Universidade de São Paulo
Departamento de Ecologia, Instituto de Biociências

Leda Lorenzo Montero

Carbono em solos de cerrado: efeitos do uso florestal

[vegetação nativa de *cerradão* versus plantios de *Eucalyptus* e *Pinus*]

São Paulo, 2008

Universidade de São Paulo.
Departamento de Ecologia, Instituto de Biociências.

Leda Lorenzo Montero

Carbono em solos de cerrado:
efeitos do uso florestal
(vegetação nativa de *cerradão*, versus plantios de *Eucalyptus* e *Pinus*)

São Paulo, 2008.

Universidade de São Paulo.
Departamento de Ecologia, Instituto de Biociências.

Leda Lorenzo Montero

Carbono em solos de cerrado:
efeitos do uso florestal
(vegetação nativa de *cerradão*, versus plantios de *Eucalyptus* e *Pinus*)

Tese apresentada ao Instituto de
Biociências da Universidade de São
Paulo, para a obtenção do Título de
Doutor em Ciências, na área de
Ecologia.

Orientador: Welington B. C. Delitti.

São Paulo, 2008.

Ficha Catalográfica

L 869c Lorenzo-Montero, Leda.
 Carbono em solos de cerrado: efeitos do uso florestal
(vegetação nativa de *cerradão*, versus plantios de *Eucalyptus* e
Pinus) / Leda Lorenzo-Montero. – São Paulo : L. L. M., 2008.
 130 p. : il.

 Tese (Doutorado) – Instituto de Biociências da
Universidade de São Paulo. Departamento de Ecologia, 2008.

 1. Biogeoquímica 2. Ecologia florestal 3. Cerrado - Solo
I. Universidade de São Paulo. Instituto de Biociências.
Departamento de Ecologia. II. Título.

LC QH 343.7

É permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte.

Folha de aprovação

L 869c Lorenzo-Montero, Leda.
 Carbono em solos de cerrado: efeitos do uso florestal
(vegetação nativa de *cerradão*, versus plantios de *Eucalyptus* e
Pinus) / Leda Lorenzo-Montero. – São Paulo : L. L. M., 2008.
 130 p. : il.

 Tese (Doutorado) – Instituto de Biociências da
Universidade de São Paulo. Departamento de Ecologia, 2008.

 1. Biogeoquímica 2. Ecologia florestal 3. Cerrado - Solo
I. Universidade de São Paulo. Instituto de Biociências.
Departamento de Ecologia. II. Título.

LC QH 343.7

Comissão Julgadora:

Prof(a). Dr(a)

Prof(a). Dr(a)

Prof(a). Dr(a)

Prof(a). Dr(a)

Prof. Dr. Welington Bras Carvalho Delitti

Orientador

Dedicatória

A todos aquellos que llevo en el corazón
cosidos con hilos de mil colores:

A mi abuelo Benito, sus dedos mimosos como flores amarillas
me guían los pasos, somos *mente contínua*.

A mi madre, cantadora de cuentos de bosque y nieve,
que me enseñó luchar por lo que uno quiere,
a crecer sin dejar de soñar
y hacerme adulta sin olvidar jugar.

A mi padre, inteligente y tenaz,
que me enseñó con su ejemplo a domar la voluntad.

A Celena y el resto de la familia,
incluída la abuela y su alma andarilla.

A mis amigos, habitantes de dos costas atlánticas,
que han creado un hogar sin distancia oceánica.

Y por último, recuerdo con la luna,
a la estirpe de mujeres fuertes de que provengo,
pues están ellas en mí y somos todas una.

Agradecimentos

Às agências financiadoras que possibilitaram a realização do presente estudo: Agência espanhola de Cooperação Internacional (AECI) e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP).

Às instituições que me deram apoio logístico ou institucional: o Departamento de Ecologia do Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo (IB USP), onde elaborei o meu trabalho, o Centro de Estudos Nucleares na Agricultura (CENA) e o Departamento de Solos e Nutrição de Plantas da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ USP), o Instituto Florestal do estado de São Paulo (IF) e o Instituto de Botânica do estado de São Paulo (IB). Aos muitos funcionários dessas instituições cujo trabalho possibilitou o meu.

Ao professor Welington Delitti, o meu orientador, por mostrar-se sempre compreensivo e humano.

Às pessoas que, por simples simpatia ou amor à natureza, me acompanharam em uma ou mil viagens de campo: Amuni, Beto, Bruno, Kika, Patrick, Maíra, Ângela, Aline e, claro, ao Paulo, pela ajuda prestada em tantas ocasiões nas várias etapas deste trabalho: campo, fotos, assessoria digital, reflexiones compartilhadas em voz alta e o apoio (e *desapoio*) moral.

À Maíra pela boa amizade e o lindo (e temático) desenho da capa.

Aos professores Jean Paul Laclau, Marisa Dantas Bitencourt, Paulo Ignácio K.Lópes de Prado, Ramón Vallejo e Sergio Tadeu Meirelles, pelas dicas, ajuda e sugestões.

Aos que tiveram o interesse e a paciência de ler a pré-tese, ou parte dela: Ima, Camila (valeu a retro-alimentação positiva!), Paki, Paulo, Prof. Marisa Dantas, e o meu pai, Eduardo Lorenzo, o mais paciente dos revisores.

Às pessoas que confiaram em mi quando este trabalho não era mais do que uma idéia: Consuelo Prado, Miguel Fernández, Marico Meguro. Ao Roberto e à Cristina que foram uma *família de acolhida* encantadora, pela ajuda e amizade. À Paki *disquepaki*, pela força e irmandade.

E, por último, às pessoas que contribuíram com este trabalho de alguma forma e cujos nomes não lembrei nesta última hora para a qual deixei os agradecimentos.

Epígrafe

“Juzgamos pequeño lo que vemos de lejos o no sabemos ver. Aun adoptando el punto de vista del egoísmo humano, ¡que de cuestiones de alta humanidad laten en el misterioso protoplasma del más humilde microbio! Nada parece más trascendental en bacteriología que el conocimiento de las bacterias infecciosas, y nada más secundario que el de los microbios inofensivos pululantes en las infusiones y materias orgánicas en descomposición; y, no obstante, si desapareciesen estos humildes hongos, cuya misión es reintegrar a la circulación general de la materia los principios secuestrados por animales y plantas superiores, bien pronto el planeta se tornaría inhabitable para el hombre. (...) En resumen, no hay cuestiones pequeñas; las que lo parecen son cuestiones grandes no comprendidas. En vez de menudencias indignas de ser consideradas por el pensador, lo que hay es hombres cuya pequeñez intelectual no alcanza a penetrar la transcendencia de lo minúsculo. Constituye la Naturaleza mecanismo armónico, donde las piezas, aun las que parecen desempeñar oficio accesorio, conspiran al conjunto funcional”

Santiago Ramón y Cajal, *Los tónicos de la voluntad* p. 47

Resumo

Carbono em solos de cerrado: efeitos do uso florestal (vegetação nativa de cerrado versus plantios de *Eucalyptus* e *Pinus*)

Os objetivos do presente trabalho foram avaliar o potencial de acúmulo de carbono (C) em solos de cerrado sob diferentes usos florestais (*Eucalyptus*, *Pinus* versus vegetação natural) e as possíveis alterações ocorridas na ciclagem de nutrientes sob esse tipo de coberturas. Para isso, foram coletadas 30 amostras de solo (0-5, 10-25 e 35-50 cm) e de serrapilheira acumulada em plantios de *Eucalyptus*, *Pinus* e remanescentes de cerrado em quatro municípios do estado de SP, nas quais se determinou: pH, matéria orgânica (MO), C, macronutrientes e densidade, além da granulometria no solo.

Os estoques de C do solo foram calculados através do ajuste e integração de equações exponenciais, obtendo-se valores entre 3,4 e 8,6 kgC.m⁻². (na camada de 0 a 30 cm) e entre 5,7 e 11,3 kgC.m⁻². (até 1m). Os resultados mostraram que a silvicultura de *Eucalyptus* e *Pinus* afeta o acúmulo de C e a ciclagem de nutrientes em áreas de cerrado. As alterações nos estoques de C ocorreram principalmente nos horizontes orgânicos e na camada superficial do solo em decorrência da substituição da MO original por outra de pior qualidade química. A influência do tipo de vegetação sobre o C da camada superficial do solo variou em função de características do sítio, verificando ganhos em alguns dos locais estudados, perdas em outros e ainda diferenças não significativas. Em profundidades maiores, o conteúdo de C mostrou-se fortemente relacionado com o teor de argila e diminuiu sob cultura de *Eucalyptus* e *Pinus*, sendo mais fortes as depleções sob *Pinus*. Nos plantios houve formação de horizontes orgânicos espessos, com concentrações de C elevadas. A concentração de nitrogênio (N), cálcio, magnésio e potássio do material aí acumulado foi menor do que nas áreas naturais, enquanto que a acidez e a relação C/N foram maiores. Isso pode inibir a decomposição, o que explicaria o maior armazenamento de C na serrapilheira. A incorporação desse material ao solo implica em alterações da MO, que é um dos principais fatores de estruturação e fertilidade dos solos tropicais e foi afetada em quantidade e qualidade. As relações C/N quantificadas na camada superficial do solo foram significativamente maiores do que em áreas de vegetação natural, indicando substituição da MO nessa camada no tempo de vida dos plantios (~40 anos). Os resultados demonstram a ocorrência de alterações na qualidade química da MO na serrapilheira e no solo superficial sob uso silvicultural, as quais podem originar maiores estoques e tempos de residência do C, mas também diminuições de recursos tróficos para a comunidade decompositora, com implicações no resto do ecossistema. Os resultados sugerem que a dinâmica do carbono do solo varia ao longo do perfil, sendo necessário esclarecer melhor os fatores que definem o carbono da camada superficial, maior em quantidade e mais sensível aos efeitos do manejo.

Palavras chave: carbono do solo, cerrado, *Eucalyptus*, *Pinus*, uso florestal.

Abstract

Land Use Effects on Soil Organic Carbon: natural vegetation (*cerradão*) versus *Eucalyptus* and *Pinus* plantations

Effects on soil organic carbon storage potential and possible biogeochemical changes of established forest plantations were assessed in southeast Brazil, in *Eucalyptus* and *Pinus* plantations compared with natural areas of native dry forest (*cerradão*). 30 plots were randomly distributed for soil (0-5, 10-25 and 35-50 cm) and forest floor litter collection in mature plantations (~40 years old) and adjacent native forest. The design was replicated in 4 localities in Sao Paulo, southeast Brazil. Organic matter, organic carbon, macro nutrients, pH, density, and soil texture were determined.

Soil organic carbon stocks were calculated through exponential equations adjustment and integration, values ranged from 3,4 to 8,6 kgC.m⁻².(on the 0 and 30 cm layer) and from 5,7 to 11,3 kgC.m⁻².(up to 1m). Soil organic carbon and biogeochemical features were affected under *Eucalyptus* and *Pinus* plantations. Changes in carbon stocks were stronger in organic layers and topsoil, due to the replacement of the original organic matter, causing chemical quality decrease. Effects of vegetation on topsoil organic carbon were site dependent, as plantations results in gains, losses and no remarkable differences between natural and forested areas. *Eucalyptus* and *Pinus* establishment led to organic carbon losses, which possibly conducted by soil disturbances at implementation of plantations. Carbon content was strongly related to clay at deeper layers, but not at shallower ones. Thicker organic layers with higher carbon content were found under plantations. Lower calcium, magnesium and potassium concentrations and higher acidity and C/N (carbon to nitrogen) ratios were measured at implanted forest floor litter layers. These changes could inhibit decomposition, explaining larger litter carbon storage. Soil organic matter is an important factor in maintaining tropical soil structure and fertility. It was affected by *Eucalyptus* and *Pinus* forestation. While litter organic mater is incorporated into the soil, it leads to soil organic matter chemical quality decreases. The topsoil C/N ratio measured in plantations was significantly higher than in natural vegetation areas, indicating organic matter replacement on this layer in plantations lifetime (~40 years).

We concluded that litter and topsoil organic matter chemical properties were affected by forestation with *Eucalyptus* and *Pinus*, which could result in larger C stocks and residence times, but could also decrease trophic resources for decomposers, with implications on the whole ecosystem. The results suggest that soil carbon dynamics changes along the soil profile. Factors controlling surface soil carbon dynamics must be clarified further, as they contained high carbon amounts, the most sensible to management practices.

Key words: soil carbon, forest use, *Eucalyptus*, *Pinus*, Brazilian dry forest.

Resumen

Carbono en suelos de cerrado: efectos del uso forestal (vegetación natural de *cerrado* versus plantaciones de *Eucalyptus* e *Pinus*)

Los objetivos de este trabajo fueron: evaluar el potencial de acumular carbono y las posibles alteraciones del estado nutricional en suelos de cerrado sometidos a diferentes usos forestales (*Eucalyptus*, *Pinus* versus vegetación natural de *cerrado*). Para ello, se colectaron 30 muestras de suelo (0-5, 10-25 e 35-50 cm) y 30 de hojarasca acumulada sobre el piso forestal en áreas con ese tipo de coberturas en cuatro municipios del estado de San Paulo. En ellas se determinó: pH, contenido en materia orgánica, carbono y macronutrientes, además de la densidad y granulometría del suelo.

Los depósitos de carbono en el suelo se calcularon mediante el ajuste e integración de ecuaciones exponenciales, obteniendo valores entre 3,4 y 8,6 kgC.m⁻².(de 0 a 30 cm) y entre 5,7 y 11,3 kgC.m⁻².(hasta 1m). Los resultados muestran que la silvicultura de *Eucalyptus* y *Pinus* en áreas de cerrado afecta al almacenamiento de carbono y al reciclaje de nutrientes. Las alteraciones en los depósitos de carbono ocurren sobre todo en los horizontes orgánicos y en la superficie del suelo mineral, y son debidas a la substitución de la materia orgánica original por otra de menor calidad química. En el suelo superficial, la influencia del tipo de vegetación sobre el carbono depende de características del sitio. En algunos de los lugares estudiados se observaron incrementos, en otros pérdidas y en otros variaciones poco significativas. En profundidades mayores, el contenido de carbono se mostró fuertemente relacionado con el de arcilla, y disminuyó en cultivos de *Eucalyptus* y *Pinus*, siendo mayor la disminución con este último. En las plantaciones, se observó la formación de horizontes orgánicos espesos, con elevadas concentraciones de carbono. La concentración de nitrógeno, calcio, magnesio y potasio del material acumulado fue menor que en las áreas naturales; mientras que la acidez y la relación carbono/nitrógeno fue mayor. Esto puede inhibir la descomposición de la materia orgánica, lo que explicaría los mayores depósitos de carbono encontrados en la hojarasca. Ese material, de menor calidad química, se incorpora al suelo y va reemplazando la materia orgánica original, que es uno de los factores fundamentales para la estabilidad estructural y la fertilidad de los suelos tropicales. Las relaciones carbono/nitrógeno observadas en el suelo superficial también fueron significativamente mayores en las plantaciones que en las áreas de vegetación natural, comprobando que hubo substitución de la materia orgánica en el tiempo de vida de las plantaciones (~40 años). Los resultados demuestran que, bajo coberturas de *Eucalyptus* y *Pinus*, la calidad química de la materia orgánica de la hojarasca y del suelo disminuye, lo que puede aumentar el tiempo de residencia y la cantidad de carbono acumulado en ambos compartimentos, pero también disminuir los recursos tróficos disponibles para la comunidad descompositora, repercutiendo en todo el ecosistema. Los resultados sugieren que la dinámica del carbono del suelo varía en función de la profundidad, siendo necesario esclarecer mejor los factores definidores del carbono en la superficie, donde hay mayor cantidad y susceptibilidad a las prácticas de manejo.

Palabras llave: carbono del suelo, *cerrado*, *Eucalyptus*, *Pinus*, uso forestal..

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
Justificativa e objetivos	14
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	15
2.1. Áreas de estudo.....	15
2.2. Delineamento experimental.....	23
2.3. Estudo do solo	24
2.4. Estudo da serapilheira acumulada	28
2.5. Caracterização da vegetação.....	29
2.6. Tratamento de dados.....	30
3. RESULTADOS	33
3.1. Caracterização das áreas de campo	33
3.1.1. Perfis de solo	33
3.1.2. Caracterização físico-química dos solos estudados.....	39
3.1.3. Caracterização da vegetação das áreas de estudo	49
3.2. Carbono orgânico do solo.....	52
3.2.1. Distribuições de dados e coeficientes de variação.....	52
3.2.2. Conteúdo de carbono orgânico na massa de solo	53
3.2.3. Relação entre carbono e textura do solo	59
3.2.4. Efeitos da densidade sobre o conteúdo de carbono orgânico do solo	60
3.2.5. Matéria orgânica do solo	62
3.3. Serapilheira acumulada.....	65
3.4. Qualidade química da matéria orgânica na serapilheira e na superfície do solo.....	69
3.5. Estoques de carbono	75

4. DISCUSSÃO	79
4.1. Heterogeneidade espacial das áreas de estudo	79
4.2. Carbono e matéria orgânica do solo	82
4.3. Serapilheira acumulada sob coberturas de cerradão, <i>Eucalyptus</i> e <i>Pinus</i>	91
4.5. Efeitos da silvicultura de <i>Eucalyptus</i> e <i>Pinus</i> em áreas de cerrado	98
5. CONCLUSÕES	103
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	106
7. REFÊRENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	107

1. INTRODUÇÃO

*“Poner bellezas en mi entendimiento,
y no mi entendimiento en las bellezas,
poner riquezas en mi pensamiento,
que no mi pensamiento en las riquezas.”*
Sor Juana de la Cruz.

O ciclo do carbono e a sua implicação na mudança climática

O interesse no ciclo do carbono vem aumentando nas últimas décadas por causa do seu envolvimento na problemática da mudança climática, originada pelo aumento na troposfera de gases que têm a propriedade de absorver e refletir a radiação infravermelha, com conseguintes alterações dos padrões de circulação e redistribuição de energia na Terra.

O gás de efeito estufa com maior concentração na atmosfera é o dióxido de carbono (CO_2), que tem aumentado de valores entre 275 e 285 ppm na era pré-industrial (ano 1000 a 1750) até atingir 379 ppm em 2005, sendo a taxa de crescimento das últimas décadas (entre 1960 e 2005) $1,4 \text{ ppm.ano}^{-1}$ (FORSTER *et al.*, 2007). A principal atividade humana relacionada a este aumento é a queima de combustíveis fósseis, seguida das mudanças no uso da terra, atividades que emitiram volumes aproximados de 6.3 ± 0.4 e $1.6 \pm 0.8 \text{ GtC.ano}^{-1}$ na década de 90 (SCHIMMEL *et al.*, 2002). As emissões devidas à queima de combustíveis fósseis atingiram $7,2 \pm 0,3 \text{ GtC.ano}^{-1}$ entre 2000 e 2005 (FORSTER *et al.*, 2007). É importante entender que isso significa uma desestabilização do ciclo global do carbono (figura 1), sendo que formas recalcitrantes acumuladas em reservatórios com tempos lentos — de milhões de anos nos combustíveis fósseis (FORSTER *et al.*, 2007) e de centenas a milênios nos solos dos ecossistemas terrestres (TORN *et al.*, 1997) — estão sendo liberadas em forma de gás para um reservatório de ciclagem rápida — o tempo de residência de uma molécula de CO_2 na atmosfera é de aproximadamente 2,5 anos (IPCC, 2000).

Formas orgânicas e inorgânicas de carbono são recicladas constantemente entre a atmosfera, os oceanos e os ecossistemas terrestres, sendo que o maior fluxo ocorre entre a atmosfera e a biota terrestre (IPCC, 2000). O CO_2 atmosférico é captado pelas plantas no

processo da fotossíntese, parte dele volta para a atmosfera pela respiração e parte é fixada e utilizada como principal elemento constituinte da biomassa. Nos ecossistemas terrestres, parte do carbono passa a formar parte da camada orgânica acumulada sobre o solo através da deposição de materiais orgânicos descartados ou mortos como galhos e folhas secas, raízes mortas, fezes e carcaças animais, que são posteriormente degradados e incorporados ao solo como matéria orgânica (figura 2). Na decomposição, esses materiais são oxidados liberando CO_2 de volta para a atmosfera. Em função das condições nas quais acontece, a oxidação pode ser rápida e total, liberando CO_2 e nutrientes minerais, ou pode ser parcial, liberando compostos de carbono intermediários (PRIMAVESI, 2002) os quais, através de uma série de processos de degradação e síntese, se constituem em formas recalcitrantes de carbono, capazes de permanecer no solo durante milênios.

Figura 1. Ciclo global do carbono. As caixas representam os reservatórios ($\text{GtC} = 10^{15} \text{gC}$) e as setas os fluxos entre eles (GtC.ano^{-1}). As emissões relativas às perturbações antrópicas correspondem às médias anuais no período de 1989 a 1998. Adaptado de: IPCC, 2000.

Figura 2. Fluxograma conceitual do ciclo do carbono orgânico nos ecossistemas terrestres. O intercâmbio de carbono com a atmosfera é definido pelo balanço entre fotossíntese, respiração e decomposição. As translocações internas do sistema são dominadas pela deposição de serapilheira e posterior decomposição e incorporação aos reservatórios do solo.

O solo como reservatório de carbono

Os solos constituem-se no maior reservatório de carbono da superfície terrestre com quantidades duas a três vezes superiores à acumulada na biomassa (BATJES, 1996). Sombroek, Nachtergaele e Hebel (1993) calculam um acúmulo médio no primeiro metro dos solos de 1220 GtC (gigatoneladas = 10^{15} g) no globo terrestre, o que equivale a 1,5 vezes o da biomassa vegetal. Contudo, reduzir o cálculo ao primeiro metro subestima o estoque total, estimado entre 2157 e 2293 GtC (BATJES, 1996). Os valores reportados por Jobbagy e Jackson (2000) indicam que o estoque global dos primeiros 3 metros do solo (2344 GtC) é 56% maior do que o do primeiro metro (1502 GtC). 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 GtC) e savanas (146 GtC) tropicais (JOB BAGY; JACKSON, 2000). Em solos de cerrado, Brossard *et al.* (1997), que quantificaram os estoques de carbono até uma profundidade de 2,1 metros (18,95 a 24,76 kgC.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 kgC.m⁻²).

Estoques de carbono em solos do Brasil foram quantificados para a região amazônica (HUGHES; KAUFFMAN; CUMMINGS, 2002; SMITH *et al.*, 2002) e de cerrado (BROSSARD *et al.*, 1997; LILIENFEIN *et al.*, 2001; MAQUERE, 2004; ZINN; RESCK; SILVA, 2002). Em solos de cerrado, o menor valor reportado é 8,04 kgC.m⁻² (MAQUERE *et al.*, 2004) e o maior 18,5 kgC.m⁻² (BROSSARD *et al.*, 1997), com quantidade significativa de carvões (3 a 5 kgC.m⁻²) acumulada até 2,1 metros de profundidade (BROSSARD *et al.*, 1997). Esses valores de estoque são da ordem de amplitude indicada para solos de florestas tropicais decíduas ($15,8 \pm 9,2$ kgC.m⁻²) e savanas tropicais ($13,2 \pm 8,7$ kgC.m⁻²) em escala global (JOB BAGY; JACKSON, 2000).

A maior parte do carbono do solo é orgânica (70%) (BATJES, 1996) e depende do balanço entre a adição de materiais e a posterior decomposição e mobilização destes no solo. 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). Em climas secos e frios a decomposição é lenta e há grandes acúmulos de carbono (ELLIS; MELLOR, 1995) com formação de compostos muito resistentes à degradação que persistem no solo durante milênios (PRIMAVESI, 2002). Em climas quentes e úmidos, predominantes nas regiões tropicais e subtropicais, a decomposição é mais rápida e os tempos de residência do carbono no solo são baixos, com vidas médias no solo menores que 100 anos (ROSS; COULTAS; HSIEH, 2003; SCHWENDENMANN; PENDALL, 2006; TIESSEN *et al.*, 2003). O acúmulo de carbono no solo é afetado pela textura e o material parental do solo porque a estabilização química da matéria orgânica depende do conteúdo de argila (FELLER; BEAR, 1997; PLANTE *et al.*, 2006; TELLES *et al.*, 2003; ZINN; LAL; RESCK, 2005) e do tipo de minerais presentes no solo (FELLER; BEAR, 1997; PERCIVAL; PARFITT; SCOTT, 2000). Além disso, solos de textura fina tendem a apresentar drenagem insuficiente, com conseguinte inibição da decomposição e acúmulo de carbono. A vegetação é um dos principais determinantes do carbono orgânico do solo, tanto pela forma e distribuição dos sistemas radiculares (JOBAGY; JACKSON, 2000), quanto pela composição química do material orgânico incorporado ao solo, que é um dos principais fatores implicados da decomposição (AERTS, 1997).

O carbono contido no solo está distribuído em frações que possuem características próprias (figura 2): O carbono da camada superficial do solo está associado à matéria orgânica particulada, que provem do material recentemente incorporado ao solo e possui tempos de residência relativamente baixos por ser pouco resistente à decomposição (29 anos em solo

tropical) (SCHWENDENMANN; PENDALL, 2006), assim mesmo, é mais susceptível à erosão e sensível aos efeitos do manejo. Essa matéria orgânica vai migrando no perfil do solo e sofrendo processos de transformação e síntese até formar compostos orgânicos amorfos, os quais se ligam com partículas da matriz mineral do solo formando agregados estáveis, com tempos de residência relativamente altos (124 anos em solo tropical) (SCHWENDENMANN; PENDALL, 2006).

A importância dos fatores definidores comentados previamente varia ao longo do perfil do solo. Na superfície, onde o principal reservatório de carbono é a matéria orgânica particulada, a dinâmica do carbono é definida por fatores climáticos (principalmente precipitação) e pelo tipo de vegetação (arbórea, arbustiva ou herbácea), enquanto que em profundidades maiores, onde o carbono está associado aos minerais de argila do solo, a textura é mais importante (JOBAGY; JACKSON, 2000). Em escalas regional e local, o manejo (SIX *et al.*, 2002), o fogo (GONZÁLEZ-PÉREZ *et al.*, 2004) e a atividade da comunidade decompositora (SIX *et al.*, 2002) também são determinantes da quantidade de carbono na camada superficial do solo.

Importância da matéria orgânica em solos tropicais

A disponibilidade de nutrientes minerais e os seus padrões de ciclagem determinam a produção primária dos ecossistemas, de modo que o estudo dos fatores que lhe dizem respeito é valioso como instrumento de diagnose ambiental e avaliação de impactos (DELITTI, 1995). Em ecossistemas terrestres, a matéria orgânica do solo é utilizada como indicador de sustentabilidade, principalmente nas regiões tropicais (MARTIUS; TIESSEN; VLEK, 2001; NEUFELDT *et al.*, 1999).

Nas regiões tropicais, precipitações e temperaturas intensas condicionam graus de intemperismo e lixiviação elevados, que favorecem a formação de solos pobres, nos quais a quantidade de nutrientes que pode ser liberada da matriz mineral para a solução do solo, tornando-se disponível para a vegetação, é muito baixa (YOUNG, 1976). Nesse contexto, a principal fonte de nutrientes para vegetação e microorganismos é a matéria orgânica do solo (NEUFELDT *et al.*, 1999; SILVA; RESK, 1997) que condiciona as taxas de produção e decomposição dos ecossistemas (DELITTI, 1995; MONTAGNINI; JORDAN, 2002). As condições do clima tropical também determinam taxas de decomposição altas (YOUNG, 1976) que não permitem a formação de compostos de carbono muito resistentes à degradação, mesmo assim, no processo são liberados produtos intermediários de decomposição com propriedades floculantes que contribuem para a formação de agregados, responsáveis pela estabilidade estrutural do solo (PRIMAVESI, 2002) e pela capacidade de retenção de água (MARTIUS; TIESSEN; VLEK, 2001). Portanto, a matéria orgânica é fundamental para a sustentabilidade do solo, especialmente em regiões tropicais, onde é necessária para a manutenção da estrutura e da fertilidade (MARTIUS; TIESSEN; VLEK, 2001; MONTAGNINI; JORDAN, 2002; NEUFELDT *et al.*, 1999; SILVA; RESK, 1997; SOMBROEK; NACHTERGAELE; HEBEL, 1993; YOUNG, 1976).

A transformação de solos naturais em solos cultivados, sejam florestais ou agrícolas, pode acarretar perdas de carbono por causa da erosão e da oxidação da matéria orgânica do solo (SILVA; RESK, 1997; TIESSEN *et al.*, 2003). Os efeitos do manejo sobre o carbono do solo são mais marcados na fração associada com a matéria orgânica particulada do que na amorfa (FELLER; BEAR, 1997; NEUFELDT *et al.*, 1999) de modo que as perdas de carbono e nutrientes associados podem chegar a 20-50% nas camadas superficiais, mas atingem pouco as camadas profundas do solo (SOMBROEK; NACHTERGAELE; HEBEL, 1993). Em solos tropicais produtivos é adequado adotar manejo conservativo do solo, que minimize o

revolvimento da camada superficial para evitar perdas da estrutura física do solo e da matéria orgânica, que é oxidada quando o solo é arejado (GONÇALVES *et al.*, 2000; PRIMAVESI, 2002). Da mesma forma, é conveniente deixar tanto material orgânico quanto possível depositado sobre o solo, pois a retirada dos restos da colheita implica, por um lado, na exportação contínua de nutrientes, muito prejudicial em solos que já são pobres naturalmente, além de aumentar a exposição do solo mineral às forças erosivas. Por outro lado, em climas onde a decomposição é muito rápida e praticamente não há formação de compostos húmicos, é importante manter restos orgânicos sobre o solo continuamente, para garantir o suprimento constante de produtos intermediários da decomposição responsáveis pela manutenção dos agregados neste tipo de solos (PRIMAVESI, 2002). Portanto, para manter a estrutura e a fertilidade do solo são recomendadas práticas que resultem na incorporação de matéria orgânica ao solo, como cultivo mínimo e cultivos de cobertura (GONÇALVES *et al.*, 2000). A adição de compostos de carbono de difícil decomposição, como o carvão vegetal, também é apontada como meio eficaz de fixar carbono no solo durante períodos de tempos elevados (LEHMANN; GAUNT; RONDON, 2006).

Plantios florestais na gestão do ciclo do carbono: mitigação

O acúmulo de carbono nos ecossistemas terrestres depende do balanço entre os processos que fixam carbono da atmosfera (fotossíntese) e os que o liberam de volta (decomposição e processos metabólicos respiratórios, que incluem respiração heterótrofa, radicular, e fotorrespiração). Nas últimas décadas, os ecossistemas terrestres têm atuado como sumidouros de carbono, com produção primária bruta de 120 GtC. ano⁻¹ e líquida de 60 GtC.ano⁻¹ (IPCC, 2000). Através dos processos mencionados, os ecossistemas acumulam carbono na biomassa e no solo no decorrer da sucessão, sendo reflorestamentos e plantios comerciais indicados como ferramentas úteis na gestão do ciclo do carbono (NABUURS *et*

al., 2007), pois induzem o aumento potencial de matéria orgânica no solo e na biomassa aérea (MONTAGNINI; JORDAN, 2002).

