

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA - UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS - CAV
DEPARTAMENTO DE SOLOS – DS
PROGRAMA DE MESTRADO EM AGRONOMIA
CURSO DE MESTRADO EM CIÊNCIA DO SOLO

**CARBONO ORGÂNICO E ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO EM ÁREAS
FLORESTAIS NO PLANALTO DOS CAMPOS GERAIS, SC**

SULAMITA DE FÁTIMA FIGUEIREDO GUEDES

LAGES – SC
ABRIL – 2005

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA - UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS - CAV
DEPARTAMENTO DE SOLOS – DS
PROGRAMA DE MESTRADO EM AGRONOMIA
CURSO DE MESTRADO EM CIÊNCIA DO SOLO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Mestranda: SULAMITA DE FÁTIMA FIGUEIREDO GUEDES - Bióloga

Orientador: Prof. Dr. ÁLVARO LUIZ MAFRA

**CARBONO ORGÂNICO E ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO EM ÁREAS
FLORESTAIS NO PLANALTO DOS CAMPOS GERAIS, SC**

**Dissertação apresentada à Universidade
do Estado de Santa Catarina – Centro de
Ciências Agroveterinárias como requisito
parcial para a obtenção do título de
Mestre em Ciência do Solo.**

LAGES - SC
ABRIL – 2005

Ficha catalográfica elaborada pela Bibliotecária
Renata Weingärtner Rosa – CRB 228/14ª Região
(Biblioteca Setorial do CAV/UDESC)

Guedes, Sulamita de Fátima Figueiredo

Carbono orgânico e atributos químicos do solo em
áreas florestais no Planalto dos Campos Gerais, SC / –
Lages, 2005.

47 p.

Dissertação (mestrado) – Centro de Ciências
Agroveterinárias / UDESC.

1. Acidez do solo. 2. Ciclagem de nutrientes.
3. Estoque de carbono. 4. Efeito estufa. I. Título.

SULAMITA DE FÁTIMA FIGUEIREDO GUEDES
Bióloga

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS – CAV
CURSO DE MESTRADO EM CIÊNCIA DO SOLO

CARBONO ORGÂNICO E ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO EM ÁREAS
FLORESTAIS NO PLANALTO DOS CAMPOS GERAIS,SC

Dissertação apresentada como um dos requisitos à obtenção do Grau de

MESTRE EM CIÊNCIA DO SOLO

Aprovado em:
Pela banca examinadora

Álvaro Luiz Mafra, Dr. - UDESC

Osmar Klauberg Filho, Dr. - UDESC

Jaime Antonio de Almeida, Dr. - UDESC

Sandra Beatriz Vicenci Fernandes
Dr.^a. – UNIJUÍ – Ijuí, RS

Homologado em:
Por

Jaime Antonio de Almeida, Dr:
Coordenador do Programa de Mestrado
em Agronomia, Coordenador Técnico do
Curso de Mestrado em Ciência do Solo.

Paulo Cesar Cassol, Dr.
Diretor Geral do Centro de Ciências
Agroveterinárias

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida, pelo caminho iluminado que me proporcionou, possibilitando que eu chegasse até aqui.

À Florestal Gateados, pela concessão da área experimental e apoio nos trabalhos de campo, em especial ao Sr. Valdir Diehl Ribeiro, pelo exemplo de trabalho e dedicação ao manejo florestal.

Ao meu querido orientador professor Mafra, pela orientação, compreensão, dedicação além de sua amizade e companheirismo.

À minha família pelo apoio e compreensão e perdão pelos momentos ausentes.

Aos professores do Curso de Mestrado, pelo ensino, auxílio e dedicação prestados, em especial a professora Márcia pela ajuda nos piores momentos.

Em especial ao professor Jaime pelo ensino, pela convivência e amizade. Também pelo auxílio e orientação nas decisões a serem tomadas.

Aos bolsistas e amigos Jaqueline Dalla Rosa e João Carlos Medeiros (Departamento de Solos CAV/UEDESC) pelo auxílio na condução do trabalho no campo e na realização das análises em laboratório.

