracatinga (*Mimosa scabrela*) e de eucalipto (*Eucalyptus saligna*) em áreas de mineração de bauxita. **CERNE**, Viçosa, MG, v. 7, n. 1, p. 101-113, fev. 2001.

SPURR, S. H.; BARNES, B. V. **Forest ecology**. New York: John Wiley, 1973. 687 p.

SZAKÁCS, G. G. J. **Sequestro de carbono nos solos: avaliação das potencialidades dos solos arenosos sob pastagens**. 2003. 102 f. Dissertação (Mestrado em Ciências)-Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Anhembi, 2003.

VITOUSEK, P. M.; SANFORD, R. L. Jr. Nutrient cycling in most tropical forest. **Annual Review Ecology Science**, Stanford, California, v. 17, p. 137-167, 1986.

WALKLEY, A.; BLACK, I. A. An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic titration method. **Soil Science**, v. 37, p. 29-38, 1934.

WATSON, R. T. et al. (Eds.). **Land use, land-use change, and forestry**. Cambridge: Cambridge University Press, 2000. 375 p. Intergovernmental Panel on Climate Change. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/ipccreports/special-reports.htm>>. Acesso em: 8 ago. 2007.