O potencial de mitigação através do componente biótico dos ecossistemas é maior em regiões tropicais e subtropicais (IPCC, 2001) devido à maior disponibilidade de energia solar e água, por um lado, e ao menor custo de implantação dos projetos, por outro (NABUURS *et al.*, 2007). O potencial de mitigação florestal é temporário porque o acúmulo de carbono declina à medida que as florestas atingem a maturidade e a biomassa atinge o seu máximo valor (SCHIMELL *et al.*, 2002), contudo, é significativo (IPCC, 2001; NABUURS *et al.*, 2007; SCHOLLES; NOBLE, 2001), estimando-se que serão armazenadas 60-87 GtC.ano⁻¹ nas florestas e 23-44 Gt C.ano⁻¹ nos solos agrícolas até 2050 (IPCC, 2001) e que o acúmulo anual poderá atingir 1,6 GtC.ano⁻¹ (SCHOLLES; NOBLE, 2001) se práticas de manejo adequadas forem adotadas.

Consideração do solo em projetos de mitigação florestal

O solo é importante como reservatório de carbono, pois contém elevadas quantidades deste elemento em formas que possuem altos tempos de residência. Comparando-o com a biomassa vegetal, pode-se dizer que o solo é um reservatório pouco lábil, porque nele as taxas de reciclagem são menores. Assim, os efeitos do uso da terra e do manejo do solo tornam-se patentes na biomassa vegetal antes do que no solo. Os resultados de um estudo recente realizado no sul dos Estados Unidos reforçam esta idéia, mostrando que o efeito das mudanças no uso da terra ocorridas entre 1990 e 2004 foi 6 vezes mais marcado sobre os estoques de carbono da biomassa arbórea do que do solo e das camadas orgânicas depositadas sobre ele (WOODBURY; HEATH; SMITH, 2006). Isto demonstra que em períodos relativamente curtos (14 anos no caso) o compartimento do ciclo do carbono mais afetado pelo uso da terra em ecossistemas florestais é a biomassa vegetal e não o solo. Para um

período maior, o modelo elaborado por Paul, Polglase e Richards (2003) prediz que menos de 3% da produção primária líquida será acumulada no solo depois de 40 anos de florestamento. Portanto, a importância do solo na gestão do ciclo do carbono deve ser entendida a longo prazo.

Brasil no contexto da mitigação florestal

As últimas estimativas do potencial de mitigação levam em conta dados econômicos, históricos de uso da terra e cenários de futuro. Para as regiões tropicais como um todo, o potencial de mitigação é estimado entre 1100 e 3500 GtCO₂.ano⁻¹ em função do futuro preço de mercado dos créditos de carbono (NABUURS *et al.*, 2007).

No Brasil, industrializado e moderno, o uso desta nova ferramenta de mercado está em franca expansão. O país sempre mostrou interesse pelo assunto, sendo um dos países envolvidos nas negociações desde a primeira reunião da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, em Berlim em 1994 (UNFCCC). Num país que ainda tem taxas elevadas de degradação ambiental, diferenças fortes na distribuição de renda e uma população rural grande, dispersa e desprovida de infra-estrutura, é interessante considerar o potencial desse tipo de projetos na recuperação de áreas degradadas, estabelecimento de agroflorestas e outras atividades com serviços adicionais importantes, como são a manutenção da qualidade da água, a geração de autonomia e a criação de novas fontes de renda para o pequeno e médio produtor.

A indústria madeireira não é desprezível no Brasil, sendo o PIB florestal de 2001 equivalente a 4% do PIB nacional (US\$21 bilhões), e havendo 2 milhões de empregos relacionados com essa atividade (SBS, 2001). Há quase 5 milhões de hectares ocupados por plantios comerciais de *Eucalyptus* e *Pinus* (SBS, 2001) concentrados em áreas de cerrado, onde as condições são favoráveis à silvicultura, contudo, o potencial de produção ainda é alto.

O cerrado brasileiro no contexto florestal

O cerrado é o segundo bioma brasileiro em extensão e ocupava originalmente uma área de aproximadamente 2 milhões de km². Pouco valorizado tradicionalmente, foi negligenciado na maioria das iniciativas conservacionistas por ser considerada a sua vegetação rala e de escasso valor. No entanto, o cerrado constitui uma das savanas mais biodiversas do mundo, sendo considerada um *hotspot* (MYERS, 2000). Compreende um mosaico de fisionomias vegetais que engloba desde formas abertas (campo limpo) até florestais (cerradão) (COUTINHO, 1978), possuindo elevada diversidade estrutural, funcional e de formas de vida. Por causa da sua enorme extensão e solos profundos, o cerrado é significativo no ciclo global do carbono.

O Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera da Amazônia (LBA) vem subsidiado projetos de pesquisa desde o fim da década de 90, de modo que existe bastante informação sobre armazenamento, trocas de carbono, e mudanças no uso da terra para a região Amazônica (disponíveis em <http://lba.cptec.inpe.br/lba/site/>). Não é o caso da região do Cerrado, a desconsideração tradicional do bioma reflete-se na produção científica, sendo escassos os estudos sobre ciclo de carbono nesta região. A Embrapa Cerrados publicou um trabalho sobre o assunto (ADUAN; VILELA, KLINK, 2003), mas a informação que reportam sobre o solo é bastante pobre. Sabe-se que os fluxos de carbono no cerrado são sazonais (DELITTI; PAUSAS; BURGER, 2001; MIRANDA *et al.*, 1997; ROCHA *et al.*, 2002; VOURLITIS, 2001) e acompanham a disponibilidade hídrica. Considerado o balanço anual o cerrado atua como sumidouro de carbono (ROCHA *et al.*, 2002; VOURLITIS *et al.*, 2001), porém, emite CO₂ durante a época seca (MIRANDA *et al.*, 1997; ROCHA *et al.*, 2002; VOURLITIS *et al.*, 2001). Os valores de acúmulo reportados pela bibliografia variam entre 0,1-0,3 (ROCHA *et al.*, 2002) e 2 tC.ha⁻¹ ano (MIRANDA *et al.*, 1997) em fisionomias de *sensu stricto* e cerradão. Estima-se que a combinação das florestas úmidas e as savanas

tropicais intactas pode acumular 3 tC.ha⁻¹ ano em média, suficiente para compensar as emissões anuais devidas ao desflorestamento tropical (IPCC, 2001; VOURLITIS *et al.*, 2001).

Nas últimas décadas o cerrado vem sofrendo degradação intensa. No estado de São Paulo, só resta 1,17% do território ocupado por esta formação, sendo que a cobertura original era de 14% (MENDONÇA, 2004). Nos últimos 30 anos, o cerrado sofreu uma redução de aproximadamente 87% (KRONKA *et al.*, 1993) veiculada pela expansão da fronteira agrícola. Os solos mais pobres e ácidos do bioma, inapropriados para a cultura de café, cítricos, soja e cana de açúcar, são destinados ao uso silvicultural, com 2.965.880 hectares plantados com *Eucalyptus* e 1.840.050 com *Pinus* (SBS, 2001). Nesse contexto, é relevante interrogar-se sobre os possíveis impactos ecológicos deste tipo de plantios, se eles estão comprometendo a sustentabilidade do solo através de alterações na ciclagem de nutrientes.

Efeitos de plantios de *Eucalyptus* e *Pinus* sobre solos de cerrado

Existem poucos estudos sobre os efeitos da silvicultura de *Eucalyptus* e *Pinus* sobre o acúmulo de carbono em solos de cerrado e os resultados são díspares, sendo necessário continuar a pesquisa para esclarecer o assunto. Alguns autores reportam perdas de carbono orgânico em solos de cerrado sob cultura de *Eucalyptus* (ZINN; RESCK; SILVA, 2002), enquanto outros relatam ganhos (MAQUERE, 2004; NEUFELDT; RESCK; ARZAYA, 2002) e ainda diferenças não significativas (LEPSCH, 1980). A mesma situação contraditória existe nos solos sob cultura de *Pinus*, sendo constatadas perdas (LILIENFEIN; WILCKE, 2003; NEUFELDT *et al.*, 1999; NEUFELDT; RESCK; ARZAYA, 2002; ZINN; RESCK; SILVA, 2002), ganhos (LILIENFEIN *et al.*, 2001) e diferenças não significativas (LEPSCH, 1980; LILIENFEIN *et al.*, 2001) de carbono orgânico.

Efeitos além da estocagem de carbono devem ser considerados na utilização de plantios florestais monoculturais de espécies de crescimento rápido, como *Eucalyptus* e *Pinus*, (NABUURS *et al.*, 2007) sendo reportados impactos negativos sobre os cursos de água e o capital nutricional do solo (JACKSON, *et al.*, 2005; TANG *et al.*, 2007). Esse tipo de plantios não deve ser usado indiscriminadamente em programas intensivos de reflorestamento. Numa síntese de dados globais, Jackson *et al.* (2005) documentam acidificação do solo em 98 de 114 casos. No Brasil, perdas de solo e água foram verificadas sob cultura de *Eucalyptus* (MARTINS *et al.*, 2003). Ocorrência de acidificação em solos de cerrado sob cultura de *Pinus* também é apontada por vários autores (LEPSCH, 1980; LILIENFEIN *et al.*, 2000; SILVEIRA-LOPES; GARRIDO; MELLO, 1983/85).

Justificativa e objetivos

A tese deste trabalho é que o plantio de *Eucalyptus* e *Pinus* altera o acúmulo de carbono no solo e na serapilheira em áreas de cerrado.

O conhecimento sobre o carbono do solo e sobre como ele é afetado pela cobertura vegetal é necessário como base de decisão em projetos florestais de sequestro de carbono, assunto na ordem do dia tanto na mídia quanto no âmbito econômico, político e científico. Brasil é um país avantajado nesse sentido, com uma indústria silvicultural moderna e condições favoráveis a tal atividade que, além do mais, tem custo relativamente baixo. As árvores utilizadas preferencialmente são *Eucalyptus* e *Pinus*, que se vêm estendendo rapidamente pela região central do país, ocupada originariamente pelo Cerrado, bioma constituído por um mosaico de formas vegetais que ostenta elevada biodiversidade e cobre grande parte da superfície de recarga do Aquífero Guarani.

As implicações ecológicas dos grandes reflorestamentos existentes no estado de São Paulo são ainda pouco conhecidas em relação aos aspectos do ciclo do carbono discutidos acima. Justifica-se, assim, a investigação sobre os efeitos da monocultura de *Eucalyptus* e *Pinus* sobre o acúmulo de carbono e a ciclagem de nutrientes em áreas de Cerrado, destinando-se o presente estudo aos seguintes objetivos:

1. Quantificar o acúmulo de carbono no solo e nas camadas orgânicas depositadas sobre ele em áreas de cerrado com diferentes usos florestais: vegetação nativa (cerradão) e plantios de *Eucalyptus* e *Pinus*.
2. Avaliar alterações na ciclagem de nutrientes ocorridas em função do uso silvicultural de *Eucalyptus* e *Pinus* em áreas de cerrado.

2. MATERIAL E MÉTODOS

*“Quiero decirte, toro, que en América,
desde donde en ti pienso -noche siempre-
se presencian los mapas, esos grandes,
deshabitados sueños que es la Tierra.”*
Rafael Alberti

2.1. Áreas de estudo

As áreas de estudo são fragmentos de cerrado representativos da cobertura original e talhões de *Eucalyptus* e *Pinus* plantados em substituição à mesma. Estão localizadas em unidades do Instituto Florestal e do Instituto de Botânica de São Paulo, nos municípios de Itirapina (It), Mogi-Guaçu (Mg), Luiz Antônio (Lz) e Pederneiras (Pd), no estado de SP, as coordenadas estão detalhadas na figura 3..

O clima da região é tipo II segundo a classificação de Walter (1986): tropical mesotérmico de inverno seco, com um período de estiagem por volta de 5 meses e chuvas concentradas na estação quente. As médias anuais de temperatura são de 20-26°C e as de pluviosidade de 1200-1800 mm, estando 80% das chuvas concentradas entre novembro e abril (COSTA; BORGES, 1992). A partir dos dados obtidos nas estações meteorológicas mais próximas às áreas de estudo, fornecidos pelo Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), foram elaborados diagramas climáticos seguindo as especificações de Walter (1986). Este tipo de representação foi escolhido porque mostra os elementos climáticos de relevância ecológica que determinam grande parte dos processos do ecossistema, incluindo o desenvolvimento da vegetação e a decomposição. Os diagramas, contidos na figura 4, evidenciam a pertença das áreas de estudo ao mesmo tipo de clima. Médias anuais de temperatura e precipitação das áreas de estudo são reportadas na tabela 1.

O relevo é constituído por formas residuais de superfícies de aplainamento com topografia plana a suave ondulada, e declividades em torno a 10-20% (SÃO PAULO, 1984; OLIVEIRA, 1999). A tabela 1 contém mais informações sobre a geomorfologia e topografia dos locais estudados. Declividades e altitudes médias medidas nas parcelas de coleta de estão contidas na tabela 3.

O tipo de solo dos locais estudados está detalhado na tabela 2, pertencem ao mesmo táxon segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, sendo descritos como Latossolos (PRADO, 1997), mas pertencem a ordens diferentes segundo os critérios de classificação da Soil Taxonomy (SOIL SURVEY STAFF, 2005), pois possuem textura e capacidade de troca catiônica (CTC) muito diferentes na camada subsuperficial, que é utilizada como horizonte diagnóstico neste tipo de classificação. O solo das áreas de estudo situadas em Luiz Antônio foi classificado como Oxisol, pois apresenta horizonte diagnóstico OXIL, caracterizado por possuir textura franco-arenosa ou mais fina, variação difusa do teor de argila ao longo do perfil, $CTC \leq 12 \mu\text{molc por kg de argila}$ e $<10\%$ de minerais alteráveis entre 50 e 200 cm (SOIL SURVEY STAFF, 2005). O solo das áreas situadas em Mogi-Guaçu e Pederneiras apresentam $CTC > 12 \mu\text{molc por kg de argila}$, portanto, o horizonte diagnóstico é CAMBIC e os solos foram classificados como Inceptisols (SOIL SURVEY STAFF, 2005). O solo das áreas situadas em Itirapina possui textura arenosa e $\%$ de areia muito fina $<50\%$, sendo classificado como Entisols (SOIL SURVEY STAFF, 2005), uma ordem muito abrangente que engloba todos os solos que não apresentam nenhum horizonte diagnóstico, ou seja, solos com características muito diferentes.

Figura 3. Mapa de localização e imagens de satélite das áreas de estudo e o seu entorno, consistente em paisagens agrícolas com escassa conectividade.

a) Estação próxima de Luiz Antônio

c) Estação próxima de Pederneiras

b) Estação próxima de Mogi-Guaçu

d) Estação próxima de Itirapina

Figura 4. Diagramas climáticos elaborados segundo Walter (1986) com os dados das estações meteorológicas mais próximas às áreas de estudo

Tabela 1. Características das áreas de estudo.

	Luiz Antônio	Mogi-Guaçu	Pederneiras	Itirapina
Geomorfologia	Cuestas	Planalto	Planalto	Cuestas
	Basálticas	Atlântico	Ocidental	Basálticas
Superfície (ha)	2021	3050	2143	3212
Relevo	morros amplos	colinas amplas	colinas amplas	colinas amplas
Altitude (m)	550-851	600-730	500-539	700-827
T° média anual	22,9°C	20,8°C	20,9°C	19,7 °C
Ppt média anual	1420 mm	1547 mm	1262 mm	1346 mm
Referências	* “	* ^	* ----	* #

Legenda. Referências: ^ DELITTI, 1984, # GIANNOTTI; LEITÃO FILHO, 1992, * PRADO, 1997, “ SANTOS; PIRES; PIRES, 2000, ---- <http://www.sinbiota.cria.org.br>.

Tabela 2. Tipo de solos das áreas de estudo segundo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (PRADO, 1997) e Soil Taxonomy (SOIL SURVEY STAFF, 2005).

	Luiz Antônio	Mogi-Guaçu	Pederneiras	Itirapina
Sistema Brasileiro de Classificação de Solos	Latossolo Vermelho Escuro, álico A moderado	Latossolo Vermelho Amarelo, álico A moderado	Latossolo Vermelho Escuro, álico A moderado	Latossolo Vermelho Amarelo, álico A moderado fase rasa
Soil Taxonomy	Oxisols Subgrupo Humic Rhodic Haplustox	Inceptisols Subgrupo Oxic Dystrustepts	Inceptisols Subgrupo Oxic Dystrustepts	Entisols Subgrupo Ustic Quartzipsamments

Tabela 3. Declividades e altitudes médias obtidas nas parcelas de coleta de dados.

		Luiz Antônio	Mogi-Guaçu	Pederneiras	Itirapina
Declividade (°)	cerradão	3	2	2	5
	<i>Eucalyptus</i>	2	4	3	3
	<i>Pinus</i>	3	7	4	5
Altitude (m)	cerradão	596	762	646	515
	<i>Eucalyptus</i>	631	714	625	513
	<i>Pinus</i>	631	745	674	521

O histórico de ocupação agrícola de terras do estado de São Paulo começa em finais do século XVIII com a cultura do café, que se estendeu a partir do XIX para fins de exportação, sendo uso preferencial do solo e motivo de desbravamento de terras no interior do estado até o início do século XX, quando ocorreu a primeira grande crise do café, com uma queda dramática no preço do produto que levou à diversificação da produção. Assim, a partir da década de 40, café, algodão e pecuária se constituíram nos alicerces da produção do interior do estado. Naquele momento, havia pouca oferta de lenha e a demanda para uso doméstico e como combustível para os trens aumentava tanto que vários fazendeiros e empresas ferroviárias começaram a investir em reflorestamentos. No início do século XX, a Companhia Ferroviária Paulista, que tinha uma demanda de lenha de meio milhão de m³ por ano, empreendeu a criação duma reserva florestal que acabaria dando origem ao Instituto Florestal, com várias estações experimentais dedicadas a investigar que espécies produziam mais rapidamente a lenha mais útil. Árvores do gênero *Eucalyptus* renderam os melhores resultados e foram privilegiadas a partir de então em programas de reflorestamento. Com a Primeira Grande Guerra Mundial a importação de carvão da Inglaterra foi suspensa e os incentivos ao reflorestamento intensificados. Mais tarde, na década de 60, começou o processo de modernização da agricultura encabeçado por empresários próximos ao capital industrial, assim, atendendo as flutuações e demandas do mercado internacional, o uso do solo

foi consolidado regionalmente nas décadas de 70 e 80, aumentando as áreas dedicadas à cultura de cana/trigo, soja e reflorestamento de *Eucalyptus*. Em 1975 foi instituído o PROALCOOL (Programa Nacional do Álcool) disparando a área destinada à produção de cana. Atualmente só resta 7% do território paulista ocupado por vegetação nativa (MENDONÇA, 2004). A paisagem está muito fragmentada e grande parte dos remanescentes de vegetação nativa está rodeada por matrizes agrícolas com escassa conectividade, tal como no caso das áreas de estudo aqui descritas, como mostra a figura 3.

As áreas de vegetação natural estudadas, consideradas representantes da cobertura original, são remanescentes de cerrado com fisionomia florestal (cerradão). Enquadram-se num grupo de similaridade florística de cerrados marginais, caracterizado pela baixa ocorrência de espécies mesotróficas (RATTER *et al.*, 1996). Existem estudos florísticos detalhados de Luiz Antônio (TOLEDO-FILHO, 1984; PEREIRA-SILVA, 2003), Mogi-Guaçu (GIBBS *et al.*, 1983; MANTOVANI; MARTINS, 1993) e Itirapina (GIANNOTTI; LEITÃO FILHO, 1992) e levantamento botânico expedito da área situada em Pederneiras, que foi realizado por Durigan (<http://www.sinbiota.cria.org.br/sia/>) em 2004. Esses trabalhos mostram que as áreas de estudo são muito semelhantes em famílias, sendo Leguminosae, Myrtaceae e Rubiaceae as que apresentam maior riqueza de espécies. As divergências são maiores entre gêneros e espécies, Giannotti e Leitão-Filho (1992) comparando os levantamentos de Luiz Antônio, Mogi-Guaçu e Itirapina, reportam 38 espécies comuns, 29 que ocorreram simultaneamente em Itirapina e Mogi-Guaçu, 5 em Itirapina e Luiz Antônio e 11 em Mogi-Guaçu e Luiz Antônio, 46 registradas exclusivamente em Itirapina, 28 em Mogi-Guaçu e 10 em Luiz Antônio.

As unidades do Instituto Florestal contêm alguns remanescentes de vegetação nativa, mas são ocupadas principalmente por florestas implantadas de *Eucalyptus* e *Pinus*. As áreas silviculturais estudadas são talhões de idade relativamente avançada, destinadas à extração de

madeira e resina, que foram manejados com os costumeiros desbastes técnicos. Informações detalhadas sobre idades, espécies e histórico de manejo dos plantios estudados podem ser consultadas na tabela 3. Em nenhum caso houve adubação antes do plantio, sendo que foi realizado preparo mínimo, consistente em destoca (retirada da vegetação de grande porte com maquinaria, realizada após queima), roçada e corte de machado (retirada manual da vegetação de pequeno porte e posterior queima do material acumulado em fileiras) e sulcado (abertura de linhas de plantio de 20 cm de profundidade. Antes de plantar as mudas foi colocado veneno para cupim [Aldrin 2,5%] no sulco) (comunicação pessoal, funcionários do Instituto Florestal).

Tabela 4. Informações e históricos de manejo dos plantios estudados em Luiz Antônio (Lz), Mogi-Guaçu (Mg), Pederneiras (Pd) e Itirapina (It), estado de SP.

Local	Espécie	Ano de plantio	Área (ha)	Anos de desbaste					Resinagem	
									última	pés
Lz	<i>P.elliottii</i>	1962	18,35							
Lz	<i>E.citriodora</i>	1970		78	86	94	02		-	
Mg	<i>P.elliottii</i>	1962	26,59	78	85	89	92	2002	3629	
Mg	<i>E.citriodora</i>	1969	1,64	77	85	93			-	
Pd	<i>P.elliottii</i>	1962	15	69	74	79	84	89	96	2000 4720
Pd	<i>E.citriodora</i>	1965	25,8	73	79	85	92	02		-
It	<i>P.elliottii</i>	1965	15,48	73	80	87	94	02	2002	
It	<i>E.saligna</i>	1972		0 - faixa de controle de fogo						-

A idade dos plantios supera 30 anos e as áreas de vegetação natural não sofreram queimadas desde então, podendo assumir-se certo estado de equilíbrio nos processos ecológicos das florestas estudadas.

2.2. Delineamento experimental

Para efeitos comparativos, foram definidos três tratamentos em função da cobertura vegetal: cerrado (Ce), plantio de *Pinus* (Pi) e plantio de *Eucalyptus* (Eu), determinando aleatoriamente 30 pontos de coleta de serapilheira e solo (três profundidades) dentro de cada um. O experimento foi replicado 4 vezes, em diferentes municípios do estado de São Paulo. O delineamento experimental está esquematizado na figura 5 e a atribuição dos tratamentos de vegetação a cada um dos locais na tabela 5.

Figura 5. Esquema do delineamento experimental: comparação de três tipos de vegetação em quatro locais do estado de São Paulo: Luiz Antônio (Lz), Mogi-Guaçu (Mg), Pederneiras (Pd) e Itirapina (It). Dentro de cada uma das 12 áreas de estudo foram coletadas aleatoriamente 30 amostras de serapilheira e solo (três profundidades).

O delineamento experimental empregado é de blocos randômicos, mas inclui replicação dentro de cada bloco. A replicação dentro dos blocos permite estimar a interação entre o bloco (local) e o tratamento (vegetação), o que é uma vantagem, especialmente quando existem diferenças fortes entre os blocos (POTVIN, 1993).

Tabela 5. Esquema do delineamento experimental. Atribuição dos tratamentos de vegetação (Trat) às réplicas ou blocos (locais).

Trat\Bloco	Luiz Antônio	Mogi-Guaçu	Pederneiras	Itirapina
Ce	Cerradão	Cerradão	Cerradão	Cerradão
Pi	<i>P. elliottii</i> , 1962	<i>P. elliottii</i> , 1965	<i>P. elliottii</i> , 1962	<i>P. elliottii</i> , 1965
Eu	<i>E. citriodora</i> , 1972	<i>E. citriodora</i> , 1969	<i>E. citriodora</i> , 1966	<i>E. saligna</i> , 1972

Legenda. cerradão (Ce), plantio de *Pinus* (Pi) e plantio de *Eucalyptus* (Eu)

Os locais pertencem à mesma região bioclimática, estando separados por distâncias entre 60 e 120 km. Dentro dos locais, as áreas de estudo foram escolhidas tão próximas quanto possível para garantir homogeneidade de microclima e solo, sendo que a distância máxima entre tipos de vegetação foi de 9 km. As áreas de vegetação natural consideraram-se representantes da situação original do solo, de modo que o tratamento Ce foi utilizado como controle.

2.3. Estudo do solo

No tempo de vida das plantações, só as camadas pouco profundas terão sido alteradas. Em função disso, foram definidas profundidades amostrais de 0-5, 10-25 e 35-50 cm.

O trabalho de campo começou com a abertura de valetas de 1m de profundidade para coleta de amostras de volume constante e observação de características do solo. Totalizaram-se 12 perfis (1 perfil x 3 tratamentos x 4 locais). Em cada perfil e profundidade foram coletadas 4 amostras de volume constante (indeformadas) utilizando anéis volumétricos, com um total de 144 amostras (4 amostras x 3 profundidades x 12 perfis) (figura 6a e 6b). A densidade aparente das amostras foi determinada posteriormente no laboratório de Ciclagem de Nutrientes do IB por extenso (MEGURO, 2000).

A amostragem para fins analíticos (amostras deformadas) foi realizada mediante procedimento convencional com trado (figura 6c) (LEMOS; SANTOS, 1984). Coletando-se um total de 1080 amostras (30 pontos x 3 profundidades x 3 tratamentos x 4 locais).

Figura 6. Fotos da amostragem de solo: a) e b) coleta de amostras indeformadas com anéis volumétricos para determinação da densidade; c) coleta de amostras desestruturadas com trado para análises físico-químicas.

Análises físico-químicas

No laboratório as amostras foram secas ao ar e passadas por peneira de 2 mm (ABNT nº10) para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA). Não foram utilizadas amostras compostas porque reduzem artificialmente a variância.

Análises granulométricas de 216 amostras (6 amostras x 3 profundidades x 3 tratamentos x 4 locais) foram realizadas no Laboratório do Departamento de Solos e Nutrição de Plantas da ESALQ. O método utilizado foi o do densímetro, no qual a areia é separada através de peneiras e a argila com uso de dispersante. Areia, Silte e Argila foram determinadas, considerando areia as partículas entre 2mm e 64 μm , silte aquelas entre 64 e 2 μm e argila as menores que 2 μm .

A variabilidade dos parâmetros químicos é maior na camada superficial do solo (BROSSARD *et al.*, 1997; MAQUERE, 2004) e o efeito da vegetação mais marcado, por isso, o esforço analítico foi aí concentrado, definindo $n=30$ no solo superficial e $n=10$ nas outras profundidades. No total, 600 amostras foram analisadas em laboratórios do Departamento de Solos e Nutrição de Plantas da ESALQ, seguindo os protocolos descritos por RAIJ *et al.* (2001): O carbono orgânico foi determinado através do método clássico Walkley & Black, que é baseado na oxidação úmida usando dicromato de potássio. A matéria orgânica do solo foi calculada a partir desses dados, usando o fator de conversão 1,72 (PRIMAVESI, 2002). A acidez ativa foi determinada em solução de cloreto de cálcio $0,01 \text{ mol.L}^{-1}$, escolhida por ser mais afetada por pequenas quantidades de sais do que a determinação em água (RAIJ *et al.*, 2001). A acidez potencial através da extração do H^+ e Al pelo acetato de cálcio $0,05 \text{ mol.L}^{-1}$ a pH 7. Os teores de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) foram extraídos com resina de troca iônica e as leituras tomadas em colorímetro (P), fotômetro de chama (K) e espectrofotômetro de absorção atômica (Ca e Mg). O alumínio trocável foi extraído com solução de cloreto de potássio 1N e determinado mediante titulação com $\text{NaOH } 0,05 \text{ mol.L}^{-1}$ em presença de azul de bromotimol. Posteriormente, a soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC) e saturação por bases (V) foram calculadas a partir dos resultados obtidos: $\text{SB}=\text{K}+\text{Ca}+\text{Mg}$; $\text{CTC}=\text{SB}+\text{H}+\text{Al}$ e $\text{V}=100*\text{SB}/\text{CTC}$.

Carbono (C) e Nitrogênio (N) totais foram determinados em 36 amostras superficiais (3 pontos x 3 tratamentos x 4 locais) por digestão seca com analisador Leco CN- 2000 no Laboratório de Biogeoquímica Ambiental do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA). As amostras analisadas foram escolhidas com base nos resultados das determinações realizadas previamente (Walkley & Black) elegendo aquelas com valores mais distantes das médias, para garantir a representatividade dos dados.

Perfis de carbono e cálculo de estoques

O carbono do solo diminui em profundidade e vários estudos mostram que o decaimento é bem explicado por uma função exponencial (ARROUAYS; PELISSIER, 1994; BERNOUX *et al.*, 1998a; BROSSARD *et al.*, 1997; MAQUERE *et al.*, 2004). Desse modo, o estoque de carbono de uma determinada camada de solo pode ser calculado mediante a determinação e integração de equações. Essas equações são chamadas de pedotransferência vertical porque expressam o conteúdo de carbono em função da profundidade. Para calcular os estoques, são necessários dados de carbono por volume de solo (kg.m^{-2}), os quais foram calculados a partir dos dados de massa de carbono (g.kg^{-1}) e densidade (g.cm^{-3}) do solo.

No presente trabalho, foram procuradas as curvas com melhor ajuste aos dados de campo para cada uma das 12 áreas de estudo (3 tipos de vegetação x 4 locais) a partir da equação geral do modelo exponencial:

$$y = ae^{(-bx)}$$

onde y =carbono (kg.m^{-2}), x =profundidade (cm) e a e b são os parâmetros ajustados a partir dos dados obtidos.

Depois, os estoques foram calculados integrando a equação anterior entre as profundidades que limitam a camada de solo de interesse:

$$\text{Estoque} = -a/b (e^{(-bx_1)} - e^{(-bx_2)})$$

onde x_1 é a profundidade superior e x_2 a inferior.

Foi calculado o reservatório de carbono do primeiro metro do solo. Com intuito comparativo, foram também calculados até 30 e 60 cm de profundidade.

2.4. Estudo da serapilheira acumulada

Considera-se serapilheira o material orgânico recentemente depositado sobre o solo, o qual é composto por restos de origem diversa, principalmente folhas. Apresenta variação sazonal, acompanhando a disponibilidade hídrica. Assim, para evitar erros decorrentes dessas mudanças, todo o material foi coletado no fim da época seca, coincidindo com a quantidade máxima de serapilheira acumulada (DELITTI, 1984).

Em cada tratamento de vegetação foi coletado um total de 360 amostras (30 amostras x 3 tratamentos x 4 locais) seguindo procedimento convencional (MOORE; CHAPMAN, 1986), utilizando uma armação metálica de 25 x 25 cm.