Aos colegas do curso pelas horas de estudos, convivência e amizade. Impossível citar o nome de todos. Muito obrigado!

À Secretaria da Educação do Estado de Santa Catarina, pelo auxílio financeiro e oportunidade.

Ao CAV/UEDESC, em particular ao Departamento de Solos, pela oportunidade de realização deste curso.

À professora Sandra que gentilmente concordou em ser membro da banca desta dissertação e demais componentes pelas sugestões proferidas.

Por fim, a todas as pessoas que de alguma maneira colaboraram para a realização deste trabalho. Muito Obrigado!

CARBONO ORGÂNICO E ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO EM ÁREAS FLORESTAIS NO PLANALTO DOS CAMPOS GERAIS, SC

RESUMO

Autora: Bióloga Sulamita de Fátima Figueiredo Guedes

Orientador: Prof. Dr. Álvaro Luiz Mafra

As florestas representam uma forma conservacionista de uso das terras, em crescente expansão na região do Planalto Catarinense, especialmente o reflorestamento de pinus. O objetivo do estudo foi avaliar os teores de carbono orgânico e os atributos químicos do solo em áreas florestais. O estudo foi conduzido em Campo Belo do Sul, SC, num Nitossolo Háptico, originado de riodacito. Os sistemas de uso da terra analisados foram: Campo nativo (CN); Floresta de pinus (*Pinus taeda*) com 12 anos (P12); Floresta de pinus com 20 anos (P20); Reflorestamento de araucária com 18 anos (A18); e Mata nativa de araucária (MA). Os teores de carbono orgânico total, particulado e a composição química do solo foram analisados nas camadas de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm, com oito repetições. Os estoques de carbono foram calculados considerando a densidade do solo em cada camada. Os teores de carbono orgânico total no solo variaram de 23 a 56 g kg⁻¹, concentrando-se na camada superficial (0-5 cm), especialmente na MA e CN em relação aos demais sistemas. O carbono orgânico particulado contribuiu com 0,5 a 5,1% do carbono total, com variações em profundidade. A maior parte do carbono está presente na fração coloidal, associado aos constituintes minerais. Os estoques de carbono orgânico na camada de 0-40 cm de profundidade totalizaram de 12,5 a 14,2 kg m⁻². Os reflorestamentos de pinus e araucária mostraram-se eficientes no armazenamento de C orgânico no solo, mantendo os estoques deste elemento na camada de 0-40 cm de profundidade em níveis equivalentes aos ambientes naturais de mata e campo. A acidez do solo, assim como os teores de Al trocável, foram em geral maiores nas áreas de CN e nos reflorestamentos de pinus, em relação à mata nativa. No A18 a calagem utilizada antes da implantação da floresta reduziu a acidez do solo. Os teores de fósforo extraível e de potássio, cálcio e magnésio trocáveis do solo foram baixos a médios nesses solos, com variações entre os sistemas, e com decréscimo em profundidade. O uso do solo em áreas florestais e sob campo nativo influenciou a dinâmica da matéria orgânica e a composição química do solo, especialmente na camada superficial, o que pode ser relacionado com a absorção de nutrientes pelas plantas e com a deposição de serapilheira.