No laboratório as 360 amostras foram secas até peso constante, calculando-se o peso seco por unidade de superfície (t.ha^{-1}). Posteriormente, o material foi moído e encaminhado para análise química.

As análises de nutrientes foram realizadas no Laboratório de Solos e Nutrição de Plantas da ESALQ, seguindo a metodologia da EMBRAPA (1999). Foram determinados pH, matéria orgânica total, resíduos minerais, P_2O_5 , K_2O , CaO , MgO , S, N total, C (determinação por via úmida), resíduos minerais solúveis, matéria orgânica compostável, matéria orgânica residual e densidade.

O estoque de carbono da serapilheira foi calculado a partir dos dados de peso seco por unidade de superfície (kg.m^{-2}) e de concentração de carbono (g.kg^{-1}). Os resultados são expressos como peso por unidade de superfície (kg.m^{-2}).

2.5. Caracterização da vegetação

Para melhor caracterização das áreas, foram medidos alguns parâmetros da vegetação (diâmetro e altura). Posteriormente, a área basal foi calculada a partir dos dados de diâmetro e densidade arbórea (MUELLER-DOMBOIS; ELLENBERG, 1974). Foram utilizados métodos diferentes entre áreas naturais e silviculturais por causa das diferenças estruturais entre ambos os tipos de vegetação.

Nos plantios, onde a distribuição é homogênea e a densidade conhecida, foi utilizado o método da caminhada aleatória (COTTAM; CURTIS, 1956), enquanto que nas áreas de cerradão o uso de parcelas considera-se mais adequado. Nos plantios foi registrado o diâmetro à altura do peito (DAP= 1,3m do solo) das árvores com DAP > 10 cm, limite de inclusão comum em trabalhos com espécies florestais. A altura média de cada talhão foi calculada a partir da medição de 5 árvores.

Nas áreas de cerradão, seguindo os critérios de Ratter (1980), foi registrado o diâmetro à altura do solo (DAS) dos indivíduos com DAS > 3 cm (MANTOVANI; LEITÃO-FILHO, MARTINS, 1985). A altura de cada árvore foi medida com telêmetro. Como o objeto do levantamento são árvores e arbustos, algumas formas de vida foram excluídas pelo critério de amostragem, como as lianas, mesmo quando apresentam diâmetro suficiente.

Para possibilitar a comparação entre áreas naturais e silviculturais, os dados obtidos em áreas de cerradão foram separados em 2 (duas) classes de diâmetro: a primeira, de 3 até 10 cm ($3 \leq \varnothing < 10$ cm) e a segunda, de 10 cm ou mais ($\varnothing \geq 10$ cm).

2.6. Tratamento de dados

As distribuições de dados foram exploradas inicialmente examinando normalidade, simetria, curtose, valores extremos e homogeneidade de variâncias. Para isso, foram utilizados primeiro recursos gráficos, concretamente histogramas de frequência e diagramas de pontos, depois foram usados testes específicos: Kolmogorov-Smirnov (para $n > 30$) e Sapiro-Wilck (para $n < 30$) para normalidade, Cochran (tamanhos amostrais iguais) e Levene (não requer tamanhos amostrais iguais) para homocedasticidade. Os *outliers* foram identificados e retirados para realizar as análises estatísticas seguindo o critério $média \pm 3 * desvio\ padrão$ (SOKAL; ROLF, 1995). Quando indispensável, os dados foram transformados para solucionar problemas de homocedasticidade. A transformação é útil como ferramenta de homogeneização, mas é necessário levar em conta que a relação entre médias e variâncias deve ser constante e lembrar que a métrica dos dados muda depois de transformá-los. As transformações foram escolhidas seguindo os critérios de Legendre (1998), para os dados de matéria orgânica foi usado arcosseno e para os dados de carbono logaritmo.

Foram usados diagramas de caixa (*box-plots*) para visualizar os dados. Representando médias ponderadas com intervalos de confiança de 95% para as distribuições simétricas e também medianas, mais apropriadas para trabalhar com conjuntos de dados assimétricos.

Para testar diferenças significativas no acúmulo de carbono e na matéria orgânica do solo foi utilizada Análises da Variância (ANOVA) de 2 fatores: local e vegetação analisando os dados das três profundidades separadamente. A definição formal da hipótese nula (H_0) é que não existe diferença nas variáveis estudadas em função da cobertura vegetal ($H_0: \mu_{Ce} = \mu_{Eu} = \mu_{Pi}$). As coletas de material foram realizadas seguindo o delineamento de blocos randômicos com replicação dentro dos blocos (detalhes na seção 2.2) portanto, o modelo de ANOVA utilizado também foi de blocos, descrito como:

$$X_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ijk}$$

Onde: X_{ijk} é a resposta da variável (quantidade de carbono) ao tratamento (vegetação) e bloco (local), μ a média populacional, τ_i o efeito do tratamento, β_j o do bloco e ε_{ijk} o do acaso, ou erro aleatório.

A replicação dentro de cada bloco permite estimar o termo de interação entre bloco e tratamento, nesse caso, o modelo de ANOVA utilizado é:

$$X_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + \tau\beta_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Onde: $\tau\beta_{ij}$ é o efeito da interação bloco X tratamento.

(POTVIN, 1993).

Ambos os modelos foram comparados para saber se a inclusão do termo de interação é necessária (ou seja, se o termo de interação tem efeito significativo sobre a variabilidade total dos dados) resultando significativo na análise dos dados da camada superficial do solo, mas não na das outras profundidades (tabela 16). ANOVA de 2 fatores: local e vegetação. também foi empregada para testar diferenças no acúmulo e estoque de carbono da serapilheira em função do tipo de vegetação. Tratamentos diferentes foram discriminados mediante teste de Tukey. Os modelos foram computados usando um dos pacotes da linguagem R (CRAWLEY, 2002). Foi utilizado o aplicativo XLSTAT 2007 para calcular os parâmetros e coeficientes de ajuste das equações de pedotransferência vertical, que descrevem o conteúdo de carbono em função da profundidade.

Para explorar a relação entre o conteúdo (g.kg^{-1}) de carbono e o de partículas finas (argila e argila+silte) do solo foi utilizada Análise de Regressão Linear. Há referências à relação do carbono orgânico do solo, tanto com o conteúdo de argila (FELLER; BEAR, 1997; HUGHES; KAUFFMAN; CUMMINGS, 2002) quanto com o de argila+ silte (McGRATH; ZHANG, 2003; PLANTE *et al.*, 2006; ZINN; LAL; RESCK, 2005), por isso, ambas as relações foram testadas, para o qual foi empregando o pacote estatístico STATISTICA 6.0.

Nos resultados das análises químicas da serapilheira, foi explorada a contribuição de mais de duas variáveis (peso seco acumulado, pH e conteúdo de carbono, nitrogênio, fósforo, enxofre e bases) à dispersão do conjunto de dados. Para tal, foi usada análise de componentes principais (PCA) com matrizes de covariância. O pacote estatístico utilizado foi MVSP 3.1.

Os pacotes SPSS e STATISTICA 6.0. foram empregados para a criação de gráficos e exploração de dados.

3. RESULTADOS

*“Una geografía insensible
-montes, ríos y praderas-
se duermen sin la luz única.
que dentro de ti se encuentra.”*
Manel Altolaquire

Primeiramente, na secção 3.1, apresentam-se resultados e observações *in loco* necessários para caracterizar as áreas de estudo e discutir adequadamente os dados mostrados mais adiante. Posteriormente, apresentam-se os resultados que foram explorados estatisticamente para responder às perguntas levantadas neste trabalho. A secção 3.2 contém resultados do solo, a 3.3 da serapilheira e as 3.4 e 3.5. de ambos os compartimentos.

3.1. Caracterização das áreas de campo

3.1.1. Perfis de solo

A observação dos perfis de solo (até 1 metro de profundidade) revelou sequência de horizontes pouco diferenciada, variação textural difusa ao longo dos perfis, estrutura granular muito pequena, ausência de pedregosidade e drenagem boa. Foram encontradas raízes arbóreas comuns e bem distribuídas ao longo dos perfis. Na maior parte dos perfis foi verificada a presença de carvões, pouco abundantes. Constataram-se sulcos pouco profundos (menos de 20 cm) na superfície do solo das áreas de plantio, decorrentes do uso de subsolagem. Particularidades locais e observações realizadas em cada um dos perfis são detalhadas a seguir:

Luiz Antônio

O solo das áreas de estudo situadas em Luiz Antônio apresentou textura argilosa (teor médio de argila de 59%) e máxima variação textural entre horizontes de 8%, os valores de $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$ variaram entre 3,3 e 4,1 e os de saturação por bases entre 2 e 18 %.

Cerrado

Observou-se tendência ao acúmulo de material orgânico pouco decomposto em alguns pontos, onde, aparentemente, a retenção de água é maior. A cor do solo registrada foi 2,5 YR 3/4 até 40 cm de profundidade, por baixo disso foi 2,5 YR 2,5/4. Foi observada presença de raízes ao longo de todo o perfil, sendo mais densas nos 0-20 cm superficiais, com raízes finas concentradas nos 5,5cm superficiais. Houve ocorrência de carvões no perfil, concentrados nas camadas de 12, 21 e 63 cm de profundidade.

Eucalyptus

A cor do solo registrada foi 2,5 YR 3/6 até 20 cm de profundidade e mais abaixo 2,5 YR 3/6. Foram encontradas raízes arbóreas profundas, bem distribuídas ao longo do perfil, mas não maior concentração de raízes finas na camada superficial do solo. Não houve ocorrência de carvões.

Pinus

A cor do solo registrada foi 2,5 YR 3/4 até 13 cm de profundidade e mais abaixo 2,5 YR 2,5/3. Foi observada presença de raízes arbóreas bem distribuídas ao longo de todo o perfil, as finas estavam concentradas nos 10 cm superficiais. Houve ocorrência de carvões no perfil, concentrados entre 12 e 14 cm de profundidade.

Mogi-Guaçu

O solo das áreas de estudo situadas em Mogi-Guaçu apresentou textura média (teor médio de argila de 25%) e máxima variação textural entre horizontes de 7%, os valores de $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$ variaram entre 3,0 e 4,3 e os de saturação por bases entre 1 e 28 %.

Cerrado

A camada de 0-13 cm resultou um pouco mais escura do que o resto do perfil, sendo a cor do solo registrada 5 YR 4/4, a partir daí foi 5 YR 4/6. Foi observada presença de raízes

arbóreas grossas até 85 cm de profundidade. Raízes finas ocorreram na camada de 0-30 cm, sendo mais densas nos 0-13 cm da superfície. Houve ocorrência de carvões, concentrados a 85 cm de profundidade.

Eucalyptus

A camada de 0-17 cm resultou mais escura do que o resto do perfil, sendo a cor do solo registrada 10 YR 4/4, por baixo disso a cor mudava suavemente, sendo 10 YR 5/4 a 30 cm de profundidade. Foi observada presença de raízes profundas, mas não muito grossas (diâmetro < 1cm) até o fim do perfil, houve poucas raízes finas, mesmo na camada superficial do solo. Houve ocorrência de carvões, concentrados no perfil a 80 cm de profundidade.

Pinus

A camada de 0-10 cm resultou mais escura do que o resto do perfil, com cor 2,5 YR 4/6 e fragmentos de serapilheira não decomposta incluídos no solo mineral, por baixo disso, a cor registrada foi 2,5 YR 3/6. Houve presença de raízes grossas na totalidade do perfil observado. Não foi registrada ocorrência de carvões no perfil.

Pederneiras

O solo das áreas de estudo situadas em Pederneiras apresentou textura média (teor médio de argila de 15%) e máxima variação textural entre horizontes de 10%, os valores de $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$ variaram entre 3,3 e 4,2 e os de saturação por bases entre 3 e 20%.

Cerrado

A camada de serapilheira encontrada, com espessura de 1,5 a 2 cm, estava fortemente enraizada, assim como a superfície do solo mineral, desde 0 até 15 cm de profundidade. A cor do solo registrada foi 5 YR 4/4 até 15 cm de profundidade, por baixo disso foi 2,5 YR 3/4 (figura 7a). Foi observada presença de raízes grossas até 70 cm de profundidade, as raízes finas ocorreram ao longo do perfil, concentrando-se entre 0-15 cm. Foram encontrados

carvões, muito escassos, distribuídos de forma bastante homogênea e não concentrados numa profundidade determinada do perfil.

Eucalyptus

A cor do solo registrada foi 5 YR 4/4 até 40 cm de profundidade, por baixo disso foi 5 YR 3/4. Foi observada presença de raízes grossas bem distribuídas ao longo do perfil, não encontrando maior concentração de raízes finas na camada superficial do solo. Houve ocorrência de carvões no perfil, concentrados nas camadas entre 45 e 50 cm e na de 1m de profundidade.

Pinus

A camada superficial do solo, até 2 ou 3 cm de profundidade, resultou escura, com partículas com aparência de material orgânico misturadas no solo mineral, por baixo dela o solo era levemente esbranquiçado numa franja irregular e pouco definida (figura 7b). A cor registrada foi 5 YR 4/4 na camada mais superficial, e 2,5 YR 3/6 descendo no perfil. Raízes grossas ocorreram ao longo de todo o perfil, estando concentradas até 40 cm de profundidade. As raízes finas foram pouco abundantes e concentravam-se até 3 cm de profundidade, na camada mais escura da superfície. Foi observada presença carvões: escassos a 9 cm de profundidade e comuns na camada de 60 cm de profundidade.

Itirapina

O solo das áreas de estudo situadas em Itirapina apresentou textura arenosa (teor médio de argila de 11%) e máxima variação textural entre horizontes de 4%, os valores de $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$ variaram entre 2,7 e 3,9 e os de saturação por bases entre 1 e 17%.

Cerrado

Em alguns pontos observou-se tendência ao acúmulo de material orgânico. A cor do solo registrada foi 7,5 YR 4/2 mosqueado pouco pequeno e distinto 5YR 5/6. Houve presença

de raízes abundantes ao longo do perfil, tanto grossas quanto finas, as segundas bem distribuídas até uma profundidade de 50 cm. Foi constatada ocorrência de carvões distribuídos de forma homogênea ao longo do perfil.

Eucalyptus

Sobre o solo foi encontrada serapilheira abundante, formando uma manta com espessura média de 7 cm, por baixo da qual havia uma camada orgânica espessa (7-9 cm em média) e fortemente enraizada, composta por folhas fragmentadas intimamente misturadas com material particulado de cor escura e textura macia. O limite entre esta camada e o solo mineral era nítido (figura 7c) A cor registrada na parte superior do perfil foi 7,5 YR 4/6, mudando subtilmente abaixo de 60-70 cm, até 7,5 YR 4/4. Houve ocorrência de carvões distribuídos de forma homogênea ao longo do perfil.

Pinus

A camada de serapilheira apresentou espessura variável (3 a 8 cm). Neste talhão foram encontrados sulcos decorrentes da gradagem muito marcados, com amontoamento de serapilheira, sob a qual existia material orgânico semidecomposto - até 4 cm de espessura. Foi observada, na parte superior do solo mineral, uma camada esbranquiçada com espessura média de 2cm, por baixo da qual havia concreções escuras distribuídas de forma irregular, o que sugere ocorrência de lixiviação. Por baixo dessa camada, o solo apresentava cor 7,5 YR 4/6, com tendência a ficar mais avermelhado em profundidade, sendo de cor 7,5 YR 4/4 a partir de 23 cm. Foi observada a presença de raízes grossas bem distribuídas ao longo de todo o perfil. Houve ocorrência de carvões, escassos, distribuídos de forma homogênea.

a) Cerradão

b) *Pinus* c) *Eucalyptus*

Figura 7. Detalhes das camadas superficiais do solo sob os tipos de vegetação estudados.

a) Cerradão localizado em Pederneiras. Observe-se o enraizamento da serapilheira e a abundância de raízes finas bem distribuídas no perfil, que junto com a cor escura e textura macia sugerem atividade biológica intensa. b) Plantio de *Pinus* localizado em Pederneiras. Observe-se a camada superior escura e a franja irregular esbranquiçada, que também apareceu sob *Pinus* em Itirapina. c) Plantio de *Eucalyptus* situado em Itirapina. Observe-se a espessa camada orgânica sob a serapilheira, o limite nítido entre esta e o solo mineral sugere pouca atividade da fauna do solo.

3.1.2. Caracterização físico-química dos solos estudados

Fisicamente, os locais de estudo apresentaram diferenças significativas, as quais foram evidenciadas na análise granulométrica: a textura foi argilosa em Luiz Antônio, média em Pederneiras e Mogi-Guaçu e arenosa em Itirapina (tabela 6). As diferenças texturais entre tipos de vegetação foram pouco relevantes, como evidencia a figura 8. Observou-se tendência ao acúmulo de argila em profundidade, mas o gradiente foi difuso, sendo 10% a máxima variação textural registrada entre profundidades (tabela 7).

Quimicamente, os latossolos estudados apresentaram ter acidez muito alta e fertilidade muito baixa (tabelas 8 a 11) segundo os critérios de interpretação de análises de solo utilizados no estado de São Paulo ($\text{pH} \leq 4,3$ e saturação de bases entre 0 e 25%) (RAIJ *et al*; 2001).

Tabela 6. Textura do solo nos locais de estudo, composição granulométrica e classes texturais correspondentes segundo o sistema de classificação de Attenberg (PRADO, 1995).

Local	Textura	Classe textural	% Areia	% Silte	% Argila
Luiz Antônio	Argilosa	Argilosa	36	5	59
Mogi-Guaçu	Média	Franco argilo arenosa	70	5	25
Pederneiras	Média	Franco arenosa	82	3	15
Itirapina	Arenosa	Areia franca	87	3	11

Critério de classificação: textura arenosa ($\text{argila} + \text{silte} < 15\%$), textura média ($15\% \leq \text{argila} + \text{silte} < 35\%$) e argilosa ($35\% \leq \text{argila} < 60\%$) (PRADO, 1995).

Figura 8. Granulometria dos solos estudados. As três profundidades são muito semelhantes em textura, de modo que foram analisadas conjuntamente. O gráfico evidencia semelhanças entre tipos de vegetação: cerrado (ce); *Eucalyptus* (eu) e *Pinus* (pi). As diferenças entre locais foram significativas ($F_{18,300,3}=7,42$; $p<000,1$). Barras verticais denotam intervalos de confiança ($n=18$).

A caracterização física das áreas de estudo está detalhada na tabela 7 e os resultados das análises químicas nas tabelas 8 a 11. São reportados acidez ativa (pH) e potencial ($H + Al$), soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC), saturação por bases (V%) e conteúdo de fósforo (P), enxofre (S), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e alumínio (Al) para cada uma das áreas de estudo. As características químicas das áreas situadas em Luiz Antônio podem ser consultadas na tabela 8, as de Mogi-Guaçu na tabela 9, as de Pederneiras na tabela 10 e as de Itirapina na tabela 11.

Tabela 7. Caracterização física dos solos estudados. Percentagens de areia, silte e argila. Média (n=6), desvio padrão (dp) e coeficiente de variação (cv). Classes texturais segundo sistema de classificação de Atterberg.

a) Áreas de estudo situadas em Luiz Antônio.

Vegetação	Profundidade.	% Areia			% Silte			% Argila			Classe textural
		média	dp	cv	média	dp	cv	média	dp	cv	
Cerradão	0-5 cm	42,7	1,4	3,2	5,3	2,9	55,2	52,0	2,4	4,7	argilosa
	10-25 cm	38,0	2,1	5,5	4,7	2,1	44,3	57,3	2,0	3,4	argilosa
	35-50 cm	35,2	1,5	4,2	5,3	2,4	45,4	59,5	2,6	4,4	argilosa
<i>Eucalyptus</i>	0-5 cm	37,2	5,6	15,1	4,0	2,5	63,2	58,8	3,9	6,7	argilosa
	10-25 cm	31,2	3,9	12,6	6,3	2,7	42,0	62,5	2,3	3,8	argilosa
	35-50 cm	28,2	2,0	7,2	6,3	2,0	31,0	65,5	2,8	4,3	argilosa
<i>Pinus</i>	0-5 cm	40,5	7,0	17,4	4,0	1,8	44,7	55,5	6,6	11,9	argilosa
	10-25 cm	34,3	3,3	9,5	5,8	2,6	43,9	59,0	2,1	3,6	argilosa
	35-50 cm	33,0	2,2	6,6	6,3	1,5	23,8	60,7	3,7	6,0	argilosa

b) Áreas de estudo situadas em Mogi-Guaçu.

Vegetação	Profundidade.	% Areia			% Silte			% Argila			Classe textural
		média	dp	cv	média	dp	cv	média	dp	cv	
Cerradão	0-5 cm	71,2	4,4	6,2	5,5	2,9	53,6	23,3	3,3	14,0	franco-argilo-arenosa
	10-25 cm	68,7	2,1	3,0	6,0	1,8	29,8	25,3	1,0	4,1	franco-argilo-arenosa
	35-50 cm	67,0	2,1	3,1	5,3	2,4	45,4	27,7	1,5	5,4	franco-argilo-arenosa
<i>Eucalyptus</i>	0-5 cm	79,3	3,7	4,7	4,0	1,8	44,7	16,7	4,8	29,1	franco-arenosa
	10-25 cm	73,5	1,8	2,4	6,2	1,6	26,0	20,3	1,5	7,4	franco-argilo-arenosa
	35-50 cm	73,7	3,2	4,3	5,0	1,7	33,5	21,3	1,6	7,7	franco-argilo-arenosa
<i>Pinus</i>	0-5 cm	71,2	2,2	3,1	4,0	1,3	31,6	24,8	1,8	7,4	franco-argilo-arenosa
	10-25 cm	65,5	3,2	4,9	4,3	2,0	45,4	30,2	4,0	13,3	franco-argilo-arenosa
	35-50 cm	63,0	3,5	5,6	5,3	1,6	30,6	31,7	2,7	8,4	franco-argilo-arenosa

c) Áreas de estudo situadas em Pederneiras.

Vegetação	Profundidade.	% Areia			% Silte			% Argila			Classe textural
		média	dp	cv	média	dp	cv	média	dp	cv	
Cerradão	0-5 cm	81,2	2,7	3,3	3,0	1,1	36,5	15,8	1,8	11,6	franco-arenosa
	10-25 cm	81,3	1,0	1,3	3,3	1,6	49,0	15,3	1,0	6,7	franco-arenosa
	35-50 cm	79,7	1,5	1,9	4,0	1,8	44,7	16,3	1,5	9,2	franco-arenosa
<i>Eucalyptus</i>	0-5 cm	89,0	1,7	1,9	2,7	1,0	38,7	8,3	1,5	18,1	areno-franca
	10-25 cm	80,3	1,5	1,9	3,7	0,8	22,3	16,0	1,8	11,2	franco-arenosa
	35-50 cm	79,0	1,1	1,4	4,3	1,5	34,7	16,7	1,6	9,8	franco-arenosa
<i>Pinus</i>	0-5 cm	88,7	2,1	2,3	2,3	0,8	35,0	9,0	2,4	27,2	areno-franca
	10-25 cm	78,7	1,0	1,3	3,3	1,6	49,0	18,0	1,8	9,9	franco-arenosa
	35-50 cm	77,7	0,8	1,1	3,7	2,0	53,6	18,7	1,6	8,7	franco-arenosa

d) Áreas de estudo situadas em Itirapina.

Vegetação	Profundidade.	% Areia			% Silte			% Argila			Classe textural
		média	dp	cv	média	dp	cv	média	dp	cv	
Cerradão	0-5 cm	87,3	1,0	1,2	2,0	0,0	0,0	10,7	1,0	9,7	areno-franca
	10-25 cm	86,0	1,8	2,1	2,7	1,0	38,7	11,3	1,0	9,1	areno-franca
	35-50 cm	84,3	0,8	1,0	2,7	1,0	38,7	13,0	1,1	8,4	areno-franca
<i>Eucalyptus</i>	0-5 cm	84,3	1,9	2,2	3,3	1,2	36,3	12,3	1,5	12,2	areno-franca
	10-25 cm	87,7	0,8	0,9	2,0	0,0	0,0	10,3	0,8	7,9	areno-franca
	35-50 cm	85,3	1,6	1,9	3,7	1,5	41,1	11,0	1,1	10,0	areno-franca
<i>Pinus</i>	0-5 cm	91,3	1,0	1,1	2,0	0,0	0,0	6,7	1,0	15,5	arenosa
	10-25 cm	88,3	0,8	0,9	2,0	0,0	0,0	9,7	0,8	8,4	areno-franca
	35-50 cm	87,3	1,0	1,2	2,3	0,8	35,0	10,3	0,8	7,9	areno-franca

Tabela 8. Caracterização química das áreas de estudo situadas em Luiz Antônio. Desvio padrão (dp); coeficiente de variação (cv); (n) repetições
a) Acidez ativa (pH) e potencial (H + Al), soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC) e saturação por bases (V).

Variáveis			pH			H + Al			SB			CTC			V					
unidades			CaCl ₂			mmolc.kg ⁻¹												%		
Vegetação	Profundidade	n	média	dp	cv	média	dp	cv	média	dp	cv	média	dp	cv	média	dp	cv			
cerradão	0-5 cm	30	3,8	0,1	2,9	86,6	18,8	21,7	6,8	4,2	62,1	93,4	18,8	20,1	7,5	4,3	58,0			
	10-25 cm	10	3,9	0,1	1,3	64,4	4,7	7,3	2,6	0,1	4,9	67,0	4,7	7,0	3,8	0,4	11,1			
	35-50 cm	10	4,0	0,0	1,2	55,9	6,8	12,2	2,5	0,4	15,8	58,4	6,9	11,8	4,2	0,8	18,8			
<i>Eucalyptus</i>	0-5 cm	30	3,7	0,1	2,2	109,2	15,5	14,1	6,9	3,4	49,5	116,1	16,5	14,2	6,0	2,7	45,6			
	10-25 cm	10	4,0	0,0	1,2	74,4	6,6	8,9	2,5	0,1	5,2	76,9	6,6	8,6	3,1	0,3	10,2			
	35-50 cm	10	4,1	0,0	1,2	62,8	7,7	12,3	2,6	1,0	38,5	65,4	8,2	12,6	3,9	1,2	30,7			
<i>Pinus</i>	0-5 cm	30	3,6	0,1	3,7	145,5	37,7	25,9	4,9	3,0	62,1	150,3	39,8	26,5	3,1	1,2	38,2			
	10-25 cm	10	4,0	0,1	1,4	57,5	5,8	10,0	2,4	0,3	13,0	59,9	5,9	9,9	4,0	0,5	11,8			
	35-50 cm	10	3,8	0,1	2,9	50,2	5,7	11,3	2,2	0,0	0,0	52,4	5,7	10,8	4,2	0,4	10,0			

b) Conteúdo de fósforo (P) e enxofre (S) (mg.kg⁻¹).

Vegetação	Profundidade	P				S			
		n	média	dp	cv	n	média	dp	cv
cerradão	0-5 cm	6	10,9	3,4	30,9	30	5,1	5,6	109,6
	10-25 cm	3	2,6	0,9	34,3	10	12,8	10,9	84,9
	35-50 cm	3	2,0	0,7	36,7	10	6,1	4,4	72,8
<i>Eucalyptus</i>	0-5 cm	6	9,7	2,0	21,0	30	5,9	5,9	100,5
	10-25 cm	3	3,6	0,9	24,4	10	7,8	4,0	51,8
	35-50 cm	3	1,9	1,1	60,3	10	9,2	4,2	45,7
<i>Pinus</i>	0-5 cm	6	8,3	3,3	39,6	30	12,8	6,6	51,5
	10-25 cm	3	2,6	0,2	7,9	10	11,4	7,4	64,8
	35-50 cm	3	1,4	0,4	25,0	10	8,8	4,2	47,1

c) Conteúdo de potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e alumínio (Al) (mmolc.kg⁻¹)

Vegetação	Profundidade	n	K			Ca			Mg			Al		
			média	dp	cv	média	dp	cv	média	dp	cv	média	dp	cv
Cerradão	0-5 cm	6	4,1	4,2	103,1	1,5	0,4	25,8	3,8	2,2	59,0	15,3	3,1	20,1
	10-25 cm	3	0,2	0,2	79,6	0,4	0,1	15,2	0,9	0,2	28,1	9,0	2,6	29,4
	35-50 cm	3	0,4	0,6	166,3	0,3	0,1	42,0	0,7	0,3	47,0	6,7	2,1	31,2
<i>Eucalyptus</i>	0-5 cm	6	3,8	2,5	66,9	2,2	0,8	36,5	3,6	2,0	56,6	26,7	5,5	20,5
	10-25 cm	3	1,0	0,6	62,4	0,5	0,1	15,6	0,6	0,0	2,7	13,3	0,6	4,3
	35-50 cm	3	0,4	0,1	34,6	0,2	0,0	17,2	0,4	0,1	21,3	9,7	2,1	21,5
<i>Pinus</i>	0-5 cm	6	2,5	2,1	82,3	0,8	0,3	33,6	1,1	0,4	33,2	33,8	9,6	28,4
	10-25 cm	3	0,8	0,7	87,5	0,1	0,1	48,5	0,4	0,1	22,4	8,0	1,7	21,7
	35-50 cm	3	0,4	0,4	96,8	0,1	0,0	50,7	0,3	0,0	15,3	5,7	1,5	27,0

Tabela 9. Caracterização química das áreas de estudo situadas em Mogi-Guaçu. Desvio padrão (dp); coeficiente de variação (cv); (n) repetições
a) Acidez ativa (pH) e potencial (H + Al), soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC) e saturação por bases (V).

Variáveis			pH			H + Al			SB			CTC			V					
unidades			CaCl ₂			mmolc.kg ⁻¹												%		
Vegetação	Profundidade	n	média	dp	cv	média	dp	cv	média	dp	cv	média	dp	cv	média	dp	cv			
cerradão	0-5 cm	32	3,5	0,1	3,8	95,4	26,8	28,1	4,8	1,4	29,5	100,2	27,4	27,4	4,9	1,2	25,4			
	10-25 cm	10	3,8	0,1	2,8	47,1	8,8	18,8	2,5	0,1	5,7	49,6	8,9	18,0	5,2	0,8	15,2			
	35-50 cm	10	3,9	0,1	2,2	39,0	7,3	18,7	2,3	0,1	3,8	41,3	7,3	17,8	5,7	1,2	20,3			
<i>Eucalyptus</i>	0-5 cm	29	3,7	0,2	4,9	50,7	16,9	33,4	6,2	2,8	44,9	56,9	16,3	28,7	11,6	5,8	49,8			
	10-25 cm	10	3,8	0,1	2,8	39,0	4,9	12,6	2,6	0,7	26,0	41,6	4,9	11,8	6,4	1,8	27,8			
	35-50 cm	10	3,8	0,1	3,2	34,0	6,1	17,9	2,5	0,3	13,8	36,5	6,2	16,9	6,7	1,1	15,8			
<i>Pinus</i>	0-5 cm	29	3,3	0,1	4,3	151,4	53,7	35,4	4,7	2,4	51,9	156,1	54,7	35,0	3,6	4,1	113,6			
	10-25 cm	10	4,0	0,1	3,4	40,6	5,2	12,7	2,2	0,0	1,9	42,8	5,2	12,1	5,1	0,6	11,1			
	35-50 cm	10	4,0	0,0	1,2	35,8	3,6	9,9	2,2	0,1	2,5	38,0	3,6	9,4	5,6	0,7	12,5			

b) Conteúdo de fósforo (P) e enxofre (S) (mg.kg^{-1}).

Vegetação	Profundidade	P				S			
		n	média	dp	cv	n	média	dp	cv
cerradão	0-5 cm	6	11,1	3,7	33,5	32	17,7	11,4	64,4
	10-25 cm	3	2,2	0,2	9,1	10	13,7	6,0	43,7
	35-50 cm	3	1,2	0,5	45,8	10	13,1	6,8	51,8
<i>Eucalyptus</i>	0-5 cm	6	8,7	4,7	54,4	29	13,1	5,5	41,7
	10-25 cm	3	2,7	0,7	27,2	10	10,6	3,4	32,0
	35-50 cm	3	2,2	0,9	39,7	10	12,9	3,1	24,1
<i>Pinus</i>	0-5 cm	6	7,1	3,2	44,8	29	10,5	6,9	65,2
	10-25 cm	3	1,6	0,8	49,5	10	16,5	12,4	75,0
	35-50 cm	3	1,8	0,4	20,0	10	7,0	4,8	68,8

c) Conteúdo de potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e alumínio (Al) (mmolc.kg^{-1}).

Vegetação	Profundidade	n	K			Ca			Mg			Al		
			média	dp	cv	média	dp	cv	média	dp	cv	média	dp	cv
Cerradão	0-5 cm	6	1,3	0,5	38,7	1,4	0,3	23,8	1,6	0,3	18,1	21,7	8,8	40,8
	10-25 cm	3	0,2	0,2	83,3	0,4	0,2	42,7	0,6	0,2	39,8	7,0	1,7	24,7
	35-50 cm	3	0,1	0,1	81,9	0,2	0,1	31,0	0,4	0,1	22,3	6,3	2,1	32,9
<i>Eucalyptus</i>	0-5 cm	6	3,3	1,2	38,2	1,4	0,5	35,1	1,5	0,4	29,4	8,8	1,7	19,5
	10-25 cm	3	0,3	0,4	112,1	0,2	0,1	26,0	0,4	0,1	29,7	7,0	1,0	14,3
	35-50 cm	3	0,3	0,3	93,2	0,3	0,2	62,1	0,5	0,1	18,8	7,0	1,0	14,3
<i>Pinus</i>	0-5 cm	6	2,3	2,2	95,3	0,7	0,3	45,5	1,2	0,5	44,0	26,5	8,3	31,3
	10-25 cm	3	0,1	0,1	142,6	0,1	0,1	82,9	0,3	0,1	30,3	5,7	1,5	27,0
	35-50 cm	3	0,0	0,0	86,6	0,1	0,0	56,2	0,3	0,1	26,9	4,3	1,2	26,6

Tabela 10. Caracterização química das áreas de estudo situadas em Pederneiras. Desvio padrão (dp); coeficiente de variação (cv); (n) repetições
a) Acidez ativa (pH) e potencial (H + Al), soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC) e saturação por bases (V).

Variáveis			pH			H + Al			SB			CTC			V			
unidades			CaCl ₂			mmolc.kg ⁻¹										%		
Vegetação	Profundidade	n	média	dp	cv	média	dp	cv	média	dp	cv	média	dp	cv	média	dp	cv	
cerradão	0-5 cm	30	3,8	0,2	6,3	81,1	32,6	40,2	6,4	4,8	75,4	87,4	34,4	39,4	7,3	4,0	54,6	
	10-25 cm	10	4,0	0,1	3,1	29,8	2,9	9,7	2,4	0,1	4,5	32,2	2,9	9,1	7,4	0,7	9,4	
	35-50 cm	10	4,0	0,1	2,5	27,7	1,7	6,1	2,3	0,3	13,4	30,0	1,8	5,8	7,7	0,9	12,3	
<i>Eucalyptus</i>	0-5 cm	30	3,5	0,1	3,4	35,1	8,4	24,0	3,0	0,6	19,8	38,0	8,4	22,2	8,2	2,4	29,2	
	10-25 cm	10	3,7	0,1	2,4	34,1	4,2	12,3	2,3	0,1	3,5	36,4	4,2	11,5	6,4	0,8	13,2	
	35-50 cm	10	3,8	0,1	2,3	33,0	3,8	11,5	2,2	0,1	2,4	35,2	3,8	10,8	6,2	0,9	14,8	
<i>Pinus</i>	0-5 cm	32	3,5	0,1	3,8	41,2	13,9	33,8	2,6	0,5	18,0	43,8	14,0	32,0	6,6	2,2	33,5	
	10-25 cm	10	3,8	0,1	2,1	30,1	2,5	8,2	2,6	1,3	49,4	32,7	2,9	8,9	7,8	3,3	42,6	
	35-50 cm	10	3,9	0,1	2,0	28,6	1,9	6,6	2,2	0,3	14,4	30,8	1,9	6,1	7,1	1,2	16,9	

b) Conteúdo de fósforo (P) e enxofre (S) (mg.kg⁻¹).

Vegetação	Profundidade	P				S			
		n	média	dp	cv	n	média	dp	cv
cerradão	0-5 cm	6	10,8	5,3	49,4	30	13,7	6,6	48,1
	10-25 cm	3	2,7	0,4	15,1	10	7,3	2,1	28,5
	35-50 cm	3	1,9	0,7	39,0	10	7,9	4,8	61,2
<i>Eucalyptus</i>	0-5 cm	6	3,8	1,4	36,2	30	7,3	2,9	40,2
	10-25 cm	3	2,2	0,8	36,5	10	6,9	2,0	29,8
	35-50 cm	3	1,4	0,4	25,0	10	8,7	3,0	33,9
<i>Pinus</i>	0-5 cm	6	4,3	1,9	44,9	32	7,9	2,7	33,5
	10-25 cm	3	2,5	0,4	14,3	10	14,9	4,1	27,4
	35-50 cm	3	1,6	0,2	12,4	10	16,6	4,7	28,4

c) Conteúdo de potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e alumínio (Al) (mmolc.kg⁻¹).

Vegetação	Profundidade	n	K			Ca			Mg			Al		
			média	dp	cv	média	dp	cv	média	dp	cv	média	dp	cv
Cerradão	0-5 cm	6	3,2	1,8	54,3	1,4	0,4	26,8	1,5	0,6	36,2	19,8	7,6	38,5
	10-25 cm	3	0,0	0,0	0,0	0,2	0,1	29,4	0,5	0,0	4,6	6,0	1,0	16,7
	35-50 cm	3	0,1	0,2	161,1	0,1	0,1	58,0	0,4	0,1	30,2	4,3	0,6	13,3
<i>Eucalyptus</i>	0-5 cm	6	2,1	1,1	53,5	0,6	0,3	42,8	1,1	0,5	48,0	7,0	2,1	30,0
	10-25 cm	3	0,2	0,1	90,8	0,2	0,1	67,9	0,4	0,1	24,6	6,3	1,5	24,1
	35-50 cm	3	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	86,3	0,2	0,0	10,2	6,3	0,6	9,1
<i>Pinus</i>	0-5 cm	6	3,1	1,3	42,1	0,3	0,1	26,1	0,8	0,3	34,8	8,7	4,2	48,2
	10-25 cm	3	0,3	0,5	163,9	0,1	0,0	35,3	0,4	0,1	28,2	5,7	1,5	27,0
	35-50 cm	3	0,0	0,0	121,2	0,0	0,0	136,0	0,2	0,0	13,6	5,0	2,6	52,9

Tabela 11. Caracterização química das áreas de estudo situadas em Itirapina. Desvio padrão (dp); coeficiente de variação (cv); (n) repetições.

a) Acidez ativa (pH) e potencial (H + Al), soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC) e saturação por bases (V).

Variáveis			pH			H + Al			SB			CTC			V			
unidades			CaCl ₂			μmolc.kg ⁻¹										%		
Vegetação	Profundidade	n	média	dp	cv	média	dp	cv	média	dp	cv	média	dp	cv	média	dp	cv	
cerradão	0-5 cm	30	3,2	0,3	8,9	150,2	87,6	58,3	6,3	3,7	58,8	156,5	88,9	56,8	4,6	2,9	62,2	
	10-25 cm	10	3,7	0,1	3,1	37,6	6,4	17,1	2,2	0,1	2,3	39,8	6,4	16,1	5,7	0,9	16,6	
	35-50 cm	10	3,9	0,1	1,6	29,9	4,5	15,0	2,1	0,1	2,4	32,0	4,5	13,9	6,7	1,1	15,8	
<i>Eucalyptus</i>	0-5 cm	30	2,9	0,4	13,3	357,0	189,0	52,9	4,6	2,7	58,0	361,6	191,0	52,8	2,1	2,0	96,7	
	10-25 cm	10	3,3	0,4	13,3	147,9	232,2	157,0	2,9	1,5	51,8	150,8	233,7	154,9	4,8	2,4	49,9	
	35-50 cm	10	3,2	0,5	15,3	182,2	201,9	110,8	3,1	1,5	50,1	185,3	203,2	109,7	4,5	3,1	68,1	
<i>Pinus</i>	0-5 cm	30	3,2	0,5	16,8	96,4	55,8	57,9	2,3	0,4	17,9	98,7	55,9	56,7	3,2	2,3	72,2	
	10-25 cm	10	4,0	0,1	1,3	22,3	3,5	15,8	2,1	0,0	1,5	24,4	3,5	14,5	9,0	1,2	13,9	
	35-50 cm	10	3,9	0,1	1,8	22,3	3,8	17,0	2,1	0,0	1,5	24,4	3,8	15,6	9,0	1,3	14,8	

b) Conteúdo de fósforo (P) e enxofre (S) (mg.kg^{-1}).

Vegetação	Profundidade	P				S (mg.kg^{-1})			
		n	média	dp	cv	n	média	dp	cv
cerradão	0-5 cm	6	11,8	9,0	76,3	30	10,8	8,1	75,1
	10-25 cm	3	2,1	1,3	60,1	10	10,6	3,6	33,7
	35-50 cm	3	1,4	0,4	25,0	10	7,6	3,0	40,2
<i>Eucalyptus</i>	0-5 cm	6	16,5	15,0	91,1	30	7,4	7,6	101,8
	10-25 cm	3	1,9	0,2	10,8	10	7,6	4,6	60,3
	35-50 cm	3	1,3	0,4	31,5	10	7,0	3,8	54,0
<i>Pinus</i>	0-5 cm	6	4,0	2,6	64,8	30	5,6	6,0	107,4
	10-25 cm	3	1,4	0,4	25,0	10	10,1	3,9	38,7
	35-50 cm	3	0,9	0,4	43,3	10	18,2	12,9	71,0

c) Conteúdo de potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e alumínio (Al) (mmolc.kg^{-1}).

Vegetação	Profundidade	n	K			Ca			Mg			Al		
			média	dp	cv	média	dp	cv	média	dp	cv	média	dp	cv
Cerradão	0-5 cm	6	4,7	3,6	77,1	1,1	0,8	71,7	2,3	1,5	67,4	21,7	13,3	61,3
	10-25 cm	3	1,3	2,2	167,4	0,1	0,0	29,1	0,4	0,2	46,9	6,0	1,0	16,7
	35-50 cm	3	0,3	0,3	123,5	0,0	0,0	37,2	0,3	0,1	21,2	5,7	0,6	10,2
<i>Eucalyptus</i>	0-5 cm	6	0,8	1,4	165,5	0,8	0,5	68,7	1,9	2,5	126,7	41,2	21,7	52,7
	10-25 cm	3	0,1	0,0	91,7	0,1	0,0	37,5	0,3	0,1	24,0	6,0	1,0	16,7
	35-50 cm	3	0,2	0,3	111,9	0,0	0,0	39,0	0,3	0,1	34,9	5,0	0,0	0,0
<i>Pinus</i>	0-5 cm	6	0,4	0,4	100,7	0,2	0,1	66,2	0,5	0,1	12,2	9,0	6,4	71,3
	10-25 cm	3	0,1	0,2	155,9	0,1	0,0	32,7	0,3	0,2	63,3	5,0	0,0	0,0
	35-50 cm	3	0,1	0,1	81,9	0,0	0,0	130,2	0,2	0,1	35,6	5,0	0,0	0,0

3.1.3. Caracterização da vegetação das áreas de estudo

Os parâmetros quantificados evidenciam diferenças estruturais na vegetação dos três tipos florestais estudados, principalmente entre áreas naturais e silviculturais. As árvores medidas nas áreas de cerradão apresentaram diâmetros menores do que aquelas das áreas silviculturais (10,0 a 18,5 cm em áreas de cerradão; 20,8 a 30,8 em *Pinus* e 22,6 a 41,6 em *Eucalyptus*). A densidade arbórea foi bastante maior (tabela 12), mesmo excluindo os indivíduos com diâmetro menor que 10 cm, que foram a maioria, representando entre 67 e 78% do total (tabela 13). As áreas basais foram semelhantes entre os três tipos de vegetação (23,2 a 42,6 m².ha⁻¹ em áreas de cerradão; 20,8 a 42,1 m².ha⁻¹ em áreas de *Eucalyptus* e 22,0 a 43,7 m².ha⁻¹ em áreas de *Pinus*) (tabela 12).

Como indicam os coeficientes de variação, a variabilidade espacial encontrada nos plantios (tabela 12) é alta considerando que são plantios homogêneos. A vegetação implantada não é uniforme nos quatro locais de estudo, o que pode ser explicado com base em diferenças de manejo: No talhão de *Eucalyptus* de Itirapina foram medidos diâmetros menores e densidade de árvores maior do que nas outras áreas de *Eucalyptus*. O local constitui uma faixa de controle de incêndios e é manejado de forma inconstante, a rebrota espontânea não é cortada, havendo muitas árvores jovens, o que explica os valores encontrados. Também no talhão de *Pinus* de Luiz Antônio encontramos diâmetros menores e densidades maiores do que em outras áreas, tal vez porque *Pinus elliottii* não é uma espécie perfeitamente adaptada às condições tropicais e o local deve resultar excessivamente quente para o bom desenvolvimento dessas árvores.

Tabela 12. Parâmetros descritores da vegetação para cada tipo florestal e local estudado. Os dados de cerrado correspondem exclusivamente às árvores com diâmetros de 10 cm ou mais. Apresentam-se: n=número de árvores medidas, dens=densidade (árvores.ha⁻¹), med=médias, sd=desvio padrão e cv=coeficiente de variação (%) dos valores de Ø=diâmetro e h=altura média e AB=área basal (m².ha⁻¹). As diferenças no número de árvores medidas (n) entre tipos de vegetação são devidas aos métodos de coleta utilizados, como explicado na secção 2.5.

Vegetação	Local	n	dens (arv.ha ⁻¹)	Ø (cm)			h (m)	AB (m ² .ha ⁻¹)
				med	sd	cv		
Cerradão	Luiz Antônio	36	1200	15,1	4,4	29	6	23,2
	Mogi-Guaçu	37	1233	18,5	6,9	37	18,5	37,5
	Pederneiras	48	1600	10	3,5	35	17,3	42,6
	Itirapina	48	1600	16,2	5,4	33	7,7	36,6
<i>Eucalyptus</i>	Luiz Antônio	100	299	40,4	12,6	31	45,7	42,1
	Mogi-Guaçu	100	376	33,6	14,3	43	41,1	38,6
	Pederneiras	100	146	41,6	8,8	21	38	20,8
	Itirapina	100	802	22,6	10,5	46	25,5	39,1
<i>Pinus</i>	Luiz Antônio	100	786	20,8	6,2	30	18,9	29,1
	Mogi-Guaçu	100	279	30,8	6,4	21	23,1	22,0
	Pederneiras	100	429	30,3	6,2	21	25,7	32,3
	Itirapina	100	558	30,7	7,9	26	29,4	43,7

Os dados obtidos nas diferentes áreas de cerradão (tabela 13) mostram bastante homogeneidade, sendo coerente considerá-las como pertencentes ao mesmo tipo de vegetação natural. O remanescente de Pederneiras mostrou algumas diferenças, com diâmetros e desvios menores do que os dos outros locais, o que pode explicar-se pela maior pressão antrópica. Ao contrário das outras áreas de vegetação natural, a de Pederneiras não é custodiada por nenhuma instituição e não há controle da presença humana nem das atividades que nela ocorrem.

Tabela 13. Parâmetros descritores da vegetação natural de cerradão das áreas de estudo agrupados em três classes de diâmetro: o grupo A contém o total de indivíduos medidos, o B os indivíduos com diâmetro entre 3 e 10 cm e o C os indivíduos com diâmetro maior que 10 cm. Note-se que o grupo C é referido na tabela 13. São reportados o número de árvores medidas (n), a densidade arbórea (árvores.ha⁻¹), a contribuição relativa de cada grupo (CR), as médias e desvios dos diâmetros (Ø) e alturas (h) e a área basal (m².ha⁻¹) (AB).

Local	Grupo	n	Densidade (arv.ha ⁻¹)	CR %	Ø (cm)	h (m)	AB (m ² .ha ⁻¹)
Luiz Antônio	A	165	5500	100	7,4 ± 4,9	6 ± 3,1	33,4
	B	129	4300	78	5,2 ± 1,8	4,9 ± 1,8	23,2
	C	36	1200	22	15,1 ± 4,4	6,9 ± 4,2	10,2
Mogi-Guaçu	A	143	4766	100	8,6 ± 7,0	7,2 ± 4,6	45,6
	B	106	3533	74	5,1 ± 1,7	5,1 ± 2,2	37,5
	C	37	1233	26	18,5 ± 6,9	18,5 ± 4,4	8,1
Pederneiras	A	160	5333	100	8,9 ± 6,7	6,3 ± 3,5	52,1
	B	112	3733	70	5,3 ± 2,0	4,7 ± 1,9	42,6
	C	48	1600	30	17,3 ± 6,3	10 ± 3,5	9,5
Itirapina	A	147	4900	100	9,3 ± 6,0	5,6 ± 8,1	46,9
	B	99	3300	67	5,9 ± 2,1	4,6 ± 9,6	36,6
	C	48	1600	33	16,2 ± 5,4	7,7 ± 2,8	10,3

3.2. Carbono orgânico do solo

3.2.1. Distribuições de dados e coeficientes de variação

Os dados de massa de carbono e matéria orgânica do solo não seguiram distribuições normais, apresentando variâncias heterogêneas e assimetria pela direita, situação comum em dados ecológicos. Os dados de carbono orgânico do solo ajustaram-se bem à distribuição lognormal, para normalizar a distribuição dos dados de matéria orgânica a transformação arcosseno foi satisfatória.

Os coeficientes de variação encontrados (tabelas 15 e 23) foram altos na camada superficial do solo, com valores entre 18 e 58%. Nas outras profundidades estudadas, os coeficientes variaram entre 5 e 26%. É habitual deparar-se com coeficientes em torno a 30% em estudos ecológicos, de modo que os deste trabalho podem ser considerados baixos. Nas áreas de cerradão foram calculados coeficientes de variação entre 8 e 53%, nas de *Eucalyptus* entre 10 e 58% e nas de *Pinus* entre 5 e 42%. Apesar de ser esperado encontrar maior variabilidade em zonas de vegetação natural do que de monocultura, só na camada superficial do solo de Pederneiras os coeficientes encontrados foram claramente maiores no cerradão do que nos plantios.

Nos resultados das análises químicas foram encontrados valores extremos. No talhão de *Eucalyptus* localizado em Itirapina apareceram valores muito altos de carbono e matéria orgânica, que distorcem as distribuições de dados, trazendo forte assimetria pela direita. Dois desses valores extremos estavam na camada de solo de 10-25 cm de profundidade e 4 na camada de 35-50 cm. Esses valores originaram coeficientes de variação elevadíssimos (162% na camada de solo de 10-25 cm e 113% na de 35-50 cm) quando retirados, os coeficientes caíram atingindo magnitudes mais razoáveis (24% na camada de solo de 10-25 cm e 18% na de 35-50 cm). Os 6 valores superaram a média em 3 vezes o desvio padrão e foram retirados

dos conjuntos de dados para realizar as análises sensíveis à normalidade e/ou simetria seguindo os critérios de Sokal e Rolf (1995), porém, é importante ressaltar o fato de que os pontos refletem a heterogeneidade espacial das áreas de estudo e devem ser discutidos adequadamente.

3.2.2. Conteúdo de carbono orgânico na massa de solo

O teor de carbono diminuiu ao longo do gradiente de profundidade, sendo que os maiores valores foram encontrados na camada superficial do solo (0-5 cm), com médias variando entre 10,83 e 65,99 gC.kg⁻¹. Na profundidade 10-25 cm os valores das médias variaram entre 5,41 e 14,59 gC.kg⁻¹ e na profundidade 35-50 cm entre 5,06 e 12,73 gC.kg⁻¹. Os resultados das 12 áreas de estudo estão discriminados na tabela 14.

Tabela 14. Conteúdo de carbono do solo (g.kg^{-1}) encontrado nos tipos de vegetação e locais estudados para cada uma das profundidades de análise. Reportam-se os valores mínimo (min) e máximo (max), o desvio padrão (sd) e os coeficientes de variação (cv).

a) Solo da camada superficial, profundidade 0-5 cm (n=30)

Local	Vegetação	média	mediana	min	max	sd	cv
Luiz Antônio	cerradão	28,41	26,16	19,77	41,86	6,12	22
	<i>Eucalyptus</i>	34,61	34,30	18,60	48,26	6,33	18
	<i>Pinus</i>	43,14	46,22	19,77	84,88	17,01	39
Mogi-Guaçu	cerradão	24,67	23,55	13,95	40,70	6,18	25
	<i>Eucalyptus</i>	11,65	11,63	8,14	20,35	2,79	24
	<i>Pinus</i>	35,45	33,72	16,28	87,79	14,73	42
Pederneiras	cerradão	30,48	25,00	13,37	66,28	15,31	50
	<i>Eucalyptus</i>	10,83	11,05	8,14	14,53	1,91	18
	<i>Pinus</i>	12,26	11,63	6,98	24,42	3,88	32
Itirapina	cerradão	36,86	31,40	12,79	88,95	19,66	53
	<i>Eucalyptus</i>	65,99	70,06	6,40	130,81	38,28	58
	<i>Pinus</i>	15,58	15,70	5,81	26,74	6,18	40

b) Solo da camada de profundidade 10-25 cm. (n=10)

Local	Vegetação	média	mediana	min	max	sd	cv
Luiz Antônio	cerradão	14,59	14,53	13,37	17,44	1,27	9
	<i>Eucalyptus</i>	13,31	12,79	11,63	16,28	1,27	10
	<i>Pinus</i>	11,80	11,63	11,05	12,79	0,55	5
Mogi-Guaçu	cerradão	13,20	13,66	8,72	16,28	2,66	20
	<i>Eucalyptus</i>	9,65	9,59	6,98	13,37	2,14	22
	<i>Pinus</i>	8,90	8,43	7,56	11,63	1,20	13
Pederneiras	cerradão	8,08	8,14	6,40	9,88	1,01	12
	<i>Eucalyptus</i>	6,92	6,98	5,81	8,72	0,97	14
	<i>Pinus</i>	5,64	5,23	5,23	6,98	0,73	13
Itirapina	cerradão	8,43	8,72	5,81	9,88	1,20	14
	<i>Eucalyptus</i>	31,57	8,72	5,23	144,77	51,29	162
	<i>Eucalyptus</i> *	7,56	8,43	5,23	9,30	1,81	24
	<i>Pinus</i>	5,41	5,23	4,07	7,56	1,16	22

* os outliers foram retirados (n=8)

c) Solo da camada de profundidade 35-50 cm. (n=10)

Local	Vegetação	média	mediana	min	max	sd	cv
Luiz Antônio	cerradão	12,73	12,79	11,63	15,12	1,04	8
	<i>Eucalyptus</i>	11,40	10,76	9,88	15,12	1,56	14
	<i>Pinus</i>	10,64	10,47	9,88	11,63	0,78	7
Mogi-Guaçu	cerradão	10,93	9,59	8,14	15,12	2,83	26
	<i>Eucalyptus</i>	9,13	9,59	6,40	11,63	2,21	24
	<i>Pinus</i>	7,79	7,56	6,98	8,72	0,56	7
Pederneiras	cerradão	6,34	6,40	5,23	7,56	0,70	11
	<i>Eucalyptus</i>	6,10	6,10	5,23	7,56	0,79	13
	<i>Pinus</i>	5,58	5,23	5,23	6,40	0,56	10
Itirapina	cerradão	6,63	6,98	5,23	6,98	0,63	9
	<i>Eucalyptus</i>	31,40	7,56	5,23	104,65	35,48	113
	<i>Eucalyptus</i> *	6,40	6,40	5,23	8,14	1,16	18
	<i>Pinus</i>	5,06	4,94	4,07	6,98	0,87	17

* os outliers foram retirados (n=6)

Numa primeira aproximação, foi considerado o conjunto total de dados (figura 9) verificando-se que a quantidade de carbono contida na camada superficial do solo foi maior no *Eucalyptus*, seguida do cerrado e do *Pinus*. Nas outras profundidades, o cerrado apresentou valores maiores, seguido do *Eucalyptus*. Em todo caso, as menores quantidades de carbono foram medidas sob cobertura de *Pinus*. ANOVA de blocos randômicos indicou diferenças significativas entre profundidades, mas não entre tipos de vegetação. Contudo, para avaliar adequadamente o efeito do tipo de vegetação sobre os teores de carbono, é necessária uma análise que considere os subconjuntos de dados, porque a influência da cobertura vegetal sobre o carbono não foi uniforme entre locais (figura 10).

Figura 9. Conteúdo de carbono (gC.kg⁻¹) no solo em função do tipo de vegetação e da profundidade. Os dados dos 4 locais foram aqui analisados em conjunto, não encontrando diferenças significativas entre os tipos de vegetação estudados.

Como evidencia a figura 10, o efeito da vegetação sobre o conteúdo de carbono variou entre locais na camada superficial do solo, não sendo claro qual dos tratamentos de vegetação está relacionado com maior ou menor quantidade de carbono. Nas outras profundidades, repetiu-se um padrão único: maiores quantidades de carbono nos solos de cerrado, seguidos dos de *Eucalyptus* e, por último, dos de *Pinus*.

Figura 10. Percentagem de massa carbono do solo em função do tipo de vegetação em cada um dos locais e profundidades estudados. Diagramas de caixa representam dados totais, não intervalos de confiança, de modo que sobreposição não implica falta de diferença significativa.

Os diagramas de caixa da figura 10 representam medianas, máximos e mínimos e não intervalos de confiança, pelo que sobreposição não indica falta de diferença significativa entre tratamentos, tal diferença foi testada posteriormente.

Resultados de ANOVA indicaram efeito significativo do local e do tipo de vegetação sobre a quantidade de carbono do solo nas três profundidades estudadas (tabela 15). Na camada superficial do solo, o efeito da interação entre local e vegetação também foi significativo (tabela 16), ou seja, que a resposta à silvicultura diferiu entre locais, sendo verificados tanto acréscimos quanto decréscimos no conteúdo de carbono. As diferenças médias ocorridas nessa camada em função do tipo de vegetação implantado estão discriminadas na tabela 17. Nas outras profundidades, as maiores quantidades de carbono ocorreram em solos de cerradão, seguidos de *Eucalyptus* e *Pinus* (figura 10).

Tabela 15. Resultados de ANOVA que compara os efeitos do local e da vegetação sobre o carbono orgânico do solo. As três profundidades foram analisadas separadamente. Para realizar a análise foi necessário submeter os dados obtidos na camada de 0-5 cm de profundidade à transformação logarítmica.

Profundidade	Fator testado	Graus de liberdade	F	p
0-5 cm	Local	3	26,286	***
	Vegetação	2	9,642	***
	Local X Vegetação	6	30,395	***
10-25 cm	Local	3	125,318	***
	Vegetação	2	45,318	***
35-50 cm	Local	3	117,654	***
	Vegetação	2	19,321	***

*** indica $p < 0,001$

Tabela 16. Resultados de ANOVA indicam que o efeito da interação entre local e vegetação sobre os teores de carbono é significativo unicamente na camada superficial do solo (0-5 cm).

Profundidade	Graus de liberdade	F	p
0-5 cm	6	30,395	***
10-25 cm	6	1,968	0.076
35-50 cm	6	1,626	0.147

*** indica $p < 0,001$

Tabela 17. Diferenças médias ocorridas nos teores de carbono (g.kg^{-1}) em função do uso silvicultural na camada de solo superficial (0-5 cm) nos locais estudados. Sinais + indicam ganhos e – depleções. * indica diferenças ao nível de significância 0,05, segundo Tukey.

C (g.kg^{-1})	Luiz Antônio	Mogi-Guaçu	Pederneiras	Itirapina
<i>Eucalyptus</i>	+ 6,2	- 13,02 *	- 19,65 *	+ 29,13 *
<i>Pinus</i>	+ 14,73 *	+ 10,77 *	- 18,22 *	- 21,28 *

Procurando saber se a interação entre local e vegetação existente na camada superficial do solo é devida às diferenças granulométricas existentes entre locais, foi calculada a quantidade de carbono por cada 100 g de argila (tabela 18) e. Posteriormente, foi explorada a relação entre o conteúdo de carbono o de partículas finas (argila e silte). Os resultados de tal análise estão na secção 3.2.3.

Tabela 18. Conteúdo de carbono por quantidade de argila (g de C em 100g de argila) encontrado na camada superficial dos solos estudados.

Local	Vegetação	gC.100g arg	Local	Vegetação	gC.100g arg
Luiz Antônio	Cerradão	4,93	Pederneiras	Cerradão	19,37
	<i>Eucalyptus</i>	6,50		<i>Eucalyptus</i>	11,20
	<i>Pinus</i>	5,63		<i>Pinus</i>	11,91
Mogi-Guaçu	Cerradão	9,46	Itirapina	Cerradão	35,68
	<i>Eucalyptus</i>	6,63		<i>Eucalyptus</i>	43,52
	<i>Pinus</i>	13,27		<i>Pinus</i>	13,13

3.2.3. Relação entre carbono e textura do solo

Os resultados mostram que há uma relação linear direta entre o conteúdo de partículas finas (argila e silte) e o de carbono orgânico do solo. Considerar argila ou argila+silte como variável independente não alterou os resultados de forma relevante (figura 11).

A relação entre o carbono orgânico do solo e a textura variou com a profundidade, como mostram os resultados da análise de regressão linear contidos na tabela 19. A relação não foi significativa na camada superficial do solo, mas sim nas outras profundidades, sendo que o conteúdo de argila (e argila+silte) explicou mais de 60% dos teores de carbono na camada de 10-25 cm e mais de 70% na camada de 35-50 cm (tabela 19).

Figura 11 – Relação linear entre o carbono orgânico do solo e o conteúdo de partículas finas (argila e argila+silte) para cada uma das profundidades de análise nos solos estudados. A relação não foi significativa na camada superficial do solo, mas sim nas outras.