SOIL ORGANIC CARBON AND CHEMICAL ATTRIBUTES IN FOREST AREAS IN THE CAMPOS GERAIS HIGHLAND, SC

ABSTRACT

Author: Sulamita de Fátima Figueiredo Guedes, Biologist

Adviser: Prof. Dr. Álvaro Luiz Mafra

Forests are a conservationist form of land use, with increasing expansion in Santa Catarina highland areas, especially including pine reforestation. The objective of this work was to evaluate organic carbon contents and soil chemical attributes in forest areas. The study was carried out in Campo Belo do Sul, SC, southern Brazil, in a Haplic Nitosol, originated from rhyodacite. The land use systems were as follow: native grassland (NG); loblolly pine (*Pinus taeda*) reforestation with 12 years (P12); loblolly pine reforestation with 20 years (P20); araucaria (*Araucaria angustifolia*) reforestation with 18 years (A18); and native forest with araucaria (NF). The contents of total and particulate organic carbon and the chemical composition of the soil were analyzed in the layers of 0-5; 5-10; 10-20 and 20-40 cm, with eight repetitions. The soil carbon stocks were calculated considering bulk density in each layer. The contents of total organic carbon in the soil ranged from 23 to 56 g kg⁻¹, concentrated in the superficial layer (0-5 cm), especially in the NF and NG in relation to the other systems. The particulate organic carbon contributed with 0.5 to 5.1% of the total carbon, with variations in the soil profile. Most of this element was present in the colloidal fraction, associated to mineral components. The stocks of organic carbon in the layer of 0-40 cm depth totalized 12.5 to 14.2 kg m⁻². The pine and araucaria reforestations were efficient in conserving soil organic C status, maintaining the stocks of this element in the layer of 0-40 cm depth in equivalent levels to the natural areas with forest and grassland vegetation. The acidity of the soil as well as exchangeable Al contents was generally higher in areas under native grassland and pine reforestations, than under native forest. In the araucaria reforestation soil liming used before the implantation of the forest reduced soil acidity. The extracted phosphorus and exchangeable potassium, calcium and magnesium soil contents were low to medium in this soil, with variations among the systems, and decreasing in depth. Land use with forests and natural grasslands influenced organic matter dynamics and soil chemical composition, especially in the superficial layer, what can be related with nutrient uptake by plants and with litter deposition.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE FIGURAS	ix
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Hipóteses	2
1.2. Objetivos	2
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. Uso dos solos em áreas florestais	3
2.2. Ciclagem de carbono e nutrientes no sistema solo-planta	4
2.3. Dinâmica do carbono no solo e efeito estufa	9
3. MATERIAL E MÉTODOS	13
3.1. Localização e caracterização da área experimental	13
3.2. Tratamento e histórico das áreas	13
3.3. Amostragens e avaliações	15
3.4. Análise estatística	18
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	19
4.1. Carbono orgânico do solo	19
4.2. pH do solo e nutrientes	28
5. CONCLUSÕES	38
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39
ANEXO 1: Resultados analíticos obtidos	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Teor de argila no solo submetido a diferentes usos, em diferentes profundidades, Campo Belo do Sul, SC (média de 8 repetições)	17
Tabela 2. Coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis analisadas em todas as camadas analisadas em conjunto, em Campo Belo do Sul, SC (n=160)	26

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Localização da área experimental na Empresa Florestal Gateados, no município de Campo Belo do Sul, SC, com identificação dos tratamentos analisados 14
- Figura 2.** Aspectos das áreas amostradas: Campo nativo (a); Mata nativa (b); Reflorestamento de pinus com 12 anos (P12) e 20 anos (P20) de idade (c); e Reflorestamento de araucária (d); Amostragem de solo em trincheiras (e). 16
- Figura 3.** Teores de carbono orgânico total no solo em função dos sistemas de uso do solo nas camadas de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm de profundidade, em Campo Belo do Sul, SC, (Média de oito repetições). CN = campo nativo; P12 = pinus com 12 anos de idade; P20 = pinus com 20 anos de idade; A18 = reflorestamento de araucária com 18 anos de idade e MA = mata nativa com araucária. Médias seguidas pela mesma letra, não diferem significativamente pelo teste de Duncan a 5%: letras minúsculas comparam camadas dentro de cada sistema, e letras maiúsculas comparam médias dos sistemas nas quatro camadas 20
- Figura 4.** Relação entre os teores de argila e carbono orgânico do solo nos diferentes usos da terra analisados (Média de oito repetições) 22
- Figura 5.** Estoques de carbono orgânico total no solo em função dos sistemas de uso do solo nas camadas de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm de profundidade, em Campo Belo do Sul, SC, considerando a densidade do solo (Média de oito repetições). CN = campo nativo; P12 = pinus com 12 anos de idade; P20 = pinus com 20 anos de idade; A18 = reflorestamento de araucária com 18 anos de idade e MA = mata nativa com araucária. Médias seguidas pela mesma letra, não diferem significativamente pelo teste de Duncan a 5%: letras minúsculas comparam camadas dentro de cada sistema, e letras maiúsculas comparam médias dos sistemas nas quatro camadas 23
- Figura 6.** Relação entre carbono orgânico e densidade do solo nos diferentes usos da terra analisados (média de oito repetições) 25
- Figura 7.** Teores de carbono orgânico particulado no solo (a) e carbono orgânico associado aos minerais (b) em função dos sistemas de uso do solo nas camadas de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm de profundidade, em Campo Belo do Sul, SC, (Média de oito repetições). CN = campo nativo; P12 = pinus com 12 anos de idade; P20 = pinus com 20 anos de idade; A18 = reflorestamento de araucária com 18 anos de idade e MA = mata nativa com araucária. Médias seguidas pela mesma letra, não diferem significativamente pelo teste de Duncan a 5%: letras minúsculas comparam camadas dentro de cada sistema, e letras maiúsculas comparam médias dos sistemas nas quatro camadas 27