Tabela 19. Relação entre carbono orgânico e textura nos solos estudados. Resultados da Análise de Regressão Linear: equações das retas de regressão, onde X =conteúdo de partículas finas, Y =conteúdo de carbono (ambos em g.kg^{-1}) e a e b os parâmetros estimados; coeficientes de ajuste (R^2) e valores de p ; ns indica falta de significância ($p>0,05$) e *** indica $p<0,001$.

Variável independente	Profundidade	Análise de Regressão Linear			
		$Y=a+bX$		R^2	p
		a	b		
argila	0-5 cm	26,19	0,019	0,03	0,183 ns
	10-25 cm	5,96	0,012	0,62	***
	35-50 cm	4,74	0,011	0,75	***
argila+silte	0-5 cm	2,54	0,019	0,03	0,158 ns
	10-25 cm	0,56	0,011	0,63	***
	35-50 cm	0,44	0,010	0,75	***

3.2.4. Efeitos da densidade sobre o conteúdo de carbono orgânico do solo

Em solos de cerrado, foram encontrados valores de densidade aparente entre 0,85 e 1,41 g.cm^{-3} , em solos de *Eucalyptus* entre 0,96 e 1,46 g.cm^{-3} e em solos de *Pinus* entre 0,89 e 1,49 g.cm^{-3} (tabela 20).

Tabela 20. Densidade aparente média (g.cm^{-3}) calculada para os solos estudados ($n=4$).

Vegetação	Profundidade	Luiz Antônio		Mogi-Guaçu		Pederneiras		Itirapina	
		média	sd	média	sd	média	sd	média	sd
Cerradão	0-5 cm	0,93	0,02	1,03	0,09	1,22	0,02	0,86	0,07
	10-25 cm	0,85	0,03	1,23	0,06	1,40	0,04	1,30	0,11
	35-50 cm	0,94	0,09	1,12	0,09	1,41	0,02	1,36	0,01
Eucalyptus	0-5 cm	1,20	0,04	1,27	0,06	1,28	0,03	1,00	0,16
	10-25 cm	1,00	0,06	1,32	0,06	1,41	0,04	1,46	0,07
	35-50 cm	0,96	0,05	1,30	0,05	1,44	0,03	1,38	0,05
Pinus	0-5 cm	0,89	0,05	1,15	0,05	1,28	0,06	1,15	0,10
	10-25 cm	1,01	0,06	1,10	0,13	1,49	0,02	1,42	0,04
	35-50 cm	0,95	0,03	1,03	0,12	1,40	0,08	1,42	0,06

sd=desvio padrão

Analisando os dados dos quatro locais em conjunto através de ANOVA, foi verificado efeito significativo da profundidade, sendo a densidade menor na camada superficial do solo do que nas outras camadas (tabela 21). Também foram encontradas diferenças significativas em função do tipo de vegetação, sendo obtidos valores menores nas áreas de cerradão do que nas de *Eucalyptus* e *Pinus* (tabela 21). Esses resultados sugerem a ocorrência de compactação nas áreas silviculturais.

Tabela 21. Densidade do solo em função da profundidade (a) e do tipo de vegetação (b). Reportam-se valores das médias e desvios padrão. Letras iguais na mesma coluna indicam conjuntos homogêneos segundo Tukey (nível de significância 0,05).

a)			b)		
Profundidade	n	densidade	Vegetação	n	densidade
0-5 cm	48	1,11 ± 0,17 a	cerradão	48	1,11 ± 0,21 a
35-50 cm	48	1,23 ± 0,20 b	<i>Pinus</i>	48	1,19 ± 0,21 b
10-25 cm	48	1,25 ± 0,21 b	<i>Eucalyptus</i>	48	1,25 ± 0,18 b

A partir dos dados de massa de carbono (g.kg^{-1}) e densidade do solo (g.cm^{-3}) foi calculado o conteúdo de carbono por volume de solo (kg.m^{-2}). Depois, foram representados os perfis de conteúdo de carbono do solo em função do volume e em função da massa de solo (figura 12), sendo a principal divergência entre as duas abordagens que uma leva em conta a densidade do solo e a outra não. Foi encontrada uma diferença fundamental entre ambas: trabalhando com dados de volume (kgC.m^{-2}), o conteúdo de carbono resultou maior nas áreas de *Eucalyptus*, seguidas das de cerradão e *Pinus* ao longo de todo o perfil. Enquanto que, trabalhando com dados de massa (gC.kg^{-1}), isso só ocorreu na superfície do solo. Nas outras profundidades, o teor de carbono foi maior no cerradão do que no *Eucalyptus*. Em todo caso, os menores acúmulos de carbono foram encontrados sob cobertura de *Pinus*.

Figura 12. Perfis de conteúdo de carbono no solo dos três tipos florestais estudados. Para explorar exclusivamente o efeito da vegetação, os resultados dos 4 locais foram analisados em conjunto. Mostram-se valores de: a) estoques (kg.m⁻²) e b) concentração (g.kg⁻¹) de carbono. A comparação de a) com b) da imagem dos efeitos da compactação sobre o acúmulo de carbono.

3.2.5. Matéria orgânica do solo

O conteúdo de matéria orgânica do solo diminuiu com a profundidade, sendo que os valores médios calculados na camada superficial do solo (0-5 cm) variaram entre 72,7 e 18,6 g.kg⁻¹, na profundidade 10-25 cm entre 25,1 e 9,3 g.kg⁻¹ e na profundidade 35-50 cm entre 21,9 e 9,6 g.kg⁻¹. Os dados das 12 áreas de estudo estão contidos na tabela 22.

A diferença entre os dados de carbono e os de matéria orgânica do solo é somente um fator de conversão, portanto, repete-se a situação encontrada analisando o carbono (figura 10): houve interação na camada superficial do solo, enquanto que nas outras profundidades manteve-se um padrão único: quantidades maiores de carbono nos solos de cerradão, seguidos dos de *Eucalyptus* e, por último, dos de *Pinus*. Diferenças entre tipos de vegetação foram testadas através de análises de variância.

Foram comprovadas diferenças significativas entre os tipos de vegetação estudados na matéria orgânica da camada superficial do solo, sendo Luiz Antônio o único local onde tal

não foi verificado (figura 13). Ocorreram depleções de matéria orgânica em função da silvicultura exceto no plantio de *Eucalyptus* de Itirapina e no de *Pinus* de Mogi-Guaçu. O incremento ocorrido no *Pinus* de Mogi-Guaçu foi pouco importante, não sendo discriminado pelo teste de Tukey (figura 13). Cabe aqui ressaltar que a espécie plantada em Itirapina é *Eucalyptus saligna* e não *E. citriodora* como nos outros locais.

Figura 13. Percentagem de matéria orgânica na camada superficial do solo em relação à cobertura vegetal. Letras indicam grupos homogêneos segundo teste de Tukey. Gráfico mostra médias ponderadas e intervalos de confiança de 95%. Foi utilizada a transformação arcosseno para realizar a análise.

Tabela 22. Conteúdo de matéria orgânica do solo (g.kg^{-1}) encontrado nos tipos de vegetação e locais estudados para cada uma das profundidades de análise. Reportam-se mínimo (min), máximo (max), desvio padrão (sd) e coeficientes de variação (cv).

a) Solo da camada de profundidade 0-5 cm. (n=30)

Local	Vegetação	média	mediana	min	max	sd	cv
Luiz Antônio	cerradão	48,9	45,0	34	72	10,5	22
	<i>Eucalyptus</i>	59,5	59,0	32	83	10,9	18
	<i>Pinus</i>	74,2	79,5	34	146	29,3	39
Mogi-Guaçu	cerradão	42,4	40,5	24	70	10,6	25
	<i>Eucalyptus</i>	20,0	20,0	14	35	4,8	24
	<i>Pinus</i>	61,0	58,0	28	151	25,3	42
Pederneiras	cerradão	52,4	43,0	23	114	26,3	50
	<i>Eucalyptus</i>	18,6	19,0	14	25	3,3	18
	<i>Pinus</i>	21,1	20,0	12	42	6,7	32
Itirapina	cerradão	63,4	54,0	22	153	33,8	53
	<i>Eucalyptus</i>	113,5	120,5	11	225	65,8	58
	<i>Pinus</i>	26,8	27,0	10	46	10,6	40

b) Solo da camada de profundidade 10-25 cm. (n=10)

Local	Vegetação	média	mediana	min	max	sd	cv
Luiz Antônio	cerradão	25,1	25,0	23	30	2,2	9
	<i>Eucalyptus</i>	22,9	22,0	20	28	2,2	10
	<i>Pinus</i>	20,3	20,0	19	22	0,9	5
Mogi-Guaçu	cerradão	22,7	23,5	15	28	4,6	20
	<i>Eucalyptus</i>	16,6	16,5	12	23	3,7	22
	<i>Pinus</i>	15,3	14,5	13	20	2,1	13
Pederneiras	cerradão	13,9	14,0	11	17	1,7	12
	<i>Eucalyptus</i>	11,9	12,0	10	15	1,7	14
	<i>Pinus</i>	9,7	9,0	9	12	1,3	13
Itirapina	cerradão	14,5	15,0	10	17	2,1	14
	<i>Eucalyptus</i>	54,3	15,0	9	249	88,2	162
	<i>Eucalyptus</i> *	13	14,5	9	16	3,1	24
	<i>Pinus</i>	9,3	9,0	7	13	2,0	22

* os outliers foram retirados (n=8)

c) Solo da camada de profundidade 35-50 cm. (n=10)

Local	Vegetação	média	mediana	min	max	sd	cv
Luiz Antônio	cerradão	21,9	22,0	20	26	1,8	8
	<i>Eucalyptus</i>	19,6	18,5	17	26	2,7	14
	<i>Pinus</i>	18,3	18,0	17	20	1,3	7
Mogi-Guaçu	cerradão	18,8	16,5	14	26	4,9	26
	<i>Eucalyptus</i>	15,7	16,5	11	20	3,8	24
	<i>Pinus</i>	13,4	13,0	12	15	1,0	7
Pederneiras	cerradão	10,9	11,0	9	13	1,2	11
	<i>Eucalyptus</i>	10,5	10,5	9	13	1,4	13
	<i>Pinus</i>	9,6	9,0	9	11	1,0	10
Itirapina	cerradão	11,4	12,0	9	12	1,1	9
	<i>Eucalyptus</i>	54,0	13,0	9	180	61,0	113
	<i>Eucalyptus</i> *	11,0	11,0	9	14	2,0	18
	<i>Pinus</i>	8,7	8,5	7	12	1,5	17

* os outliers foram retirados (n=6)

3.3. Serapilheira acumulada

Os valores médios de serapilheira acumulada no piso florestal das áreas de estudo variaram entre 5,411 e 19,160 t.ha⁻¹ (tabela 23). Houve diferenças significativas entre áreas naturais e silviculturais (figura 14). Em remanescentes de cerradão foram encontrados acúmulos menores (9,18 t.ha⁻¹ em média) do que em plantios de *Eucalyptus* (11,71 t.ha⁻¹ em média) e *Pinus* (12,38 t.ha⁻¹ em média), os quais não diferiram significativamente entre si.

Foram obtidos coeficientes de variação com valores entre 17 e 44% (tabela 23). A despeito da diversidade de espécies, os coeficientes foram maiores em áreas silviculturais do que naturais. A heterogeneidade espacial encontrada produz valores extremos no conjunto de dados. Dois desses valores (marcados com * na tabela 23) superam a média em 3 vezes o desvio padrão, de forma que são considerados *outliers* (SOKAL; ROLF, 1995) e foram retirados para realizar as análises de variância.

Tabela 23. Serapilheira acumulada (t.ha⁻¹) sobre o piso florestal nas áreas de estudo.

Vegetação	Local	n	média	dp	mínimo	máximo	cv
cerradão	Luiz Antônio	30	8,194	2,405	5,837	14,952	29
	Mogi-Guaçu	32	8,025	2,699	5,629	*19,491	34
	Pederneiras	30	8,146	2,143	4,688	14,126	26
	Itirapina	30	10,706	2,981	5,493	17,794	28
<i>Eucalyptus</i>	Luiz Antônio	30	10,014	3,129	5,656	17,082	31
	Mogi-Guaçu	30	5,411	1,664	2,408	9,451	31
	Pederneiras	30	11,583	3,183	4,656	19,600	27
	Itirapina	30	19,160	3,334	13,622	25,910	17
<i>Pinus</i>	Luiz Antônio	30	10,322	4,023	4,536	21,488	39
	Mogi-Guaçu	30	8,666	3,855	3,811	16,811	44
	Pederneiras	32	11,862	4,027	5,488	21,690	34
	Itirapina	30	16,328	4,298	8,918	*29,728	26

Legenda – dp = desvio padrão, cv = coeficiente de variação (%). * indicam outliers

Figura 14. Quantidade de serapilheira acumulada em função da cobertura florestal (t.ha⁻¹). ANOVA indicou diferenças significativas: $F(2,359)=17,123$; $p<0,001$. Letras indicam grupos homogêneos segundo Tukey. Barras verticais denotam intervalos de confiança de 0,95.

A exploração dos resultados das análises químicas revelou perdas de qualidade nutricional na serapilheira em função do uso silvicultural. Áreas naturais e silviculturais foram bem discriminadas na análise de componentes principais, sendo separadas claramente no gradiente nutricional encontrado (figura 15). As amostras coletadas em áreas de cerrado situam-se no lado do gradiente onde estão os maiores valores de pH e teores de N, Ca, Mg e K e os menores valores de material acumulado e teor de carbono. Enquanto que as amostras coletadas nos plantios situam-se no lado contrário (figura 15). Esta análise evidencia a influência do tipo de vegetação sobre as características químicas da serapilheira acumulada e justifica a consideração conjunta dos quatro locais nas análises comparativas. Os valores médios de concentração de nutrientes (nitrogênio, fósforo, enxofre, potássio, cálcio e magnésio) na massa seca da serapilheira dos tipos de vegetação estudados são reportados na tabela 24. Os dados de pH, conteúdo de nitrogênio e relação C/N foram submetidos a testes de

hipóteses, para avaliar melhor as perdas de qualidade química ocorridas em função da cultura de *Eucalyptus* e *Pinus* em áreas de cerrado (resultados detalhados na secção 3.4).

Figura 15. Dados de serapilheira ordenados através da Análise de Componentes Principais (PCA). As cores indicam a cobertura vegetal, onde ‘ce’ é cerrado, ‘eu’ é *Eucalyptus* e ‘pi’ é *Pinus*. O gráfico representa a interpolação dos dois primeiros eixos resultantes da PCA, que explicam mais de 60 % da variação dos dados, a contribuição de cada um é expressa entre parêntesis.

Tabela 24. Caracterização química da serapilheira dos tipos florestais estudados: pH, conteúdo (g) de nitrogênio (N), fósforo (P), enxofre (S), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) em 100 g de massa seca de serapilheira. Reportam-se valores das médias e desvios padrão de n repetições.

	Cerradão	<i>Eucalyptus</i>	<i>Pinus</i>
n	122	120	122
pH	4,16 ± 0,46	3,49 ± 0,29	3,31 ± 0,21
% N	1,19 ± 0,17	0,64 ± 0,1	0,63 ± 0,12
% P	0,01 ± 0,01	0,02 ± 0,01	0,02 ± 0,01
% S	0,04 ± 0,02	0,03 ± 0,03	0,03 ± 0,01
% Ca	0,53 ± 0,16	0,40 ± 0,11	0,38 ± 0,13
% Mg	0,13 ± 0,04	0,07 ± 0,01	0,05 ± 0,01
% K	0,07 ± 0,03	0,07 ± 0,06	0,03 ± 0,01

3.4. Qualidade química da matéria orgânica na serapilheira e na superfície do solo.

Os dados de pH, conteúdo de nitrogênio e relação C/N do material orgânico coletado na serapilheira e na superfície do solo foram analisados através de testes de hipóteses para avaliar melhor as perdas de qualidade química ocorridas em áreas de cerradão submetidas à silvicultura de *Eucalyptus* e *Pinus*, que foram indicadas previamente pela análise de componentes principais (ver figura 15, na secção 3.3.).

Nitrogênio e relação C/N

Os valores de concentração de nitrogênio medidos na camada superficial do solo variaram entre 0,14 e 0,25% em áreas de cerradão, 0,05 e 0,22% em talhões de *Eucalyptus* e 0,04 e 0,16% em talhões de *Pinus* (tabela 25). Diferenças entre tipos de vegetação foram identificadas por ANOVA (tabela 26). No cerradão os valores foram mais altos do que nos plantios na maior parte dos casos, porém, aumento significativo só foi verificado no *Pinus* (tabela 26).

Os valores da razão C/N obtidos na camada superficial do solo variaram entre 14,9 e 17,7 nas áreas de cerradão, entre 17,9 e 25,8 nas de *Eucalyptus* e entre 20,7 e 22,8 nas de *Pinus* (tabela 25). ANOVA discriminou diferenças significativas, sendo a vegetação o fator com maior influência sobre a relação C/N do solo superficial (tabela 26). Os valores foram significativamente menores nas áreas de cerradão do que nos plantios (tabela 26). Entre *Pinus* e *Eucalyptus* não houve diferença significativa, contudo, os valores encontrados foram maiores no *Pinus* com a única exceção de Itirapina (figura 16). Neste ponto, convém lembrar de que a espécie de *Eucalyptus* plantada em Itirapina é *E. saligna* e não *E. citriodora* como nos outros locais. Grupos homogêneos segundo o teste de Tukey estão discriminados na figura 16.

Tabela 25. Percentagens de carbono (C) e nitrogênio (N) e relação C/N obtidos na camada superficial (0-5 cm) dos solos estudados. Reportam-se valores médios e desvios (n=3) para cada tipo de vegetação nos locais de estudo.

Local	Vegetação	% C	% N	C/N
Luiz Antônio	cerradão	2,64 ± 0,27	0,17 ± 0,02	15,2 ± 0,10
	<i>Eucalyptus</i>	3,87 ± 0,57	0,19 ± 0,02	20,6 ± 0,73
	<i>Pinus</i>	3,27 ± 0,49	0,16 ± 0,03	20,7 ± 0,35
Mogi-Guaçu	cerradão	2,13 ± 0,29	0,14 ± 0,02	14,9 ± 0,36
	<i>Eucalyptus</i>	1,23 ± 0,12	0,07 ± 0,01	17,9 ± 0,35
	<i>Pinus</i>	3,25 ± 0,54	0,14 ± 0,03	22,8 ± 0,68
Pederneiras	cerradão	3,00 ± 0,84	0,17 ± 0,04	17,0 ± 0,95
	<i>Eucalyptus</i>	0,95 ± 0,17	0,05 ± 0,01	18,5 ± 0,11
	<i>Pinus</i>	1,13 ± 0,37	0,05 ± 0,01	21,4 ± 2,01
Itirapina	cerradão	4,10 ± 1,82	0,25 ± 0,12	17,7 ± 1,02
	<i>Eucalyptus</i>	5,66 ± 1,64	0,22 ± 0,07	25,8 ± 0,53
	<i>Pinus</i>	0,92 ± 0,41	0,04 ± 0,02	21,3 ± 0,66

Tabela 26. Resultados de ANOVA discriminam os efeitos do local e da vegetação sobre o nitrogênio e a razão C/N do solo superficial (0-5 cm). Letras iguais *dentro* de cada variável indicam grupos homogêneos segundo o teste de Tukey (nível de significância 0,05).

Variável	Fator	GL	F	p	Vegetação	média	grupos
N	Local	3	2,36	0,10 ^{ns}	Cerradão	0,097	a
Solo: 0-5 cm	Vegetação	2	3,66	0,04 *	<i>Eucalyptus</i>	0,132	ab
	Local X Vegetação	6	1,97	0,11 ^{ns}	<i>Pinus</i>	0,182	b
C/N	Local	3	8,87	***	Cerradão	16,19	a
Solo: 0-5 cm	Vegetação	2	49,47	***	<i>Eucalyptus</i>	20,71	b
	Local X Vegetação	6	7,06	***	<i>Pinus</i>	21,57	b

GL = graus de liberdade; nível de significância de 0,05*; 0,001*** e não significativo^{ns}

Figura 16. Relação C/N na serapilheira e na camada superficial do solo (0-5 cm) em função do tipo de vegetação nas áreas de estudo. Barras mostram intervalos de confiança de 95%. Letras iguais dentro de cada compartimento indicam grupos homogêneos segundo Tukey.

Os valores médios de nitrogênio medidos na massa seca de serapilheira variaram entre 1,01 e 1,28% nas áreas de cerradão, entre 0,54 e 0,72% nos plantios de *Eucalyptus* e entre 0,49 e 0,70% nos de *Pinus* (tabela 27). A razão C/N variou entre 32,8 e 43,3 nas áreas de cerradão, entre 61,3 e 84,5 nas de *Eucalyptus* e entre 63,9 e 94,2 nas de *Pinus* (tabela 27).

Tabela 27. Percentagens de carbono (C) e nitrogênio (N) e relação C/N obtidos na serapilheira acumulada sobre o solo nos locais e tipos de vegetação estudados. Reportam-se valores médios e desvios (n=30) para cada tipo de vegetação nos locais de estudo.

Local	Vegetação	% C	% N	C/N
Luiz Antônio	cerradão	41,61 ± 2,87	1,28 ± 0,13	32,8 ± 3,95
	<i>Eucalyptus</i>	44,02 ± 1,14	0,54 ± 0,09	84,5 ± 12,93
	<i>Pinus</i>	45,30 ± 1,42	0,70 ± 0,10	66,2 ± 11,96
Mogi-Guaçu	cerradão	42,98 ± 1,56	1,01 ± 0,13	43,3 ± 6,29
	<i>Eucalyptus</i>	43,85 ± 1,37	0,72 ± 0,06	61,3 ± 4,46
	<i>Pinus</i>	43,92 ± 2,52	0,68 ± 0,09	65,4 ± 9,15
Pederneiras	cerradão	39,98 ± 2,67	1,23 ± 0,14	32,9 ± 3,79
	<i>Eucalyptus</i>	42,87 ± 3,09	0,61 ± 0,09	71,4 ± 11,99
	<i>Pinus</i>	45,09 ± 1,11	0,49 ± 0,06	94,2 ± 12,68
Itirapina	cerradão	43,92 ± 1,53	1,24 ± 0,14	35,9 ± 4,89
	<i>Eucalyptus</i>	47,49 ± 0,28	0,70 ± 0,05	68,2 ± 4,73
	<i>Pinus</i>	42,00 ± 3,96	0,67 ± 0,09	63,9 ± 12,60

As diferenças entre tipos de vegetação foram marcantes, fato sugerido previamente pela análise de componentes principais (figura 15) e comprovado aqui pela análise de variância (tabela 28). ANOVA revelou que o efeito do tipo de vegetação foi mais forte do que o do local, sendo 78 vezes mais marcado sobre o nitrogênio e 25 vezes sobre a relação C/N (tabela 28). Para cada variável, dois grupos homogêneos foram discriminados pelo teste de Tukey (tabela 28), sendo que o material depositado em áreas de cerradão teve maior concentração de nitrogênio e menor relação C/N do que aquele depositado em áreas de

Eucalyptus e *Pinus*. As diferenças e semelhanças encontradas na relação C/N entre os tipos de vegetação e locais estudados estão indicadas na figura 16.

Tabela 28. Resultados de ANOVAs usadas para testar os efeitos do local e da vegetação sobre o nitrogênio e a razão C/N da serapilheira acumulada sobre o piso florestal das áreas de estudo. Letras iguais *dentro* de cada variável indicam grupos homogêneos segundo o teste de Tukey (nível de significância 0,05).

Variável	Fator	GL	F	p	Vegetação	média	grupos
N	Local	3	14,66	***	Cerradão	1,19	a
Serapilheira	Vegetação	2	1148,14	***	<i>Eucalyptus</i>	0,64	b
	Local X Vegetação	6	39,48	***	<i>Pinus</i>	0,63	b
C/N	Local	3	24,54	***	Cerradão	36,35	a
Serapilheira	Vegetação	2	621,60	***	<i>Eucalyptus</i>	71,35	b
	Local X Vegetação	6	49,15	***	<i>Pinus</i>	72,79	b

GL = graus de liberdade; p<0,001***

Acidez na superfície do solo e na serapilheira acumulada

No solo, foram registrados valores baixos de pH(CaCl₂), com médias variando entre 2,9 e 4,1; valor mínimo de 2,7 (na camada de 0-5 cm de profundidade no cerradão de Itirapina) e máximo de 4,3 (na camada de 10-25 cm de profundidade no *Pinus* de Mogi-Guaçu). Os resultados podem ser consultados detalhadamente nas tabelas 8 a 11 (seção 3.1.2.), que contêm a caracterização química das áreas de estudo. Os valores de pH obtidos correspondem com solos de acidez muito alta segundo a interpretação adotada no estado de São Paulo (RAIJ *et al*; 2001).

Na análise dos valores de pH do solo, foram encontradas diferenças significativas entre profundidades e tipos de vegetação. Os valores obtidos aumentaram no gradiente de profundidade, sendo significativamente menores na camada superficial do solo (0-5 cm) do que nas outras (10-25 e 35-50 cm) (tabela 29). Os valores de pH também foram

significativamente menores nos solos silviculturais, ocupados por plantios de *Eucalyptus* e *Pinus*, do que nos naturais, ocupados vegetação de cerrado (tabela 29), o que aponta a ocorrência de acidificação nesse tipo de culturas.

Tabela 29. pH(CaCl₂) do solo em função da profundidade (a) e do tipo de vegetação (b). Reportam-se valores médios e desvios dos grupos discriminados pela análise. Letras indicam conjuntos homogêneos segundo Tukey (nível de significância 0,05).

a)			b)		
Profundidade	n	pH	Vegetação	n	pH
0-5 cm	362	3,52 ± 0,34 a	<i>Eucalyptus</i>	199	3,62 ± 0,37 b
10-25 cm	120	3,86 ± 0,21 b	<i>Pinus</i>	201	3,65 ± 0,36 b
35-50 cm	120	3,90 ± 0,23 b	cerradão	202	3,73 ± 0,30 a

O tipo de vegetação também teve efeito significativo sobre o pH da serapilheira acumulada sobre o piso florestal. O material coletado resultou ser mais ácido nas áreas silviculturais do que nas naturais, como indicam os valores obtidos, os quais foram significativamente menores sob coberturas de *Pinus*, seguidos de *Eucalyptus* e cerrado (tabela 30).

Tabela 30. pH do material acumulado sobre o piso florestal em função do tipo de vegetação. Reportam-se valores médios e desvios dos grupos discriminados pela análise. Letras indicam conjuntos homogêneos segundo Tukey (nível de significância 0,05).

Vegetação	n	pH
<i>Pinus</i>	122	3,31 ± 0,21 a
<i>Eucalyptus</i>	120	3,49 ± 0,29 b
cerradão	122	4,16 ± 0,46 c

3.5. Estoques de carbono

Perfis de conteúdo de carbono no solo e cálculo de estoques

Apresentam-se os valores de estoque de carbono (kg.m^{-2}) calculados através do ajuste e integração de equações exponenciais para os primeiros 30, 60 e 100 cm de solo (tabela 31). Os valores do primeiro metro de solo em áreas de vegetação natural variaram entre 6,9 e 11,3 kg.m^{-2} , sendo este último o maior valor computado. Os estoques obtidos nas áreas silviculturais foram menores do que nas naturais na maior parte dos casos estudados, com exceção dos talhões de *Eucalyptus* de Itirapina e Pederneiras, onde foram maiores. O menor valor encontrado corresponde ao talhão de *Pinus* de Itirapina e foi de 5,7 kg.m^{-2} . Contudo, para comparar o carbono acumulado em função do tipo de vegetação foi mais apropriado utilizar os dados de massa (secção 3.2.2.) por causa do menor grau de incerteza e do maior número de amostras, que permitiu realizar as análises de variância com robustez.

Os parâmetros e coeficientes de ajuste das curvas exponenciais que descrevem os perfis de conteúdo de carbono no solo são reportados na tabela 31. Os coeficientes de ajuste obtidos são relativamente baixos por causa da falta de informação sobre as profundidades não amostradas (principalmente a camada de 5-10 cm, onde há quantidades de carbono relevantes), que origina incerteza sobre a forma das curvas. O coeficiente foi especialmente baixo no talhão de *Eucalyptus* de Mogi-Guaçu.

Tabela 31. Estoque de carbono do solo (kg.m^{-2}) calculado para os primeiros 30, 60 e 100 cm dos solos estudados através do modelo exponencial, sendo $y=\text{carbono}$ (kg.m^{-2}) e $x=\text{profundidade}$ (cm). São reportados os parâmetros (a e b) e coeficientes de ajuste (R^2) das curvas para cada local e tipo de vegetação estudado.

Local	Vegetação	Equação do modelo			Estoque (kgC.m^{-2})		
		$y = ae^{(-bx)}$			Estoque = $-a/b (e^{(-bx1)} - e^{(-bx2)})$		
		a	b	R^2	0 - 30 cm	0 - 60 cm	0 - 1m
Luiz Antônio	Cerradão	0,27	0,03	0,64	5,6	8,1	9,4
	<i>Eucalyptus</i>	0,47	0,06	0,83	6,8	8,1	8,4
	<i>Pinus</i>	0,32	0,04	0,50	5,6	7,4	7,9
Mogi-Guaçu	Cerradão	0,25	0,02	0,51	5,7	9,0	11,3
	<i>Eucalyptus</i>	0,15	0,01	0,16	4,1	7,5	11,3
	<i>Pinus</i>	0,45	0,07	0,66	5,4	6,0	6,1
Pederneiras	Cerradão	0,45	0,06	0,64	6,0	6,8	7,0
	<i>Eucalyptus</i>	0,16	0,01	0,53	4,0	6,7	9,0
	<i>Pinus</i>	0,17	0,02	0,47	3,6	5,3	6,3
Itirapina	Cerradão	0,35	0,05	0,53	5,4	6,7	7,0
	<i>Eucalyptus</i>	1,14	0,13	0,76	8,6	8,7	8,8
	<i>Pinus</i>	0,16	0,03	0,40	3,4	4,9	5,7

Estoque de carbono na serapilheira acumulada sobre o piso florestal

Os estoques de carbono quantificados na serapilheira acumulada sobre o piso florestal variaram entre 0,316 e 0,473 kgC.m^{-2} em áreas de cerradão, entre 0,235 e 0,905 kgC.m^{-2} em áreas de *Eucalyptus* e entre 0,395 e 0,634 kgC.m^{-2} em áreas de *Pinus* (tabela 32).

Foram significativamente maiores em talhões de *Pinus* e *Eucalyptus* do que em áreas de vegetação natural de cerradão (figura 17). Os resultados apresentados na secção 3.3. mostraram que, nas áreas silviculturais, a quantidade de material acumulado (figura 14) e a concentração de carbono desse material (figura 15) foram maiores do que nas áreas naturais, por isso, maiores valores de estoque eram esperados.

Tabela 32. Estoques de carbono (kg.m^{-2}) na serapilheira acumulada sobre o piso florestal.

Local	Vegetação	Serapilheira		
		média	sd	cv
Luiz Antônio	cerradão	0,352	0,104	30
	<i>Eucalyptus</i>	0,434	0,139	32
	<i>Pinus</i>	0,470	0,184	39
Mogi-Guaçu	cerradão	0,337	0,120	36
	<i>Eucalyptus</i>	0,235	0,075	32
	<i>Pinus</i>	0,395	0,178	45
Pederneiras	cerradão	0,316	0,094	30
	<i>Eucalyptus</i>	0,501	0,148	30
	<i>Pinus</i>	0,532	0,184	35
Itirapina	cerradão	0,473	0,132	28
	<i>Eucalyptus</i>	0,905	0,158	17
	<i>Pinus</i>	0,634	0,186	29

Sd – desvio padrão, cv – coeficiente de variação.

Figura 17. Estoques de carbono na serapilheira em função da cobertura florestal. ANOVA indicou diferenças ao nível de significância de 0,001: $F(2,359)=20,611$. Letras diferentes indicam tratamentos significativamente diferentes segundo Tukey. Barras verticais denotam intervalos de confiança 0,95.

Estoque de carbono nas áreas de estudo: solo e serapilheira acumulada

O conteúdo de carbono do solo é maior do que o da serapilheira (figura 18). As proporções entre ambos os compartimentos foram avaliadas, resultando o estoque do solo entre 10 e 50 vezes maior que o da serapilheira e estando concentrado na camada superficial do perfil, que conteve mais da metade do estoque total, exceto no *Eucalyptus* de Mogi-Guaçu, onde houve bastante carbono acumulado entre 60 e 100 cm (tabela 33).

Figura 18. Estoques de carbono (kgC.m^{-2}) nos compartimentos considerados em cada tipo de vegetação e local estudados, sendo ce=cerradão, eu=*Eucalyptus* e pi=*Pinus*.

Tabela 33. Estoques de carbono (kgC.m^{-2}) e proporção relativa de cada um dos compartimentos considerados (serapilheira e solo: 0-30 cm; 0-60 cm e 0-100 cm) em cada tipo de vegetação e local estudados.

Local	Vegetação	Valor de estoque (kgC.m^{-2})					% relativa dos compartimentos				
		ser	0-30	0-60	0-100	total	ser	0-30	0-60	0-100	total
Luiz Antônio	cerradão	0,352	5,6	8,1	9,4	9,7	4	57	83	96	100
	<i>Eucalyptus</i>	0,434	6,8	8,1	8,4	8,8	5	78	92	95	100
	<i>Pinus</i>	0,470	5,6	7,4	7,9	8,4	6	67	87	94	100
Mogi-Guaçu	cerradão	0,337	5,7	9,0	11,3	11,6	3	49	77	97	100
	<i>Eucalyptus</i>	0,235	4,1	7,5	11,3	11,5	2	36	65	98	100
	<i>Pinus</i>	0,395	5,4	6,0	6,1	6,5	6	84	93	94	100
Pederneiras	cerradão	0,316	6,0	6,8	7,0	7,3	4	82	94	96	100
	<i>Eucalyptus</i>	0,501	4,0	6,7	9,0	9,5	5	42	70	95	100
	<i>Pinus</i>	0,532	3,6	5,3	6,3	6,9	8	52	78	92	100
Itirapina	cerradão	0,473	5,4	6,7	7,0	7,5	6	73	89	94	100
	<i>Eucalyptus</i>	0,905	8,6	8,7	8,8	9,7	9	89	91	91	100
	<i>Pinus</i>	0,634	3,4	4,9	5,7	6,4	10	53	77	90	100

4. DISCUSSÃO

*“Si hay una piedra devorada
en ella tengo parte:
estuve yo en la ráfaga,
en la ola,
en el incendio terrestre
Respeto esa piedra perdida.”*
Pablo Neruda

4.1. Heterogeneidade espacial das áreas de estudo

Foi verificada elevada heterogeneidade espacial no carbono e matéria orgânica do solo e na serapilheira acumulada através dos coeficientes de variação encontrados, que sugerem variação considerável das variáveis estudadas no campo.

Os coeficientes de variação do carbono e da matéria orgânica do solo encontrados variaram entre 5 e 59%. Yanai *et al.* (2005), estudando a distribuição espacial da matéria orgânica do solo em terras agrícolas, reportaram coeficientes de variação que superam 40%. Ainda em solos agrícolas, Liu *et al.* (2006) atestaram forte dependência espacial do carbono orgânico, que, segundo eles, pode ser atribuída a fatores intrínsecos (processos de formação do solo) e extrínsecos (fertilização e práticas culturais). A gradagem e a distância entre as árvores são fontes de variabilidade que originam maior heterogeneidade espacial em solos florestais do que agrícolas, de modo que os coeficientes de variação obtidos neste trabalho são próprios das variáveis analisadas e podem ser considerados coerentes aos objetivos deste estudo.

Com o aumento da profundidade, os coeficientes de variação do carbono e da matéria orgânica do solo diminuíram, sendo muito maiores na camada superficial (58-18%) do que nas de 10-25 cm (24-5%) e 35-50 cm (26-7%). Outros autores verificaram maior variabilidade na camada superficial de solos de cerrado naturais (BROSSARD *et al.*, 1997; MAQUERE, 2004) e silviculturais (MAQUERE, 2004). A maior heterogeneidade espacial na camada superficial do solo pode ser explicada pelas entradas de material orgânico, a atividade da fauna do solo e os efeitos de distúrbios e do manejo, que são os processos definidores da

dinâmica da camada superficial do solo e estão sujeitos a variabilidade espacial elevada. A presença de pedaços de carvão nos solos estudados também contribui com a heterogeneidade, aumentando a variabilidade espacial do carbono do solo.

A heterogeneidade espacial da serapilheira acumulada, que é relativamente alta, refletiu-se nos coeficientes de variação obtidos (tabela 23), que variaram entre 17 e 34%. Recentemente, Kleinpaul, Schumacher e Brun (2005), procurando tamanhos amostrais suficientes para estabilizar os coeficientes de variação de todas as frações de serapilheira, reportaram que, sob cobertura de *Pinus elliottii*, 40 amostras estabilizam o coeficiente de variação em torno a 45%, sob cobertura de *Eucalyptus* sp. 70 amostras estabilizam-no em torno a 30% e em Floresta Estacional Decídua, 80 amostras estabilizam-no em torno a 55%. Tal esforço amostral não é apropriado aos objetivos deste trabalho. Primeiramente, porque os coeficientes encontrados foram relativamente baixos. Em segundo lugar, porque a serapilheira não foi separada em frações e o estudo mostra que os coeficientes de variação da fração total estabilizam-se com tamanhos amostrais menores (KLEINPAUL; SCHUMACHER; BRUN, 2005). Além disso, o número de amostras coletado satisfaz os requisitos das análises estatísticas realizadas, mostrando-se apropriado aos objetivos propostos.

Na maioria dos casos aqui considerados, os coeficientes de variação encontrados em áreas silviculturais foram altos quando comparados com os encontrados em remanescentes de vegetação nativa. Em princípio, áreas de monocultura são mais homogêneas do que áreas naturais, contudo, os plantios estudados neste trabalho são antigos, com rebrota natural da vegetação e manejo orientado à experimentação e produção de madeira e resina, o que pode estar relacionado com a elevada variabilidade neles encontrada. A rebrota espontânea é cortada parcialmente para permitir o uso de maquinaria agrícola em períodos aproximados de sete anos, o que faz com que existam indivíduos de idades diferentes distribuídos de forma heterogênea nos plantios, com conseqüente aumento da variabilidade. Como resultado da falta

de homogeneidade na distribuição espacial das árvores, a deposição de folheto é pouco uniforme nos plantios, além disso, o uso de maquinaria agrícola origina sulcos no solo onde se dá o acúmulo preferencial de serapilheira. Tudo isso condiciona a formação de camadas orgânicas heterogêneas sobre a superfície do solo mineral, as quais contribuem para a variabilidade dos dados obtidos na camada superficial do solo.

Na área de *Eucalyptus* de Itirapina os coeficientes de variação foram especialmente altos devido à existência de valores extremos nas camadas de 10-25 e 35-50 cm. Esses valores devem corresponder a fragmentos orgânicos tão pequenos que não foram retirados na triagem do material. Restos de concreções orgânicas, raízes ou restos vegetais não decompostos podem ocorrer nessas profundidades por causa do espesso horizonte orgânico existente no local, que é composto por areia e material fortemente enraizado aderido à matéria orgânica em decomposição. Próximo à área de estudo, Maquere (2004) observou uma camada orgânica semelhante em plantio de *E.saligna* de idade avançada e manejo parecido. Estruturas orgânicas desse tipo também foram descritas em plantios de *E.saligna* africanos (LACLAU *et al.*, 2004; READ *apud* LIMA, 1996).

Diversos resultados do presente trabalho mostram particularidades nos talhões de *Eucalyptus* localizados em Itirapina e Mogi-Guaçu. Ambos os talhões têm em comum o manejo inconstante: o de Itirapina constitui uma faixa de controle de fogo e o de Mogi-Guaçu está em posição que permite o impacto de atividades humanas, devido à proximidade de áreas de lazer usadas pelos moradores do horto, como um lago e uma quadra de esportes. Apesar dos plantios estudados serem orientados inicialmente para a distribuição regular e para a homogeneidade de idades e de arquitetura arbórea, nota-se que a estruturação atual dos compartimentos desses ecossistemas não reflete o esquema original de plantio, o que foi explicado em base ao histórico das áreas.

4.2. Carbono e matéria orgânica do solo

Conteúdo de carbono e matéria orgânica na massa do solo

Foi verificado que os dados de carbono orgânico do solo ajustam-se bem à distribuição lognormal, como indicam estudos sobre a distribuição espacial deste elemento (LIU *et al.*, 2006; McGRATH; ZHANG, 2003). Os dados obtidos não seguiram distribuições normais, apresentando variâncias heterogêneas e assimetria pela direita, a qual é gerada pela ocorrência de mais valores altos do que baixos afastados da média. Esta situação é comum em ecologia, pois para a maioria das variáveis biológicas, existe um limite inferior por baixo do qual não há possibilidade de dados. No presente trabalho, por exemplo, o limite inferior é zero, que significa ausência total de carbono na amostra.

Os resultados mostram que carbono (tabela 14) e matéria orgânica (tabela 22) não se distribuem de forma homogênea vertical nem horizontalmente, modificando-se ao longo do perfil do solo e apresentando variabilidade espacial elevada. O conteúdo de carbono e matéria orgânica do solo diminui ao longo do gradiente de profundidade. Na camada superficial do solo, a quantidade desses componentes é máxima porque a maioria do material orgânico se incorpora ao solo a partir da decomposição da serapilheira e das raízes finas que, principalmente nos solos tropicais, estão concentradas na superfície.

Os valores médios encontrados em áreas de cerrado, *Eucalyptus* e *Pinus* são da mesma ordem de magnitude que os reportados para floresta primária (HUGHES; KAUFFMAN; CUMMINGS, 2002), várias fisionomias de cerrado (BROSSARD, *et al.*, 1996; LILIENFEIN *et al.*, 2001; ZINN *et al.*, 2002), plantios de *Pinus* (LILIENFEIN *et al.*, 2001; ZINN; RESCK; SILVA, 2002) e *Eucalyptus* (ZINN; RESCK; SILVA, 2002). Amostras superficiais com valores muito altos podem ser explicadas pela existência de particularidades locais, como restos de serapilheira, raízes ou carvões, construções da fauna edáfica e

acúmulos localizados de matéria orgânica. Maquere (2004) reporta esse tipo de situação, com variabilidade especialmente elevada em plantios de *Eucalyptus*.

O tipo de vegetação afetou o conteúdo de carbono e matéria orgânica de forma diferente em função da profundidade e local. Por um lado, na camada de solo superficial, a influência do tipo de vegetação diferiu entre locais. Nesta camada, os teores foram maiores nas áreas de vegetação natural, com exceção do *Pinus* de Mogi-Guaçu e do *Eucalyptus* de Itirapina, onde foram maiores nos plantios, e das áreas de Luiz Antônio, onde não houve diferença significativa entre os três tipos de vegetação. Por outro lado, em profundidades subsuperficiais, foram encontradas maiores quantidades de carbono e matéria orgânica em áreas de cerrado do que *Eucalyptus* e *Pinus* em todos os casos analisados. Nessas camadas, os valores acompanharam a granulometria, encontrando maiores quantidades nos locais com solos de textura fina.

Os resultados encontrados na bibliografia são díspares. Em solos de cerrado submetidos à cultura de *Eucalyptus*, são referidos ganhos (MAQUERE, 2004; NEUFELDT; RESCK; ARZAYA, 2002) e perdas (ZINN; RESCK; SILVA, 2002) de carbono e matéria orgânica. Em solos sob cobertura de *Pinus* também são reportados tanto ganhos (LILIENFEIN *et al.*, 2001), quanto perdas de carbono (LILIENFEIN; WILCKE, 2003; NEUFELDT, *et al.*, 1999; NEUFELDT; RESCK; ARZAYA, 2002; ZINN; RESCK; SILVA, 2002) e ainda há estudos que não encontraram diferenças significativas no carbono do solo entre esse tipo de culturas e áreas próximas de cerrado (LEPSCH, 1980; LILIENFEIN *et al.*, 2001). A importância da camada de solo quantificada é manifesta pelos resultados de Lilienfein *et al.* (2001) que não encontraram diferenças significativas entre cerrado e *Pinus* na concentração de carbono na superfície do solo, mas sim entre 1,2 e 2m de profundidade, onde foi maior sob *Pinus*.

Encontrar uma tendência geral em cada tipo de vegetação é difícil, porque a dinâmica do carbono no solo é complexa e, em sistemas silviculturais, depende de uma série de condições ambientais e práticas silviculturais diversas que vão desde a preparação prévia do solo até ao manejo do talhão (ZINN; RESCK; SILVA, 2002). Assim, os resultados encontrados na superfície do solo, que não foram bem explicados através do tipo de cobertura florestal nem da granulometria, devem estar relacionados com a abertura de linhas de plantio no preparo do solo anterior à implantação da vegetação. Tal atividade terá sido responsável pela remoção parcial da camada superficial do solo, onde estaria concentrado o carbono orgânico proveniente da vegetação original. A literatura reporta uma contribuição de 30% dos fatores do sítio para o reservatório de carbono orgânico da superfície do solo (TAN; LAL; SMECK; CALHOUN, 2004).

A camada superficial do solo do talhão de *Eucalyptus* de Itirapina apresentou particularidades em relação às dos outros locais: acréscimos de carbono e matéria orgânica, relação C/N superior à do *Pinus* (>25) e valores extremos. Essas características estão associadas ao espesso horizonte orgânico existente no local, cuja formação parece relacionada com a espécie plantada, *E. saligna*, que não é a mesma dos outros locais. Situações semelhantes foram observadas sob a mesma espécie (READ *apud* LIMA, 1996; LACLAU *et al.*, 2004; MAQUERE, 2004).

A silvicultura não alterou significativamente a percentagem de carbono do solo nas áreas de estudo localizadas em Luiz Antônio. Foram aí encontrados teores de argila elevados, que podem ser responsáveis por esta situação, pois as argilas e a matéria orgânica formam complexos estáveis no solo. A textura, de fato, é reconhecida como um dos principais fatores controladores da dinâmica do carbono em solos tropicais (FELLER; BEAR, 1997; TELLES *et al.*, 2003). Em princípio, o potencial de armazenamento de carbono é maior em solos de textura fina do que grossa por causa da formação de agregados estáveis que fornecem

proteção física ao carbono. As taxas de acúmulo discutidas por Chevalier *et al.* (2000) reforçam essa idéia, sendo maiores em solos argilosos do que arenosos. Solos argilosos, porém, possuem baixa estabilidade estrutural e são susceptíveis à erosão. Nesse contexto, a quantidade de matéria orgânica do solo é fundamental, pois ela protege o carbono orgânico da dispersão e da erosão.

A densidade do solo é relacionada ao conteúdo de carbono orgânico do mesmo (BERNOUX *et al.*, 1998b). Os valores aqui obtidos são próximos àqueles encontrados em outros estudos conduzidos no Brasil (BERNOUX *et al.*, 1998b; LILIENFEIN *et al.*, 2001; MAQUERE, 2004; ZINN; RESCK; SILVA, 2002). A densidade foi maior em áreas silviculturais do que naturais, como reportado por outros autores para solos de cerrado sob cultura de *Eucalyptus* (MAQUERE, 2004; ZINN; RESCK; SILVA, 2002). No presente trabalho, o conteúdo de carbono resultou maior por volume, mas não por massa de solo (figura 12) na camada superficial de solos sob cobertura de *Eucalyptus* do que de cerradão. Os resultados apontam a ocorrência de compactação do solo sob uso silvicultural, a qual pode ser originada pelo uso de maquinaria pesada nos plantios. Havendo compactação, existirá mais massa mineral num determinado volume de solo, podendo aparecer diferenças na quantidade de carbono devidas à compactação e não propriamente ao enriquecimento ou perda de carbono da fase sólida do solo. Maquere (2004) encontrou diferenças significativas entre solos com cobertura de cerrado e *Eucalyptus* usando modelos para calcular os estoques de carbono em função da profundidade, mas não da massa de solo, o que condiz com os resultados aqui apresentados.

Perfis de carbono e cálculo de estoques no solo

O valor médio de estoque de carbono calculado no primeiro metro de solos do bioma Cerrado foi de $8,2 \pm 1,9 \text{ kgC.m}^{-2}$, que se enquadra na faixa de valores apresentados na análise global de Jobbagy e Jackson (2000) para savanas tropicais ($13,2 \pm 8,7 \text{ kgC.m}^{-2}$) e florestas tropicais decíduas ($15,8 \pm 9,2 \text{ kgC.m}^{-2}$).

Como evidencia a tabela 35, na literatura encontra-se o estoque de carbono do solo calculado para diferentes profundidades, o que dificulta enormemente análises comparativas, por causa disso, o reservatório do primeiro metro de solo é utilizado com frequência, mesmo sabendo que subestima o reservatório total. Em latossolos profundos e bem drenados, como os estudados, Brossard *et al.* (1997) comprovaram que metade do carbono contido até 2,10 m está na camada de solo de 0-50 cm, de modo que uma amostragem superficial não poderia avaliá-los corretamente. Contudo, o carbono acumulado na superfície do solo é mais sensível às mudanças no uso da terra, sendo norma do IPCC a quantificação dos 30 primeiros centímetros do solo (IPCC, 2000).

Tabela 35. Estoques de carbono (kg.m^{-2}) calculados em solos do Brasil neste e em outros trabalhos. Os resultados do presente trabalho estão marcados em negrito.

Profundidade	C (kg.m^{-2})	Vegetação	Idade	Referência
0-20 cm	3,54 - 5,40	Cerrado	-	Bayer <i>et al.</i> , 2006
	3,54	Cerrado	-	Maquere, 2004
	5,44 - 5,97	Cerradão	-	este trabalho
	5,52	Cerrado	-	Lilienfein <i>et al.</i> , 2001
0-30 cm	3,96 - 6,83	<i>Eucalyptus citriodora</i>	>35 anos	este trabalho
	8,57	<i>Eucalyptus saligna</i>	35 anos	este trabalho
	4,92	<i>Pinus caribaea</i>	20 anos	Lilienfein <i>et al.</i> , 2001
	3,37 - 5,63	<i>Pinus elliottii</i>	>40 anos	este trabalho
	5,04 - 7,41	Cerrado	-	Zinn <i>et al.</i> , 2002
	6,67 - 8,96	Cerradão	-	este trabalho
	4,16 - 5,98	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	7 anos	Zinn <i>et al.</i> , 2002
0-60 cm	6,68 - 8,10	<i>Eucalyptus citriodora</i>	>35 anos	este trabalho
	8,74	<i>Eucalyptus saligna</i>	35 anos	este trabalho
	6,57	<i>Pinus caribaea</i>	20 anos	Zinn <i>et al.</i> , 2002
	4,9 - 7,35	<i>Pinus elliottii</i>	>40 anos	este trabalho
	8,04	Cerrado	-	Maquere, 2004
	6,95 - 11,26	Cerradão	-	este trabalho
	12,25 - 18,47	Fisionomias de cerrado	-	Brossard <i>et al.</i> , 1997
	7,2 - 10,1	Floresta cortada	-	Hughes <i>et al.</i> , 2002
	11,07	Mata ciliar	-	Delitti; Burger, 2000
0-100 cm	14,42	Mata ciliar	-	Brossard <i>et al.</i> , 1997
	8,37 - 11,25	<i>Eucalyptus citriodora</i>	>35 anos	este trabalho
	8,04	<i>Eucalyptus saligna</i>	60 anos	Maquere, 2004
	8,75	<i>Eucalyptus saligna</i>	35 anos	este trabalho
	5,74 - 7,94	<i>Pinus elliottii</i>	>40 anos	este trabalho
0-120 cm	13,66	Cerrado	-	Lilienfein <i>et al.</i> , 2001
	12,82	<i>Pinus caribaea</i>	20 anos	Lilienfein <i>et al.</i> , 2001
0-200 cm	17,72	Cerrado	-	Lilienfein <i>et al.</i> , 2001
	16,84	<i>Pinus caribaea</i>	20 anos	Lilienfein <i>et al.</i> , 2001

Os estoques de carbono de solos do bioma Cerrado calculados neste e outros trabalhos (tabela 35) são da mesma ordem de magnitude. No primeiro metro do solo, foi aqui obtido o valor médio de $8,2 \pm 1,9 \text{ kgC.m}^{-2}$. Próximo à região de estudo, em solos de cerrado, Maquere (2004) obteve valores algo menores na camada de 0-30 cm. Já para o primeiro metro de solo, os valores de acúmulo dos dois estudos são semelhantes, ambos menores do que os encontrados por Brossard *et al.*, (1997) no Distrito Federal. Os estoques medidos em solos com florestas implantadas de *Pinus* coincidem com aqueles da literatura (LILIENTFEIN *et al.*, 2001; ZINN; RESCK; SILVA, 2002). Ocorreu o mesmo em *Eucalyptus* para o primeiro metro de solo (MAQUERE, 2004), para a camada de 0-60 cm foram verificados acúmulos levemente menores por Zinn, Resck e Silva (2002) em Minas Gerais. A importância da profundidade considerada é evidenciada pelos resultados de Lilienfein e Wilcke (2003) que, comparando áreas de cerrado e *Pinus*, encontraram maiores estoques de carbono em todas as camadas de solo desde a superfície até 1,2 m de profundidade, porém, diferenças não significativas até 2m, as quais são explicadas pelo maior conteúdo de carbono na massa de solo entre 1,2 e 2 m sob *Pinus* (Lilienfein *et al.*, 2001).

Os coeficientes de regressão obtidos no presente trabalho são relativamente baixos, variando entre 0,40 e 0,83; contudo, foram considerados aceitáveis, sendo reportados na literatura coeficientes entre 0,54; 0,73 (BERNOUX *et al.*, 1998a) e 0,77 (BROSSARD *et al.*, 1997) em latossolos do Brasil. O coeficiente encontrado na área de *Eucalyptus* de Mogi-Guaçu foi especialmente baixo, como discutido anteriormente, o talhão apresenta uma série de particularidades que parecem estar relacionadas com o manejo. Os problemas de ajuste devem ser originados pela ausência de informação nas camadas não amostradas, principalmente na de 5-10 cm, e não pela forma das curvas, pois o modelo exponencial considera-se de aplicação geral para solos florestais (BERNOUX *et al.*, 1998a). O delineamento experimental empregado não é o mais apropriado para a modelagem de dados,

para tal, seria preferível amostrar um contínuo de solo, sendo o ideal coletar amostras de volume constante em todas as camadas a partir da superfície. Porém, coletar em três profundidades do perfil considera-se adequado ao cálculo de estoques (ARROUAYS e PELISSIER, 1994) e minimiza consideravelmente o trabalho de campo. Por causa da incerteza nos cálculos, considerou-se mais adequado utilizar os dados brutos de carbono por massa de solo na análise comparativa entre tipos de vegetação. Também são reportadas na literatura diferenças no inventário de carbono sob diferentes tipos de uso do solo pequenas quando comparadas com a incerteza nas suas medidas (CAMARGO *et al.*, 1999).

Relação entre o carbono orgânico e a textura do solo

A textura é um dos fatores que influencia o conteúdo de carbono orgânico do solo, em princípio, a quantidade deste elemento que o solo pode conter depende da quantidade de partículas finas (argila e silte), pois possuem propriedades coloidais e formam agregados responsáveis pela proteção física do carbono do solo (FELLER; BEAR, 1997; PRIMAVESI, 2002). O conteúdo de argila é apontado como o principal definidor da quantidade de carbono de ciclagem lenta em latossolos da Amazônia (TELLES *et al.*, 2003), portanto, terá marcada influência sobre o acúmulo e a dinâmica do carbono do solo em florestas tropicais. Bayer *et al.* (2006) encontraram estoques de carbono maiores nos 20 cm da superfície de solos de cerrado com textura argilosa (5,40 kgC.m⁻²) do que areno-silto-argilosa (3,54 kgC.m⁻²).

A relação linear direta entre o conteúdo de carbono orgânico e o de partículas finas tem sido apontada repetidamente, seja com argila (FELLER; BEAR, 1997; HUGHES; KAUFFMAN; CUMMINGS, 2002; LEPSCH, 1980) ou com argila+silte (McGRATH; ZHANG, 2003; PLANTE *et al.*, 2006; ZINN; LAL; RESCK, 2005). No entanto, dados experimentais nem sempre corroboram ela (LUGO; BROWN, 1993; PERCIVAL; PARFITT; SCOTT, 2000). No presente trabalho, não houve diferenças relevantes entre considerar argila

ou argila+silte. A relação entre a textura do solo e o conteúdo de carbono orgânico do mesmo foi significativa, porém, variou em função da profundidade, encontrando maiores coeficientes de regressão nas camadas mais profundas. De fato, na camada superficial do solo não houve relação entre o carbono e a textura, enquanto que o conteúdo de partículas finas explicou mais de 60% dos dados de carbono na camada de 10-25 cm e mais de 70% na camada de 35-50 cm. Também outros autores (JOBAGY; JACKSON, 2000; ZINN; LAL; RESCK, 2005) reportam que o efeito textural, forte em camadas profundas, é pouco claro na camada superficial do solo.

Para explicar a variação do efeito da textura com a profundidade é necessário refletir sobre os diferentes reservatórios de carbono do solo, pois possuem dinâmicas e fatores definidores próprios. Por um lado, na camada superficial do solo a maioria do carbono orgânico está associada à matéria orgânica particulada, constituída por restos vegetais com tamanhos que superam 50 ou 20 μm (FELLER; BEAR, 1997). Por outro lado, em camadas mais profundas do solo a maioria do carbono orgânico está contida na matéria orgânica amorfa, ou mais exatamente, na matriz organo-mineral que é formada por aquela com as frações minerais finas do solo e constituída por partículas com tamanhos menores que 20 μm . Portanto, é coerente que o carbono acumulado em profundidade esteja fortemente relacionado com o conteúdo de partículas finas do solo.

Em escala global, Jobbagy e Jackson (2000) indicam a precipitação e o clima como os melhores preditores do carbono orgânico do solo nos 20 cm superficiais e a argila como o melhor preditor em camadas profundas. Em escala regional no bioma Cerrado, Zinn, Lal e Resck (2005) propõem que o efeito textural pouco marcado na camada superficial tem relação com a maior quantidade de matéria orgânica particulada encontrada lá, que estaria mascarando a interação do carbono húmico com a matriz mineral do solo. Sendo esta uma

explicação plausível para a relação praticamente nula entre carbono e textura encontrada na superfície do solo.

A camada superficial do solo apresenta maior variabilidade espacial, pois é mais afetada pelos fatores climáticos, a cobertura vegetal, a fauna do solo e o manejo, enquanto que nas camadas profundas esses fatores são menos marcantes. Além disso, as partículas finas migram no perfil do solo, acumulando-se em camadas mais profundas através de processos de lixiviação/deposição, por isso o conteúdo de partículas finas é maior nessas camadas, onde terão um papel mais relevante na estabilização química do carbono orgânico do solo. Portanto, pode-se dizer que os fatores determinantes na estabilização do carbono orgânico no solo variam em importância ao longo do perfil do solo, sendo que nas camadas superficiais a precipitação, as entradas de material orgânico (tipo e quantidade), a atividade da fauna edáfica e o manejo são muito relevantes, enquanto que a textura ganha importância com o aumento da profundidade.

4.3. Serapilheira acumulada sob coberturas de cerrado, *Eucalyptus* e *Pinus*

Material orgânico acumulado sobre o piso florestal

A manta orgânica acumulada sobre o solo representa um reservatório de matéria e energia substancial nas florestas (OLSON, 1963). Em áreas silviculturais encontraram-se acúmulos de material orgânico maiores do que em áreas naturais, bem como material antigo debaixo da serapilheira recém depositada, o que indica formação de horizontes orgânicos sob plantios de *Eucalyptus* e *Pinus* em áreas de cerrado. Outros autores atestaram depósitos de material orgânico maiores em áreas de *Eucalyptus* (MAQUERE, 2004) e *Pinus* (DELITTI, 1984; WILCKE; LILIENFEIN, 2002; ZINN; RESCK; SILVA, 2002) do que em áreas de cerrado.

Os resultados devem ser entendidos em base ao balanço entre a deposição de material orgânico e a sua posterior decomposição, pois este define o acúmulo de serapilheira sobre o piso florestal (OLSON, 1963). Por uma parte, sabe-se que as taxas de produção e deposição de folheto são elevadas nesse tipo de plantios (DELITTI, 1982, 1984; NEUFELDT *et al.*, 1999; WILCKE; LILIENFEIN, 2002). Por outra parte, as taxas de decomposição e incorporação ao solo são menores segundo os resultados da literatura: o material orgânico depositado sob *Pinus* apresentou maior tempo de residência na manta orgânica do que em áreas próximas de cerrado (WILCKE; LILIENFEIN, 2002) e as taxas de decomposição medidas em floresta implantada de *Pinus elliottii* foram menores do que em áreas de cerrado e mata ciliar em Mogi-Guaçu (DELITTI, 1984). A existência de material orgânico antigo sobre o solo mineral também indica inibição da decomposição e/ou mineralização, resultado que condiz com os de outros autores (LILIENFEIN *et al.*, 2001; LISANWORK; MICHELSEN, 1993; MICHELSEN; LISANWORK; FRIIS, 1993).