Figura 8. Valores de pH em água (a) e pH em CaCl_2 (b) em função dos sistemas de uso do solo nas camadas de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm de profundidade, em Campo Belo do Sul, SC, (Média de oito repetições). CN = campo nativo; P12 = pinus com 12 anos de idade; P20 = pinus com 20 anos de idade; A18 = reflorestamento de araucária com 18 anos de idade e MA = mata nativa com araucária. Médias seguidas pela mesma letra, não diferem significativamente pelo teste de Duncan a 5%: letras minúsculas comparam camadas dentro de cada sistema, e letras maiúsculas comparam médias dos sistemas nas quatro camadas 29

Figura 9. Valores de pH SMP (a) e alumínio trocável (b) em função dos sistemas de uso do solo nas camadas de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm de profundidade, em Campo Belo do Sul, SC, (Média de oito repetições). CN = campo nativo; P12 = pinus com 12 anos de idade; P20 = pinus com 20 anos de idade; A18 = reflorestamento de araucária com 18 anos de idade e MA = mata nativa com araucária. Médias seguidas pela mesma letra, não diferem significativamente pelo teste de Duncan a 5%: letras minúsculas comparam camadas dentro de cada sistema, e letras maiúsculas comparam médias dos sistemas nas quatro camadas 31

Figura 10. Teores de Fósforo (a) e Potássio (b) submetidos a diferentes usos do solo, nas camadas de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm de profundidade, em Campo Belo do Sul, SC, (Média de oito repetições). CN = campo nativo; P12 = pinus com 12 anos de idade; P20 = pinus com 20 anos de idade; A18 = reflorestamento de araucária com 18 anos de idade e MA = mata nativa com araucária. Médias seguidas pela mesma letra, não diferem significativamente pelo teste de Duncan a 5%: letras minúsculas comparam camadas dentro de cada sistema, e letras maiúsculas comparam médias dos sistemas nas quatro camadas 33

Figura 11. Teores de Cálcio (a) e Magnésio (b) em diferentes usos do solo, nas camadas de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm de profundidade, em Campo Belo do Sul, SC, (Média de oito repetições). CN = campo nativo; P12 = pinus com 12 anos de idade; P20 = pinus com 20 anos de idade; A18 = reflorestamento de araucária com 18 anos de idade e MA = mata nativa com araucária. Médias seguidas pela mesma letra, não diferem significativamente pelo teste de Duncan a 5%: letras minúsculas comparam camadas dentro de cada sistema, e letras maiúsculas comparam médias dos sistemas nas quatro camadas 35

1. INTRODUÇÃO

O plantio de espécies florestais como o pinus, para produção de madeira e celulose, é uma das atividades agroflorestais que mais tem crescido nos últimos anos na região do Planalto Sul Catarinense. Entre as espécies nativas, tem-se dado ênfase à araucária, que pode apresentar rápido crescimento em condições favoráveis, assemelhando-se a espécies exóticas, como pinus.