Os processos ecológicos que controlam o acúmulo de serapilheira mencionados sofrem influência de múltiplos fatores (climáticos, edáficos e bióticos), o que explica a variabilidade encontrada entre locais e tipos de vegetação. Os valores encontrados neste trabalho (tabela 23) são da mesma ordem de magnitude do que os da literatura (tabela 34) em áreas de vegetação natural de cerrado e plantios de *Eucalyptus*. Já nos plantios de *Pinus*, os acúmulos resultaram baixos quando comparados com aqueles obtidos por outros autores em condições semelhantes às do presente estudo (tabela 34). Nos ecossistemas tropicais, as restrições climáticas são fracas e os fatores bióticos cobram especial importância (AERTS, 1997), como verificado em florestas do estado de São Paulo, onde o tipo florestal, a qualidade química do substrato e a fauna do solo influenciaram as taxas de decomposição (CASTANHO, 2005). Em plantios florestais, a idade do talhão e as práticas de manejo também caracterizam a quantidade e qualidade do material depositado. Assim, as diferenças

encontradas em plantios de *Pinus* entre os dados do presente trabalho e os da literatura (tabela 34) podem ser explicadas através das práticas de manejo, que originam desigualdades na densidade e produtividade das árvores. A densidade arbórea deve ser responsável por parte destas diferenças, pois determina a quantidade de serapilheira produzida e o ambiente de decomposição. As densidades medidas nas áreas de estudo foram menores do que as reportadas nos trabalhos consultados (BIZON, 2005; DELITTI, 1984; KLEINPAUL; SCHUMACHER; BRUN, 2005; POGGIANI, 1985; ZINN; RESCK; SILVA, 2002). Outro fator envolvido é a extração de resina que ocorre nas áreas de estudo analisadas no presente trabalho. É sabido que a resinagem tem efeito negativo sobre a produção de serapilheira (SOAVE; PAGANO, 1994), portanto, originará acúmulos menores do que os de plantios não resinados, como aqueles estudados por Delitti (1984) e Kleinpaul *et al* (2005).

À vista dos dados da tabela 34, chama a atenção o grande acúmulo quantificado por Wilcke e Lilienfein (2002), que não pôde ser discutido em base às densidades arbóreas, pois tais não são referidas no artigo, contudo, os plantios que eles estudaram foram adubados no preparo das áreas. Diferentes tipos e/ou quantidades de adubação podem gerar discordância entre os dados de diferentes estudos, pois esta afeta aos fatores relativos à ciclagem de nutrientes, entre eles o acúmulo de serapilheira (SILVA, 2006). Os plantios aqui estudados não foram adubados no preparo das áreas nem depois. Portanto, é de esperar que o nitrogênio preexistente no solo tenha sido consumido pelas árvores no tempo de vida dos plantios e esteja limitando a produção de biomassa, originando menor deposição de serapilheira do que em plantios comerciais.

Tabela 34. Serapilheira acumulada sobre o piso florestal (t.ha^{-1}) em ecossistemas naturais e plantios de *Eucalyptus* e *Pinus* no Brasil.

Vegetação	Acúmulo (t.ha^{-1})	Local	Referência
cerrado	2,4	Uberlândia, MG	Wilke; Lilienfein, 2002
cerrado	8 a 13,5	Mogi-Guaçu, SP	Delitti, 1984
cerrado	5,8 a 13,5	J.Pinheiro; Uberlândia MG	Zinn et al., 2002
cerradão	8,701	4 municípios, SP	este trabalho
cerradão	*10,084	Luiz Antônio, SP	Cianciaruso et al., 2006
Mata Ciliar	3,240	Itapira, SP	Delitti; Burger; 2000
Mata Ciliar	6,227	Botucatu, SP	Vital et al., 2004
Mata Ciliar	9,5 a 12,5	Mogi-Guaçu, SP	Delitti, 1984
Flo. Semidecídua	5,5 a 8,6	Serra do Japí, SP	Morellato, 1992
Flo. Estacional Decídua	6,700	Sta. Maria, RS	Cunha et al., 1993
Flo. Estacional Decídua	8,080	Sta. Maria, RS	Kleinpaul et al., 2005
Flo. Ombrófila Mista	7,800	S.João do Triunfo, PR	Figueireido Filho et al., 2003
Fragmento florestal	7,745	Piracicaba, SP	Oliveira, 1997
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	7,6 a 13,9	João Pinheiro, MG	Zinn et al., 2002
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	14,401	Planaltina, DF	Melo; Resck, 2003
<i>Eucalyptus grandis</i>	5,000	Linhares, ES	Garay et al., 2003
<i>Eucalyptus grandis</i>	15,400	Bofete, SP	Kolm; Poggiani, 2003
<i>Eucalyptus saligna</i>	7,936	Agudos, SP	Poggiani, 1985
<i>Eucalyptus sp.</i>	11,160	4 municípios, SP	este trabalho
<i>Eucalyptus sp</i>	11,630	Sta. Maria, RS	Kleinpaul et al., 2005
<i>Pinus caribaea</i>	20,238	Agudos, SP	Poggiani, 1985
<i>Pinus caribaea</i>	37,687	Uberlândia, MG	Zinn et al., 2002
<i>Pinus caribaea</i>	63,000	Uberlândia, MG	Wilcke; Lilienfein, 2002
<i>Pinus ellioottii</i>	11,905	4 municípios, SP	este trabalho
<i>Pinus ellioottii</i>	21,920	Sta. Maria, RS	Kleinpaul et al., 2005
<i>Pinus ellioottii</i>	*20,186	Mogi-Guaçu, SP	Delitti, 1984
<i>Pinus taeda</i>	20,3 a 60,2	Jaguariaíva PR; Itararé SP	Bizon, 2005

Os resultados do presente trabalho estão marcados em negrito. Flo. = floresta. Asteriscos indicam valores estimados a partir de: $k=X_{ss}/L$, sendo X_{ss} o acúmulo e L a deposição de serapilheira (Olson, 1963).

No plantio de *Eucalyptus saligna* de Itirapina foi encontrada uma camada orgânica especialmente grossa, com quantidade de carbono e matéria orgânica muito elevada. A formação dessa camada, que não foi observada sob coberturas de *E.citriodora*, parece relacionada com a espécie, que já foi indicada como favorecedora da formação de horizontes orgânicos e acúmulos de carbono e matéria orgânica em áreas de cerrado (MAQUERE, 2004) e locais de características semelhantes no Congo (LACLAU *et al.*, 2004) e na África do Sul (READ *apud* LIMA, 1996). Contudo, a falta de replicação do plantio de *E.saligna* impede conclusões definitivas a respeito.

As porcentagens de nitrogênio e relações C/N obtidas na serapilheira acumulada enquadram-se na faixa de valores médios reportados para os trópicos (%nitrogênio de $1,46 \pm 0,88$ e relação C/N de $53,8 \pm 38,2$) (AERTS, 1997), com a única exceção do plantio de *Pinus* de Pederneiras, onde a relação C/N foi especialmente elevada. Os valores C/N quantificados nas áreas com cobertura de cerradão resultaram intermédios quando comparados com os encontrados em florestas naturais do estado de São Paulo (CASTANHO, 2005). Nos plantios, foram algo maiores do que os reportados na literatura (LILIENFEIN *et al.*, 2001; WILCKE; LILIENFEIN, 2002), o que pode atender às diferenças na adubação já comentadas. Em florestas de coníferas, a composição química da serapilheira tende a retardar a atividade biológica (OLSON, 1969), assim, a maior quantidade de material encontrada na serapilheira acumulada pode ser explicada em parte pelas características químicas do material. De fato, em todas as localidades estudadas foram verificadas diferenças marcantes entre tipos de vegetação, deparando-se com valores menores de nitrogênio e maiores relações C/N na serapilheira depositada nas áreas plantadas com *Eucalyptus* e *Pinus* do que nas de cerradão.

Os resultados demonstram perdas qualitativas no material acumulado sobre o solo em função da silvicultura, apresentando nos plantios relação C/N maior, conteúdo de nitrogênio e bases (potássio, cálcio e magnésio) menor, e pH mais ácido do que nas áreas de vegetação

natural. Outros estudos evidenciam decréscimos na qualidade química da serapilheira em plantios de *Eucalyptus* (LISANWORK; MICHELSEN; LISANWORK; FRIIS, 1993; MAQUERE, 2004; NETO *et al.*, 2001) e *Pinus* (DELITTI, 1984; WILCKE; LILIENFEIN, 2002). A qualidade química do substrato é o principal definidor da decomposição em ecossistemas tropicais (AERTS, 1997), de modo que as perdas de qualidade química verificadas implicam em alterações na ciclagem de nutrientes.

Estoque de carbono na serapilheira acumulada sobre o piso florestal

Foi comprovado que o armazenamento de carbono na manta orgânica acumulada sobre o piso florestal é substancialmente maior em plantios de *Eucalyptus* e *Pinus* do que em áreas de cerrado (figura 17), fato que resulta dos grandes acúmulos de material sobre o piso florestal e da elevada concentração de carbono desse material. Não foram encontradas diferenças significativas entre plantios de *Eucalyptus* e *Pinus* a esse respeito. Como mencionado previamente, nas áreas silviculturais foi observada a formação de horizontes orgânicos, que contribuem para a maior estocagem de carbono sobre o solo mineral. Outros autores encontraram estoques de carbono menores na serapilheira acumulada sob vegetação de cerrado do que de *Pinus* (LILIENFEIN *et al.*, 2001; WILCKE; LILIENFEIN, 2002; ZINN; RESCK; SILVA, 2002) e *Eucalyptus* (MAQUERE, 2004).

Os estoques de carbono da serapilheira obtidos neste trabalho (tabela 32) enquadram-se na faixa de valores encontrados em outros estudos conduzidos no Brasil (ADUAN; VILELA; KLINK, 2003; LILIENFEIN *et al.*, 2001; MAQUERE, 2004; WILCKE; LILIENFEIN, 2002; ZINN; RESCK; SILVA, 2002). Em áreas de cerrado, são referidos valores entre 0,119 kgC. m⁻² (WILCKE; LILIENFEIN, 2002) e 0,626 (ZINN; RESCK; SILVA, 2002), contudo, o termo *cerrado* é empregado para referir-se a diferentes fisionomias vegetais, que nem sempre são especificadas nos artigos consultados, de modo que a amplitude

de valores encontrada considerar-se baixa. Em áreas de *Eucalyptus*, os valores aqui obtidos são muito semelhantes aos de outros autores (MAQUERE, 2004; ZINN; RESCK; SILVA, 2002). Em áreas de *Pinus*, os valores do presente trabalho são substancialmente menores do que os da literatura (LILIENFEIN *et al.*, 2001; WILCKE; LILIENFEIN, 2002; ZINN; RESCK; SILVA, 2002) não por causa da concentração de carbono do material, que é muito parecida, mas por causa dos menores acúmulos, que já foram convenientemente discutidos.

As alterações da relação C/N da serapilheira produzidas pelo uso silvicultural de *Eucalyptus* e *Pinus* terão efeito marcado sobre o armazenamento de carbono, principalmente o aumento dos tempos de residência na serapilheira e nos horizontes orgânicos. Isso porque em ecossistemas tropicais a composição química da serapilheira é o principal fator determinante da taxa de decomposição (AERTS, 1997). Sendo a relação C/N um importante indicador da qualidade inicial do substrato (TAYLOR; PARKINSON; PARSONS, 1989), os resultados sugerem que o material acumulado sob plantios de *Pinus* e *Eucalyptus* possui resistência à degradação maior do que o do cerrado. Menores valores de pH também podem diminuir as taxas de decomposição, ao favorecer a atividade biológica dos fungos sobre as bactérias. Os resultados de Wilcke e Lilienfein (2002) vêm reforçar essa idéia. Eles quantificaram, em áreas de cerrado, camadas orgânicas compostas exclusivamente por material recém depositado, que possuía tempos médios de residência de 2,6 meses a 3,6 anos. Em plantios próximos de *Pinus*, os tempos médios desse tipo de materiais foram de 3,7 a 26 anos, porém, atingiram 8 a 907 anos na manta orgânica inteira, constituída também por serapilheira finamente fragmentada e porções de material humificado misturadas com restos vegetais.

4.5. Efeitos da silvicultura de *Eucalyptus* e *Pinus* em áreas de cerrado

Os resultados obtidos no presente trabalho demonstram que plantios de *Eucalyptus* e *Pinus* alteram o acúmulo de carbono e a ciclagem de nutrientes em áreas originalmente ocupadas por cerradão no estado de São Paulo. Sob esse tipo de coberturas, foi verificada substituição da matéria orgânica acumulada sobre o piso florestal e na camada superficial solo mineral, até 5 cm. Essa nova matéria orgânica apresenta menor qualidade química do que a original, ou seja, maior resistência à degradação enzimática, o que aumentará o tempo de residência do carbono nela contido. O fato tem implicações evidentes para o acúmulo de carbono, que permanecerá estocado por mais tempo, mas também provoca a diminuição de recursos tróficos para a comunidade decompositora, com repercussões no resto do ecossistema.

Efeitos dos plantios de *Eucalyptus* e *Pinus* sobre solos de cerrado

Os resultados mostram que o efeito da silvicultura de *Eucalyptus* e *Pinus* sobre o carbono do solo varia em função da vegetação plantada, da profundidade e da textura do solo. Além do tipo de vegetação e a textura, a mineralogia e o manejo são apontados como fatores relevantes (MAQUERE, 2004).

As diferenças nos estoques de carbono do solo devidas à silvicultura ocorreram principalmente nas camadas superficiais do solo, causadas pela substituição da matéria orgânica, que ocorre em tempos relativamente curtos, já a matéria orgânica armazenada em camadas profundas é menos susceptível a alteração, sendo que a maioria dela é antiga e muito estável, como comprovado por Poirier *et al.* (2002) em solos ferralíticos. Em latossolos da Amazônia, o carbono associado aos minerais de argila possui tempos de reciclagem de décadas na camada superficial do solo até milênios em profundidades de mais de 20 cm

(TELLES *et al.*, 2003). Os maiores ajustes no estoque de carbono promovidos por mudanças no uso da terra ocorrem na primeira década após a conversão (TRUMBORE *et al.*, 1995). Assim, era de esperar que o carbono acumulado nas camadas superficiais do solo fosse mais susceptível à substituição da vegetação. Em solos de cerrado com plantios antigos (60 anos) de *Eucalyptus*, Maquere (2004) verificou alterações no carbono armazenado e tipo de matéria orgânica até 30 cm de profundidade, sendo que abaixo dessa profundidade a matéria orgânica estava inalterada. Sob cultura de *Pinus*, 30% da matéria orgânica original tinha sido substituída depois de 20 anos de cultura em solos de cerrado (WILCKE; LILIENFEIN, 2004).

Foi observado que o efeito da silvicultura sobre o solo varia em função da vegetação plantada. As variáveis estudadas diferiram entre plantios de *Pinus* e *Eucalyptus*, assim como entre *Eucalyptus* de espécies diferentes (*E. citriodora* e *E. saligna*). A quantidade de carbono e matéria orgânica foi maior em plantios de *Eucalyptus* do que *Pinus*, com a única exceção da camada de solo superficial de Mogi-Guaçu. A relação C/N medida no solo superficial foi menor em plantios de *E. citriodora* do que *Pinus*, porém maior sob *E. saligna*. Esses resultados sugerem importância da espécie silvicultural utilizada, mas tal não pode ser afirmado por causa da falta de replicação de *E. saligna*. Rigobelo e Nahas (2004) também referem melhores propriedades químicas sob cobertura de *Eucalyptus* do que *Pinus* em latossolos do estado de São Paulo, encontrando maior fertilidade e pH.

O efeito da silvicultura sobre o carbono contido na camada superficial do solo não foi significativo no local com textura argilosa. Os efeitos da cultura sobre o carbono orgânico do solo variam muito em função da textura (FELLER; BEARE, 1997), sendo referidas, em solos de cerrado, perdas de carbono maiores em solos de textura grossa (48%) do que fina (19%) em função do uso silvicultural (ZINN; RESCK; SILVA, 2002). Uma explicação plausível é o fato de que a matéria orgânica particulada, mais susceptível a perdas, seja por erosão, dispersão ou decomposição, é definidora da dinâmica do carbono orgânico em solos de

textura grossa, onde constitui o maior reservatório de matéria orgânica lábil. Em solos de textura fina, o carbono associado à fração de argila também é relevante, pois é bastante e parte dele (30 a 40%) pertence a um reservatório relativamente lábil (FELLER; BEAR, 1997), com tempos de reciclagem de décadas na camada superficial do solo (TELLES *et al.*, 2003). Nos solos tropicais, boa parte do carbono orgânico (20-40%) está associada à matéria orgânica particulada (FELLER; BEAR, 1997), neste ponto, o manejo do solo cobra especial importância, sendo fundamental a utilização de técnicas silviculturais conservativas, que minimizem a alteração da camada superficial do solo, como o cultivo mínimo do solo (GONÇALVES *et al.*, 2000; PRIMAVESI, 2002).

Efeitos de *Eucalyptus* e *Pinus* sobre a qualidade química da matéria orgânica do solo

O uso silvicultural originou elevadas relações C/N na serapilheira, as quais dificultam a degradação do material, propiciando acúmulos de serapilheira e formação de horizontes orgânicos maiores sob coberturas de *Eucalyptus* e *Pinus* do que de cerrado. Assim, nos plantios aumenta o estoque de carbono e nutrientes nas camadas orgânicas, como referido na literatura (LILIENFEIN *et al.*, 2001; WILCKE; LILIENFEIN, 2002), isto indica que a liberação de nutrientes da camada orgânica para o solo mineral é mais lenta. À medida que o material orgânico é decomposto e incorporado ao solo ocorre substituição da matéria orgânica do solo superficial, e a relação C/N dos compostos orgânicos do solo também diminui.

As relações C/N quantificadas na camada superficial do solo, até 5 cm de profundidade, foram muito maiores em áreas de *Eucalyptus* e *Pinus* do que em áreas de vegetação natural, indicando que ocorreu substituição do tipo de matéria orgânica do solo superficial em 30 anos. Essa nova matéria orgânica, com baixa qualidade nutricional para os microorganismos do solo, expressa a diminuição de recursos tróficos dentro do sistema. Sendo de decomposição mais difícil, acarretará o armazenamento de carbono no solo,

contudo, nessa situação de baixa disponibilidade nutricional, poderá ocorrer competição pelo nitrogênio entre os microorganismos do solo e a vegetação (BAZZAZ, 1996), o que diminuiria o crescimento da vegetação e o potencial de armazenamento de carbono na biomassa. Esta evolução do carbono no solo pode demandar aumento da adubação nitrogenada em plantios florestais durante rotações sucessivas (LACLAU *et al.*; 2005).

Rigobelo e Nahas (2004) concluíram que a entrada de nutrientes da serapilheira ao solo diminui sob cultura de *Eucalyptus* e *Pinus*, originando perdas de qualidade na matéria orgânica a longo prazo, o que condiz com os resultados aqui apresentados. Outros autores indicam inibição da mineralização e incorporação da matéria orgânica ao solo em plantios comerciais (LISANEN; MICHELSEN, 1993; MICHELSEN; LISANEN; FRIIS, 1993). Como comentado, esse fato poderá promover incrementos no armazenamento de carbono nas camadas orgânicas e na superfície do solo mineral, mas também favorecer a competição pelo uso dos nutrientes, principalmente o nitrogênio, entre plantas e microorganismos.

Os resultados evidenciam ocorrência de acidificação em solos de cerrado submetidos ao cultivo de *Eucalyptus* e *Pinus*, com valores de pH maiores em solos naturais do que silviculturais. A acidificação de solos de cerrado submetidos à cultura de *Pinus* é corroborada por outros autores (LEPSCH, 1980; LILIENFEIN *et al.*, 2000; SILVEIRA-LOPES; GARRIDO; MELLO, 1983/85). Numa síntese de dados globais, Jackson *et al.* (2005) documentam acidificação em 98 de 114 casos. A liberação de ácidos orgânicos no processo de decomposição da serapilheira causa a acidificação da camada superficial do solo, onde foram medidos os menores valores de pH. Foi demonstrado que o material depositado sobre o solo é mais ácido em áreas de *Eucalyptus* e *Pinus* do que de cerrado, o que vem reforçar a idéia da decomposição da serapilheira como principal fonte de acidificação de solos submetidos a

culturas deste tipo. Lixiviados do dossel também são apontados como substâncias passíveis de diminuir o pH do solo em plantios silviculturais (JACKSON *et al.*, 2005).

Como discutido anteriormente, a matéria orgânica do solo e a composição química da serapilheira definem processos ecológicos importantes, portanto, a sua modificação será refletida em outras componentes do ecossistema. Por um lado, foi provada a liberação de substâncias alopáticas na decomposição de folhas de *Eucalyptus*, que são indicadas como inibidoras potenciais do desenvolvimento do sub-bosque (MAY; ASH, 1990). Por outro lado, as perdas de qualidade nutricional verificadas traduzem-se na diminuição de recursos tróficos e têm repercussão no resto da cadeia alimentar, como demonstram os decréscimos na diversidade de distintos grupos da fauna do solo ocorridos em função do plantio de *Pinus* (RIGOBELLO; NAHAS 2004) e *Eucalyptus* (FREITAS *et al.*, 2002; NETO *et al.*, 2001; RIGOBELLO; NAHAS 2004; TAVARES; BISPO; ZANINI, 2001; VALLEJO; FONSECA; GONÇALVES, 1987) no Brasil.

Os resultados mostram que a silvicultura acarreta alterações na ciclagem de nutrientes, sendo verificadas diferenças em praticamente todos os parâmetros estudados na comparação de áreas de *Eucalyptus* e *Pinus* com remanescentes de cerradão representantes da vegetação nativa.

5. CONCLUSÕES

*“La tierra es un amor dispuesto a ser un hoyo,
dispuesto a ser árbol, un volcan y una fuente.”*
Miguel Hernandez

A metodologia empregada mostrou-se adequada para satisfazer os objetivos propostos no presente trabalho: quantificar o carbono acumulado na serapilheira e no solo em áreas de cerrado ocupadas por vegetação nativa e por silvicultura de *Eucalyptus* e *Pinus* e avaliar possíveis alterações ocorridas na ciclagem de nutrientes nas áreas plantadas. Os resultados obtidos permitiram concluir que plantios de *Eucalyptus* e *Pinus* têm efeitos marcados sobre o acúmulo de carbono e a ciclagem de nutrientes em solos de cerrado.

Em ecossistemas naturais e florestais, o carbono do solo apresenta heterogeneidade espacial elevada, também não se distribui de forma homogênea ao longo do perfil, estando concentrado na camada superficial do solo. As mudanças nos estoques de carbono originadas pela silvicultura ocorreram principalmente nas camadas orgânicas e na superfície do solo mineral, devido à substituição da matéria orgânica original por outra de pior qualidade química. A influência do tipo de vegetação sobre o carbono da camada superficial do solo variou em função de características do sítio, encontrando ganhos de carbono em alguns dos locais estudados, perdas em outros e ainda diferenças não significativas. Já em profundidades maiores, o conteúdo de carbono foi bem explicado pela textura, concretamente pelo teor de argila do solo, e diminuiu por causa do cultivo de *Eucalyptus* e *Pinus*, sendo mais fortes as depleções sob *Pinus*.

Todos os resultados deste trabalho indicam diferenças de comportamento entre o carbono armazenado na camada superficial do solo e o armazenado em profundidades maiores, o que sugere a pertença desse carbono a frações com propriedades físico-químicas bem diferentes: por uma parte, o carbono da camada superficial do solo deve estar associado à matéria orgânica particulada, que consiste em restos orgânicos finamente fragmentados, mas ainda pouco decompostos e que, portanto, é muito sensível aos efeitos da comunidade

decompositora, dos distúrbios e do manejo. Por outra parte, o carbono acumulado em camadas mais profundas deve estar contido na matéria orgânica amorfa, uma fração mais antiga, que apresenta um estado de decomposição mais avançado e já sofreu processos de transformação e síntese no solo, de modo que é bastante homogênea e possui maior estabilidade química. Essa matéria orgânica forma complexos organo-minerais com as partículas de argila, o que explicaria a estreita relação entre carbono e textura encontrada nestas camadas do solo. O tempo de vida dos plantios estudados (≈ 40 anos) não é suficiente para ter ocorrido substituição da matéria orgânica em profundidade, pois esta corresponde com uma fração relativamente antiga e estável. Portanto, as depleções de carbono verificadas em plantios de *Eucalyptus* e *Pinus* devem ser explicadas pela oxidação da matéria orgânica original, que pode ter ocorrido no preparo prévio ao plantio, quando a vegetação original é cortada e destocada, com conseguinte revolvimento e areação do solo. Após as atividades de corte e destoca, a biomassa é acumulada em fileiras e posteriormente queimada, causando uma profunda alteração na camada superficial do solo, em parte responsável pelo fato dos resultados encontrados na camada superficial do solo serem tão diferentes em cada um dos locais estudados.

Foi comprovado que o estoque de carbono nas camadas orgânicas depositadas sobre o solo é maior em áreas silviculturais de *Eucalyptus* e *Pinus* do que em áreas naturais de cerradão, os resultados também sugerem que o carbono aí acumulado possui tempos de residência maiores. O material coletado no piso florestal dos talhões resultou ter relação C/N e acidez maiores do que aquele do cerradão, seguramente isso inibe a decomposição, induzindo a formação de camadas orgânicas espessas as quais, de fato, foram encontradas nas áreas silviculturais, principalmente baixo cobertura de *Pinus*. Além de ácido, o material apresentou menor concentração de nitrogênio, magnésio, cálcio e potássio. Tudo isso demonstra a perda de qualidade química da serapilheira provocada pela monocultura de *Eucalyptus* e *Pinus* que

condiciona, por um lado, menores taxas de reciclagem e maiores tempos de residência do carbono, mas leva, por outro lado, à diminuição de recursos alimentares para o resto da cadeia trófica, o que terá implicações para todo o ecossistema.

Finalmente, concluiu-se que monoculturas de *Eucalyptus* e *Pinus* em solos de cerrado acarretam alterações significativas no acúmulo de carbono e na ciclagem de nutrientes: Nas camadas orgânicas e na superfície do solo mineral houve substituição da matéria orgânica original por outra de pior qualidade química. Foi verificado aumento do estoque de carbono nas camadas orgânicas depositadas sobre o solo, contudo, a quantidade aí acumulada é pouco relevante quando comparada com a do solo. As diferenças encontradas entre os locais estudados indicam que os efeitos da silvicultura sobre o carbono da camada superficial do solo dependem de fatores além da vegetação, como atividade da comunidade decompositora e ocorrência de distúrbios, que são mencionados na literatura, mas pouco investigados, sendo necessárias pesquisas ulteriores para maior esclarecimento. O carbono de camadas mais profundas sofreu depleções sob uso silvicultural atribuíveis às atividades de preparo do solo prévias ao plantio. Também foi comprovada a existência de mudanças não relativas ao acúmulo de carbono, como perdas importantes de qualidade química na serapilheira e acidificação dos solos submetidos à cultura de *Pinus*.

A maior limitação encontrada no presente trabalho foi considerar exclusivamente a quantidade de carbono do solo, sendo necessários estudos de fracionamento de matéria orgânica para avaliar a dinâmica e os fatores definidores dos diferentes reservatórios de carbono do solo, o que é fundamental, porque as distintas frações respondem ao uso florestal e às práticas de manejo de forma muito diferente. Portanto, é pertinente continuar investigando os fatores determinantes do carbono do solo, com ênfase nas distintas frações que nele ocorrem, sobretudo a da camada superficial do solo, maior em quantidade e mais sensível às práticas de manejo e mudanças do uso da terra.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

*“Como no vamos a respetar la tierra,
si es el principio y el fin de todo lo creado.”*
Ancião jefe Yamba, Senegal Oriental

A utilização de plantios de espécies de crescimento rápido mostrou-se útil como ferramenta de seqüestro de carbono, contudo, é necessário agir com cautela, pois podem ocorrer perdas do carbono original do solo em função das práticas empregadas no preparo do solo e no manejo das áreas. Tal fato é relevante na proposta de projetos florestais de mitigação, pois as perdas do carbono original podem originar falta de adicionalidade sobre a linha de base, o que inviabilizaria a obtenção de créditos de carbono.

Na realização de projetos florestais de mitigação baseados no plantio de espécies de crescimento rápido em áreas de cerrado, recomenda-se o uso preferencial de *Eucalyptus* sobre *Pinus*. Tanto por causa do potencial de acúmulo de carbono e alteração das propriedades da matéria orgânica encontrados, quanto pelo fato, comprovado em campo, de que o *Pinus* exibe comportamento de planta invasora na região e o *Eucalyptus* não. Cabe ressaltar também a importância dos locais de implantação e práticas de manejo dos plantios, que podem favorecer a ocorrência de perdas de qualidade nos cursos de água e no capital nutricional do solo.

Considerar o uso de consórcios de espécies nativas em projectos de mitigação de carbono é interessante, pois possuem elevado potencial de estoque, além de múltiplos usos adicionais, tais como recuperação de áreas degradadas, matas ciliares, e sistemas agroflorestais. Esses usos adicionais são fundamentais, pois trazem serviços úteis para as populações e o meio ambiente, como água de boa qualidade e novas fontes de renda. Enfatizamos a importância dessas características na escolha do tipo de cobertura vegetal em projetos de mitigação. Paradoxalmente, as comunidades beneficiárias dos programas de desenvolvimento sustentável são muitas vezes as menos beneficiadas. No Brasil, a quantidade de pequenos a médios produtores é considerável e os referidos usos adicionais cobram especial relevância.

7. REFÊRENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADUAN, R. E.; VILELA, M. F.; KLINK, C. A. **Ciclagem de carbono em ecossistemas terrestres: o caso do cerrado Brasileiro**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2003. 30 p. (Documentos/Embrapa Cerrados; n. 105).
- AERTS, R. Climate, leaf litter chemistry and leaf litter decomposition in terrestrial ecosystems: a triangular relationship. **Oikos**, v. 80, pg. 353-361, 1997.
- ARROUAYS D.; PELISSIER, P. Modeling carbon storage profiles in temperate forest humic loamy soils of France. **Soil Science**, v, 157, n. 3, p. 185-192, 1994.
- BATJES, N. H. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. **European Journal of Soil Science**, n. 47, p. 151-63, 1996.
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A.; DIECKOW, J. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. **Soil & Tillage Research**, v. 86, p. 237-245, 2006.
- BAZZAZ F. A. **Plants in Changing Environments**. Linking physiological, population and community ecology. Cambrige: Cambridge University Press, 1996. 320 p.
- BERNOUX, M.; ARROUAYS, D.; CERRI, C.; BOURENNANE, H. Modeling vertical distribution of carbon in oxisols of the western Brazilian Amazon (Rondonia). **Soil Science** v. 163, n. 12, p. 941-951, 1998. (a)
- BERNOUX, M.; ARROUAYS, D.; CERRI, C.; VOLKOFF, B.; CLAUDY, J. Bulk densities of Brazilian Amazon soils related to other soil properties. **Soil Science Society of American Journal**, v. 62, p. 743-749, 1998. (b)
- BIZON, J. M. C. **Avaliação da sustentabilidade nutricional de plantios de *Pinus taeda* L. usando um balanço de entrada-saída de nutrientes**. 2005. 95 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2005.
- BROSSARD, M.; LOPES ASSAD, M. L.; CHAPUIS, L.; BARCELLOS, A. O. Estoques de carbono em solos sob diferentes fitofisionomias de cerrados. In: LEITE, L. L ; SAITO, C. H. (Orgs.). **Contribuição ao conhecimento ecológico do cerrado**. Brasília: UnB, 1997, p 272-277. Trabalhos Seleccionados do Congresso de Ecologia do Brasil, 3., 1996, Brasília.
- CAMARGO, P. B.; TRUMBORE, S. E.; MARTINELLI, L. A.; DAVIDSON, E. A.; NEPSTAD, D. C.; VICTORIA, R. L. Soil carbon dynamics in regrowing forest of Eastern Amazônia. **Global Change Biology**, v. 5, p. 693-702, 1999.
- CASTANHO, C. T. **Fatores determinantes no processo de decomposição em florestas do estado de São Paulo**. 2005. 100 f. Tese (Mestrado) – Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, SP, 2005.

CHEVALLIER, T.; VOLTZ, M.; BLANCHAT, E.; CHOTTE, J. L.; ESCHENBRENNER, V.; MATHIEU, M.; ALBRECH, A. Spatial and temporal changes of soil carbon after establishment of a pasture on a long-term cultivated vertisol, Martinique. **Geoderma**, n. 94, p. 43-58, 2000.

CIANCIARUSO, M.; PIRES, J.; DELITTI, W.; PEREIRA-SILVA, E. Produção de serapilheira e decomposição do material foliar em um cerrado na estação Ecológica de Jataí, município de Luiz Antônio, SP, Brasil. **Acta botanica brasílica**, v. 20, n. 1, pg. 49-59, 2006.

COSTA, C. V.; BORGES, L. C. V. (Coord). SIMPÓSIO SOBRE MANEJO E CONSERVAÇÃO DE SOLO NO CERRADO. **Anais ...** Campinas: Fundação Cargill, 1992, 167 p.

COTTAM, G.; CURTIS, J. T. The use of distance measures in phytosociological sampling. **Ecology**, v. 37, n. 3, p. 451-460, 1956.

CRAWLEY, M. J. **Statistical computing: an introduction to data analysis using S-Plus**. Chichester, West Sussex, England, New York: John Wiley & Sons Ltd, 2002, 761 p.

CUNHA, G. C.; GRENDENE, L. A.; DURLO, M. A.; BRESSAN, D. A. Dinâmica nutricional em Floresta Estacional Decidua com ênfase aos minerais provenientes da deposição da serapilheira. **Ciência Florestal**, v.3, n.1, p.35-64, 1993.

DELITTI, W. B. C. **Aspectos dinâmicos da serapilheira de uma floresta implantada de *Pinus elliottii* Engelm. Var. *elliottii* (Mogi-Guaçu, SP)**. 1982. 130 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.

DELITTI, W. B. C. **Aspectos comparativos da ciclagem de nutrientes minerais na mata ciliar, no campo cerrado e na floresta implantada de *Pinus elliottii* Engelm. Var. *elliottii* (Mogi-Guaçu, SP)**. 1984. 298 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.

DELITTI, W. B. C. Estudos de Ciclagem de nutrientes: instrumentos para a análise funcional de ecossistemas terrestres. **Oecologia Brasiliensis**, Rio de Janeiro, v. 1, p. 469-486, 1995.

DELITTI, W. B. C.; BURGER, D. B. Carbon and mineral nutrient pools in a gallery forest at Mogi-Guaçu River, Southeast Brazil. **Annals of Forest Science**, v. 57, p. 39-47, 2000.

DELITTI, W. B. C.; PAUSAS, J. G.; BURGER, D. B. Belowground seasonal variations in two neotropical savannahs (Brazilian Cerrados) with different fire stories. **Annals of Forest Science**, v. 58, n. 7, p. 713-721, 2001.

ELLIS, S.; MELLOR, A. Soil Formation and Environment. In: _____ **Soils and Environment**. London: Routledge, 1995. Cap. 4, p. 96-131.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa, 1999. 370p.

FELLER, C.; BEARE M. H. Physical control of organic matter dynamics in the tropics. **Geoderma**, v. 79, p. 69-116, 1997.

FIGUEIREDO FILHO, A.; MORAES, G. F.; SCHAAF, L. B.; FIGUEIREDO, D. J. Avaliação estacional da deposição de serapilheira em uma Floresta Ombrófila Mista localizada no Sul do Paraná. **Ciência Florestal**, v.13, n. 1, p. 11- 18, 2003.

FORSTER, P.; RAMASWAMY, V.; ARTAXO, P.; BERNTSEN, T.; BETTS, R.; FAHEY, D.W.; HAYWOOD, J.; LEAN, J.; LOWE, D.C.; MYHRE, G.; NGANGA, J.; PRINN, R.; RAGA, G.; SCHULZ, M.; VAN DORLAND, R. Changes in atmospheric constituents and in radiative forcing. In: SOLOMON, S.; QIN, D.; MANNING, M.; CHEN, Z.; MARQUIS, M.; AVERYT, K.B.; TIGNOR, M.; MILLER, H.L. (Eds.) **Climate Change 2007: The physical science basis**. Contribution of working group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge: Cambridge University Press, 2007. Cap 2, p. 129-234.

FREITAS, F. A.; ZANUNCIO, T. V.; ZANUNCIO, J. C.; BRAGANÇA, M. A. L.; PEREIRA, J. M. M. Similaridade e abundância de *Hymenoptera* inimigos naturais em plantio de eucalipto e em área de vegetação nativa. **Floresta e Ambiente**, v. 9, n. 1, p. 145-152, 2002.

GARAY, I.; KINDEL, A.; CARNEIRO, R. Comparação da matéria orgânica e de outros atributos do solo entre plantações de *Acácia magnum* e *Eucalyptus grandis*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 4, p. 705-712, 2003.

GIANNOTTI, E.; LEITÃO FILHO, H. F. Composição Florística do cerrado da estação experimental de Itirapina (SP). In: 8º Congresso da Sociedade Botânica de São Paulo, 8. Ilha Solteira, Setembro, **Anais...** p. 21-25. 1992.

GIBBS, P.E.; LEITÃO FILHO, H. F.; SHEPHERD, G. Floristic composition and community structure in an area of Cerrado in SE Brazil. **Flora**, v. 173, p. 433-449, 1983.

GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L.; BENEDETTI, V.; FESSEL, V. A. G.; GAVA, J. L. Reflexos do cultivo mínimo e intensivo do solo em sua fertilidade e na nutrição das árvores. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, 2000. Cap. 1, p. 1-57.

GONZÁLEZ-PÉREZ, J. A.; GONZÁLEZ-VILA, F. J.; ALMENDROS, G.; KNICKER, H. The effect of fire on soil organic matter: a review. **Environment International**, n.30, p. 855-870, 2004.

HUGHES, R.F.; KAUFFMAN, J. B; CUMMINGS, D. L. Dynamics of aboveground and soil carbon and nitrogen stocks and cycling of available nitrogen along a land-use gradient in Rondônia, Brazil. **Ecosystems**, v. 5, p. 244–259, 2002.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climatic Change) - WATSON, R. T.; NOBLE, I. R.; BOLIN, B.; RAVINDRANATH, N. H.; VERARDO, D. J.; DOKKEN, D. J. (Eds.) **Land Use, land-use change, and forestry**. Cambridge: Cambridge University Press, 2000. 375p. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/ipccreports/special-reports.htm>> Acesso em 03 jan 2008.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climatic Change). **Climatic Change 2001 Synthesis Report**. A contribution of Working Groups I, II and III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climatic Change. WATSON, R. T. & the Core Writing Team (Eds.) Cambridge: Cambridge University Press, 2001. 398 p.

JACKSON, R. B.; JOBBAGY, E. G.; AVISSAR, R.; ROY, S. B.; BARRETT, D. J.; COOK, C. W.; FARLEY, K. A.; MAITRE, D. C.; McCARL, B. A.; MURRAY, B. C. Trading Water for Carbon with Biological Carbon Sequestration. **Science**, v. 310, p. 1944-1947, 2005.

JOBBAGY, E.; JACKSON, R. B. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. **Ecological Applications**, v. 10, n. 2, p. 423-436, 2000.

KLEINPAUL, I. S.; SCHUMACHER, M. V.; BRUN, E. J. *et al.* Suficiência amostral para coletas de serapilheira acumulada sobre o solo em *Pinus elliottii* Engelm, *Eucalyptus* sp. e floresta estacional decidual. **Revista Árvore**, v. 29, nº6, p. 965-972, 2005.

KOLM, L.; POGGIANI, F. Ciclagem de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus grandis* submetidos à prática de desbastes progressivos. **Scientia Forestalis**, n. 63, p. 79-93, 2003.

KRONKA, F. J. N.; MATSUKUMA, C. K.; NALON, M. A.; DEL CALI, I. D.; ROSSI, M.; MATTOS, I. F. A.; SHIN-IKE, M. S.; PONTILHAS, A. A. S. **Inventário Florestal do estado de São Paulo**. São Paulo:: Instituto Florestal, 1993.

LACLAU, J. P.; RANGER, J.; DELEPORTE, P.; NOUVELLON, Y.; SAINT-ANDRÉ, L.; MARLET, S.; BOUILLET, J. P. Nutrient cycling in a clonal stand of *Eucalyptus* and an adjacent savanna ecosystem in Congo. 3. Input-output budgets and consequences for the sustainability of the plantations. **Forest Ecology and Management**, n. 210, p. 375-391, 2005.

LACLAU, J. P.; TOUTAIN, F.; THONGO, A. M. B., ARNAUD, M., JOFFE, R.; RANGER, J. The function of the superficial root mat in the biogeochemical cycles of nutrients in Congolese *Eucalyptus* plantations. **Annals of Botany**, v. 93, p. 1-13, 2004.

LBA Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia. [S.l.]: LBA, 2007. Disponível em: <<http://lba.cptec.inpe.br/lba/site/>> Acesso em 30 nov. 2007.

LEGENDRE, L. **Numerical ecology**. 2nd English ed. Amsterdam, New York: Elsevier, 1998.

LEHMANN, J.; GAUNT, J.; RONDON, M. Bio-Char sequestration in terrestrial ecosystems. A review. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, v. 11, n. 2, p.395-419, 2006.

LE MOS, R. C.; SANTOS, R. D. **Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo**. 2 ed. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Serviço Nacional de Levantamento de Solos (SBCS: SNLS), 1984. 46 p.

LEPSCH, I. F. Influência do cultivo de *Eucalyptus* e *Pinus* nas propriedades químicas de solos de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 4, p. 103-107, 1980.

LILIENFEIN, J.; WILCKE, W.; AYARZA, M. A.; VILELA, L.; CARMO LIMA, S.; ZECH, W. Soil acidification in *Pinus caribaea* forests on Brazilian Savanna oxisols. **Forest Ecology and Management**, v. 128, p. 145-157, 2000.

LILIENFEIN, J.; WILCKE, W.; THOMAS, R.; VILELA, L.; CARMO LIMA, S.; ZECH, W. Effects of *Pinus caribaea* forests on the C, N, P, and S status of Brazilian Savanna oxisols. **Forest Ecology and Management**, v. 147, p. 171-182, 2001.

LILIENFEIN, J.; WILCKE, W. Element storage in native, agri-, and silvicultural ecosystems of the Brazilian Savanna. **Plant and Soil**, v. 254, p. 425-442, 2003.

LIMA, W. P. **Impacto ambiental do eucalipto**. 2 ed. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1996. 301 p.

LISANERWORK, N.; MICHELSEN, A. Litterfall and nutrient content release by decomposition in three plantations compared with a natural Forest in the Ethiopian highland. **Forest Ecology and Management**, v. 65, p. 149-168, 1993.

LIU, D.; WANG, Z.; ZHANG, B.; SONG, K.; LI, X.; LI, J.; LI, F.; DUAN, H. Spatial distribution of soil organic carbon and analysis of related factors in cropland of the black soil region, Northeast China. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 113, p. 73-81, 2006.

LUGO, A. E.; BROWN, S. Management of tropical soils as sinks of atmospheric carbon. **Plant Soil**, v. 149, p. 27-41, 1993.

MANTOVANI, W.; LEITÃO-FILHO, H. F.; MARTINS, F. R. Chave baseada em caracteres vegetativos para identificação de espécies lenhosas do cerrado da Reserva Biológica de Moji-Guaçu, SP. **Hoenea**, v. 12, p. 35-56, 1985.

MANTOVANI, W.; MARTINS, F. R. Florística do cerrado na Reserva Biológica de Moji-Guaçu, SP. **Acta Botanica Brasilica**, v. 7, n. 1, p. 33-60, 1993.

MAQUERE, V. **Utilisation des terres (cerrado, pâturages, Eucalyptus) et stockage de matière organique dans les sols du Brésil**. 2004. Dissertação (Mestrado) – Université Henri Poincaré, Nancy, França.

MARTINS, S. G.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M.; FONSECA, S.; MARQUES, J. J. G. S. M. Perdas de solo e água por erosão hídrica em sistemas florestais na região de Aracruz (Es). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 27, p. 395-403, 2003.

MARTIUS, C.; TIESSEN, H.; VLEK, P.L.G. The management of organic matter in tropical soils: what are the priorities? **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, n. 61, p. 1-6, 2001.

MAY, F. E.; ASH, J. E. An Assessment of the allelopathic potential of *Eucalyptus*. **Australian Journal of Botany**, v. 38, n. 3, p. 245-254, 1990.

McGRATH, D.; ZHANG, C. Spatial distribution of soil organic carbon concentrations in grassland of Ireland. **Applied Geochemistry**, v. 18, n. 10, p. 1629-1639, 2003.

MEGURO, M. **Métodos em ecologia vegetal**. São Paulo: Universidade de São Paulo, Instituto de Biociências, Departamento de Ecologia Geral, 2000. 119 p.

MELO, J. T.; RESCK, D. V. S. **Retorno ao solo de nutrientes de serapilheira de *Eucalyptus camaldulensis* no cerrado do Distrito Federal**. Planaltina: EMBRAPA, 2003, 17 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, n.109).

MENDONÇA, R.R. A história da ocupação do interior do Estado de São Paulo. In: BITENCOURT, M. D. e MENDONÇA, R. R. (Org). **Viabilidade de conservação dos remanescentes de cerrado no Estado de São Paulo**. São Paulo: Annablume; Fapesp, 2004. Cap. 3, p. 57-75.

MICHELSSEN, A.; LISANWORK, N.; FRIIS, I. Impacts of tree plantation in the Ethiopian highland on soil fertility, shoot and root growth, nutrient utilisation and mycorrhizal colonization. **Forest Ecology and Management**, v. 61, p. 299-324, 1993.

MIRANDA, A. C.; MIRANDA, H. S.; LLOYD, J.; GRACE, J.; FRANCEY, J. A.; McINTYRE, J. R.; MEIR, P.; RIGGAN, P.; LOCKWOOD, R.; BRASS, J. Fluxes of carbon, water and energy over Brazilian cerrado: an analysis using eddy covariance and stable isotopes. **Plant, Cell and Environment**, v. 20, p. 315-328, 1997.

MONTAGNINI, F.; JORDAN, C.F. Reciclagem de nutrientes. In: GUARIGUATA, M. R. e KATTAN, G. H. (ed.). **Ecología y conservación de bosques neotropicales**. Cartago: Ediciones LUR, 2002. Cap. 8, p.167-191.

MOORE, P. D.; CHAPMAN, S.B. **Methods in Plant Ecology**. 2nd ed. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1986. 589 p.

MORELLATO, L. P. C. Nutrient Cycling in two South-East Brazilian Forests I-Litterfall and Litter Standing Crop. **Journal of Tropical Ecology**, v. 8, p. 205-215, 1992.

MUELLER-DOMBOIS, D.; ELLENBERG, H. **Aims and Methods of Vegetation Ecology**. New York: Willey, 1974. 547 p.

MUNSELL COLOR COMPANY® **Munsell Color Soil Charts**. Baltimore: Munsell, 1975. 34 p.

MYERS, N. et al. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v.403. p. 853-858, 2000.

NABUURS, G.J.; MASERA, O.; ANDRASKO, K.; BENITEZ-PONCE, P.; BOER, R.; DUTSCHKE, M.; ELSIDDIG, E.; FORD-ROBERTSON, J.; FRUMHOFF, P.; KARJALAINEN, T.; KRANKINA, O.; KURZ, W.A.; MATSUMOTO, M.; OYHANTCABAL, W.; RAVINDRANATH, N.H.; SANZ SANCHEZ, M.J.; ZHANG, X. Forestry. In: METZ, B.; DAVIDSON, O.R.; BOSCH, P.R.; DAVE, R.; MEYER, L. A. (Eds.) **Climate Change 2007: Mitigation**. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. (IPCC) Cambridge: Cambridge University Press, 2007. Cap 9, p. 541-584.

NETO, T. A. C; PEREIRA, M. G., CORREA, M. E. F. ANJOS, L. H. C. dos. Deposição de serrapiheira e mesofauna edáfica em áreas de eucalipto e floresta secundária. **Floresta e Ambiente**, v. 8, n. 1, p. 70-75, 2001.

NEUFELDT, H.; RESCK, D. V. S.; ARZAYA, M. A. Texture and Land-use Effects on Soil Organic Matter in Cerrado Oxisols, Central Brazil. **Geoderma**, v. 107, n. 3-4, p. 151-164, 2002.

NEUFELDT, H.; RESCK, D. V. S.; ARZAYA, M. A.; ZECH, W. Soil organic matter in Oxisols of the Brazilian *Cerrados*. In: THOMAS, R. e AYARZA, M. A. (Eds.) **Sustainable Land Management for the Oxisols of the Latin American savannas: Dynamics of Soil Organic Matter and Indicators of Soil Quality**. Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), 1999. Cap. 8, p. 89-109.

OLIVEIRA, J. B. **Mapa Pedológico do Estado de São Paulo: legenda expandida**. Campinas/Rio de Janeiro: IAC/EMBRAPA, 1999. 64p.

OLIVEIRA, J. B. **Solos do Estado de São Paulo: descrição das classes registradas no mapa pedológico**. Campinas: IAC, 1999. 108 p.

OLIVEIRA, R. E. **Aspectos da dinâmica de um fragmento florestal em Piracicaba, SP: silvigênese e ciclagem de nutrientes**. 1997. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1997.

OLSON, J. S. Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. **Ecology**, v. 44, n. 2, p. 322-331, 1963.

PAUL, K. I.; POLGLASE, P.J.; RICHARDS, G.P. Predicted change in soil carbon following afforestation or reforestation, and analysis of controlling factors by linking a C accounting model (CAMFor) to models of forest growth (3PG), litter decomposition (GENDEC) and soil c turnover (RothC). **Forest Ecology and Management**, n. 177, p. 485–501, 2003.

PERCIVAL, H. J., PARFITT, R. L., SCOTT, N. A. Factors controlling soil carbon levels in New Zealand Grasslands: is clay content important?. **Soil Science Society of American Journal**, v, 64, p. 1623-1630, 2000.

PEREIRA-SILVA, E. F. L. **Composição florística, estrutura fitossociológica e conteúdo de nitrogênio foliar em cerradão, Luís Antônio, SP**. 2003. 107 f. Dissertação (Mestrado) - Centro de Ciências Biológicas e da Saúde da Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, SP. Disponível em <<http://www.lapa.ufscar.br>> Aceso em 12 jul 2004.

1PLANTE, A. F.; CONANT, R. T.; STEWART, C. E.; PAUSTIAN, K.; SIX, J. Impact of soil texture on the distribution of soil organic matter in physical and chemical fractions. **Soil Science Society of American Journal**, v. 70, p. 287-296, 2006.

POGGIANI, F. Nutrient cycling in *Eucalyptus* and *Pinus* plantation ecosystems, silvicultural implications. In: WORKSHOP ON BIOGEOCHEMISTRY OF TROPICAL RAIN FORESTS: PROBLEMS FOR RESEARCH, 1985, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: WWF-US/D-LPF/USP-CENA, 1985, p. 39-46.

POIRIER, N.; DERENNE, S.; BALESDENT, J.; ROUZAUD, J. N.; MARIOTTI, A.; LARGEAU, C. Abundance and composition of the refractory organic fraction of an ancient, tropical soil (Pointe Noire, Congo). **Organic Geochemistry**, v. 33, pg. 383-391, 2002.

POTVIN, C. ANOVA: Experiments in controlled environments. In: SCHEINER, S. M.; GUREVITCH, J. (Eds.) **Design and Analysis of Ecological Experiments**. Nex York: Champan & Hall, 1993. Cap 3. p. 46-68.

PRADO, H. **Manual de classificação de solos do Brasil**. 2ªed. Jaboticabal: FUNEP, 1995. 197 p.

PRADO, H. **Os solos do Estado de São Paulo**. Mapas Pedológicos. Piracicaba: H. do Prado, 1997. 205 p.

PRIMAVESI, A. A matéria orgânica. In: ____ **Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais**. São Paulo: Nobel, 2002. Cap. 5, p. 108-138.

RAIJ, B.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; VAN QUAGGIO, J. A. **Análises química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônômico de Campinas (IAC), 2001. 285p.

RATTER, J. A.; BRIDGEWATER, S.; ATKINSON, R.; RIBEIRO, J. F. Analysis of the floristic composition of the Brazilian Cerrado vegetation ii: comparison of the woody vegetation of 98 areas. **Edinburg Journal of Botany**, v. 53, n. 2, p. 153-180, 1996.

RIGOBELLO, E. C.; NAHAS, E. Seasonal fluctuations of bacterial population and microbial activity in soils cultivated with *Eucalyptus* and *Pinus*. **Sciencia Agrícola**, Piracicaba, v. 61, n. 1, p. 88-93, 2004.

ROCHA, H. R.; FREITAS, C. H.; ROSOLEM, R.; JUAREZ, R. I. N.; TANNUS, R. N.; LIGO M. A.; CABRAL, O. M. R.; SILVA DIAS, M. A. F. Measurements of CO exchange over a Woodland Savanna (Cerrado *sensu stricto*) in Southeast Brazil. **Biota Neotropica**, v. 2, n. 1, p. 1-11, 2002.

ROSS, M. S.; COULTAS, C. L.; HSIEH, Y. P. Soil productivity relationships and organic matter turnover in Dry Tropical Forest of the Florida Keys. **Plant and Soil**, v. 253, p. 479-492, 2003.

SANTOS, J. E.; PIRES, A. M. Z. C. R., PIRES, J. S. R. **Caracterização ambiental de uma unidade de conservação**. Estação ecológica de Jataí, Luiz Antônio, SP. Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2000.

SÃO PAULO (Estado): Mapa Topográfico de São Paulo. São Paulo: IBGE, 1984. Escala 1:50.000.

SÃO PAULO (Estado). Mapa Topográfico de São Paulo. São Paulo: IBGE, 1984. Escala 1:50.000.

SBS. (Sociedade Brasileira de Silvicultura). Dados sócio-econômicos: Setor Florestal Brasileiro [on-line]. 2001

Disponível em: <http://www.sbs.org.br/setor_florestal.html> Acesso em 04 nov. 2006.

SCHIMEL, D. S.; HOUSE, J. I.; HIBBARD, K. A.; BOUSKET, P.; CIAIS, P.; PEYLIN, P.; BRASWELL, B. H.; APPS, M. J.; BAKER, D.; BONDEAU, A.; CANADELL, J.; CHURKINA, G.; CRAMER, W.; DENNING, A. S.; FIELD, C. B.; FRIEDLINGSTEIN, P.; GOODALE, C.; HEIMANN, M.; HOUGHTON, R. A.; MELILLO, J. M.; MOORE III, B.; MURDIYARDO, D.; NOBLE, I.; PACALA, S. W.; PRENTICE, I. J.; RAUPACH, M. R.; RAYNER, P. J.; SCHOLES, R. J.; STEFFEN, W. L. e WIRTH, C. Recent patterns and mechanisms of carbon exchange by terrestrial ecosystems. **Nature**, v. 414, p. 169-172, 2002.

SCHOLES, R. J.; NOBLE, I. R. Climatic change: storing carbon on land. **Science**, v. 294, n. 5544, p. 1012-1013, 2001.

SCHWENDENMANN, L.; PENDALL, E. Effects of forest conversion into grassland on soil aggregate structure and carbon storage in Panama: evidence from soil carbon fractionation and stable isotopes. **Plant Soil**, n. 232, p. 288:217, 2006.

SILVA, J. E.; RESK, D. V. S. Matéria orgânica do solo. In: VARGAS, M. A. T. & HUNGRIA, M. **Biologia dos solos dos cerrados**. Planaltina: Embrapa – CPAC, 1997. Cap.9, p.467-524.

SILVA, P. H. M. **Produção de Madeira, ciclagem de nutrientes e fertilidade do solo em plantios de *Eucalyptus grandis*, após aplicação de lodo de esgoto**. 2006. 117 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2006.

SILVEIRA-LOPES, M. I. M; GARRIDO, M. A. O.; MELLO, F. A. F. Influência do cultivo de *Pinus* sobre a manta orgânica e propriedades químicas em um Latossolo Vermelho Escuro primitivamente sob a vegetação de cerrado. II. Efeitos sobre o pH e teores de H⁺ e Al⁺⁺⁺ do solo. **Silvicultura em São Paulo**, n. 17/19, p. 25-29, 1983/85.

SINBIOTA Sistema de Informação Ambiental do Biota. **Informações ambientais**. São Paulo: Biota, 1999.

Disponível em: <<http://sinbiota.cria.org.br>> Acesso em 02 jun. 2004.

SIX, J.; FELLER, C.; DENEFF, K.; OGLE, S. M.; MORAES, J. C.; ALBRECHT, A. Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils – Effects of No-Tillage. **Agronomie**, n. 22, p. 755–775, 2002.

SMITH, C. K.; OLIVEIRA, F. A.; GHOLZ, H. L.; BAIMA, A. Soil carbon stocks after forest conversion to tree plantations in Lowland Amazonia, Brazil. **Forest Ecology and Management**, n. 164, p. 257-263, 2002.

SOAVE, R. C. F.; PAGANO, S. N. Aspectos da ciclagem de nutrientes em povoamentos de *Pinus elliottii* Engelm. Var. *elliottii* empregando-se diferentes intensidades de resinagem. I - Produção de serapiheira. II - Nutrientes minerais na serapiheira. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, v. 37, n. 3, p. 703-721, 1994.

SOIL SURVEY STAFF. **Keys to Soil Taxonomy**. USDA. University Press of the Pacific, Honolulu, 2005.

SOKAL, R. R.; ROHLF F. J. **Biometry**. 2 ed. San Francisco: W H Freeman & Co., 1981.

SOMBROEK, W. G.; NACHTERGAELE, F. ° P. P.; HEBEL, A. Amounts, dynamics and sequestering of carbon in tropical and subtropical soils. **Ambio**, v. 22, n. 7, p. 417-426, 1993.

TAN, Z. X.; LAL, R.; SMECK, N. E.; CALHOUN, F. G. Relationships between surface soil organic carbon pool and site variables. **Geoderma**, v. 121, n. 3-4, p. 187-185, 2004.

TANG, C. Q.; HOU, X.; GAO, K.; XIA, T.; DUAN, C.; FU, D. Man-made versus natural forests in Mid-Yunnan, Southwestern China: plant diversity and initial data on water and soil conservation. **Mountain Research and Development**, v. 27, n. 3, p. 242-249, 2007.

TAVARES, A. A.; BISPO, P. C.; ZANZINI, A. S. C. Comunidades de formigas epigéicas (Hymenoptera, Formicidae) em áreas de *Eucalyptus cloeziana* F. Muell. e de vegetação nativa numa região de cerrado. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 45, n. 3, p. 251-256, 2001.

TAYLOR, B. R.; PARKINSON, D.; PARSONS, W. F. J. Nitrogen and lignin content as predictors of litter decay rates: a microcosm test. **Ecology**, v. 70, n. 1, pg. 97-104, 1989.

TELLES, E.C.C.; CAMARGO, P. B.; MARTINELLI, L. A.; TRUMBORE, S. E.; COSTA, E. S.; SANTOS, J. HIGUCHI, N.; OLIVEIRA, R. C. Influence of soil texture on carbon dynamics and storage potential in tropical forests soils of Amazonia. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 17, n. 2, p. 9-1, 2003.

TIESSEN, H.; MENEZES, R. S. C.; SALCEDO, I. H. e WICK, B. Organic matter transformations and soil fertility in a treed pasture in semiarid NE Brazil. **Plant & Soil** v. 252, p. 195-205, 2003.

TOLEDO-FILHO, D. V. **Composição florística e estrutura da vegetação de cerrado no município de Luiz Antônio (SP)**. 1984. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1984.

TORN, M. S.; TRUMBORE, S. E.; CHADWICK, O. A.; VITOUSEK, P. M.; HENDRICKS, D. M. Mineral control of soil organic carbon storage and turnover. **Nature**, v.389, p. 170-173, 1997.

TRUMBORE, S. E.; DAVIDSON, E. A.; CAMARGO, P. B.; NEPSTAD, D. C.; MARTINELLI, L. A. Belowground cycling of carbon in forests and pastures of Eastern Amazonia. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 9, n. 4, p. 515-528, 1995.

UNFCCC United Nations Framework Convention on Climate Change Handbook. Bonn, Germany: Intergovernmental and Legal Affairs, Climate Change Secretariat, 2006.

Disponível em: <<http://unfccc.int/resource/docs/publications/handbook.pdf>> Acesso em: 10 nov. 2007.

VALLEJO, L. Z.; FONSECA, C. L.; GONÇALVES, D. R. P. Estudo comparativo da mesofauna do solo entre áreas de *Eucalyptus citriodora* e mata secundária heterogênea. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 47, n. 3, p. 363-370, 1987.

VITAL, A. R. T., GUERINI, I. A., FRANKEN, W. K., FONSECA, R. C. B. Produção de serapilheira e ciclagem de nutrientes da uma floresta estacional semidecidual em zona ripária. **Revista. Árvore**, v.28, n.6, 2004.

VOURLITIS, G. L.; PRIANTE FILHO, N.; HAYASHI, M. M. S.; NOGUEIRA, J. DE S.; CASEIRO, F. T.; HOLANDA CAMPELO JR., J. Seasonal variations in the net ecosystem CO₂ exchange of a mature Amazonian Transitional Tropical Forest (cerradão). **Functional Ecology**, v. 15, p. 388-395, 2001.

WALTER, H. **Vegetação e zonas climáticas**: tratado de ecologia global. São Paulo: EPU (Editora Pedagógica e Universitária Ltda.), 1986, 325 p.

WILCKE, W.; LILIENFEIN, J. Biogeochemical consequences of the transformation of native Cerrado into *Pinus caribaea* plantations in Brazil. **Plant and Soil**, v. 238, p. 175-189, 2002.

WILCKE, W.; LILIENFEIN, J. Soil Carbon-13 Natural abundance under native and managed vegetation in Brazil. **Soil Science Society of America Journal**, v. 68, p. 827-832, 2004.

WOODBURY, P. R.; HEATH, L. S.; SMITH, J. E. Land use change effects on forest carbon cycling throughout the Southern United States. **Journal of Environmental Quality**, v. 35, p. 1348-1363, 2006.

YANAI, J.; MISHIMA, A.; FUNAKAWA, S.; AKSHALOV, K.; KOSAKI, T. Spatial variability of organic matter dynamics in the Semi-Arid Croplands of Northern Kazakhstan. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 51, n. 2, p. 261-269, 2005.

YOUNG, A. **Tropical soils and survey**. Nova Iorque: Cambridge University Press, 1976, 468 p.

ZINN, Y. L.; RESCK, V. S.; SILVA J. E. Soil organic carbon as affected by afforestation with *Eucalyptus* and *Pinus* in the Cerrado region of Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 166, p. 285-294, 2002.

ZINN, Y. L.; LAL, R.; RESCK, D. Texture and organic carbon relations described by a profile pedotransfer function for Brazilian Cerrado Soils. **Geoderma**, v. 127, p. 168-173, 2005.