A expansão dos reflorestamentos na região sul do Brasil normalmente ocorre em áreas de campos naturais, reduzindo sua ocorrência, o que, do ponto de vista ambiental, pode ameaçar a conservação da riqueza em termos de biodiversidade destes ecossistemas. Além disso, essas alterações no uso da terra têm estreita relação com a dinâmica da matéria orgânica e com o ciclo geoquímico dos elementos no sistema solo-planta, modificando a capacidade produtiva desses ambientes, naturalmente ligados a condições de solos ácidos e deficientes em nutrientes.

Outro aspecto a se considerar é a influência das atividades humanas sobre a emissão de gases que causam o efeito estufa, notadamente com o aumento da concentração de gás carbônico na atmosfera, que tem sido apontado como um dos principais responsáveis pelo acréscimo da temperatura do planeta. Neste sentido, uma das soluções viáveis para a redução desse processo é o armazenamento do carbono em solos agrícolas e florestais, que compreendem o maior reservatório terrestre deste elemento.

Dessa forma, há um crescente interesse no estudo do comportamento dos solos quanto à sua capacidade de armazenar carbono e nutrientes, em resposta às diversas condições de manejo adotadas. A avaliação dessas mudanças seria uma ferramenta para compreender alterações no ambiente advindas do reflorestamento, levando-se em conta um conceito amplo de manejo florestal e aspectos de recuperação do solo, de regularização de vazão de rios e de amenização climática, além dos ganhos econômicos com a produção de madeira de forma harmoniosa com a natureza.

A preocupação com a dinâmica do carbono e nutrientes no solo pode ser destacada no cenário regional do Planalto Catarinense, pela grande expansão da área reflorestada com pinus e outras espécies. Apesar do potencial florestal e da expansão do cultivo de pinus nessa região, pouco se conhece sobre a influência dessa forma de uso da terra sobre o solo. Assim, busca-se estabelecer uma relação entre as práticas florestais e o comportamento dos componentes orgânicos e minerais do solo, que estariam diretamente ligados a processos edáficos, como ciclagem de nutrientes, agregação do solo, armazenamento da água, entre outros, que influenciariam diretamente a produção vegetal.

1.1. Hipóteses

Como hipóteses, o presente estudo considera que as mudanças no uso do solo podem afetar seu equilíbrio ecológico, o que seria refletido na ciclagem do carbono orgânico e dos nutrientes. Além disso, algumas frações da matéria orgânica poderiam ser utilizadas como bioindicadores dessas alterações.

1.2. Objetivos

Em face disso, o presente estudo teve por objetivo quantificar as modificações nos estoques de carbono orgânico e caracterizar a composição química do solo em diferentes profundidades, quando submetido a diferentes usos florestais.

Os objetivos específicos são os seguintes:

- Avaliar as concentrações e estoques de carbono orgânico em diferentes camadas do solo sob uso florestal e sua relação com a capacidade de armazenamento deste elemento no ambiente, como contribuição para minimizar o efeito estufa na atmosfera;
- Efetuar o fracionamento físico do carbono orgânico no solo, relacionando-o às formas de vegetação presentes no local;
- Analisar a composição química do solo em termos de nutrientes, alumínio trocável e pH como indicativos da influência da vegetação sobre o solo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Uso dos solos em áreas florestais

O Brasil constitui atualmente o maior produtor mundial de madeiras tropicais, sendo que as florestas plantadas, formadas predominantemente por pinus e eucalipto, representam aproximadamente 1% da cobertura florestal, com cerca de cinco milhões de hectares. Deve-se também ressaltar que o reflorestamento representa uma estratégia de conservação dos ecossistemas naturais, evitando a pressão exercida sobre as florestas nativas (Scarpinella, 2002).

O plantio de espécies florestais para produção de madeira e celulose é uma das atividades agropecuárias que mais tem crescido nos últimos anos na região do Planalto Sul Catarinense. Conforme levantamento realizado na região, a área reflorestada é estimada em cerca de 226 mil hectares, considerando plantios de pinus com mais de cinco anos de idade (226 MIL, 2004). Deste total, as formas de cultivos principais correspondem a povoamentos de pinus, basicamente de *Pinus taeda* e *P. elliottii*, os quais são plantados na densidade de 2000 a 2600 árvores por hectare e sofrem dois a cinco desbastes, com corte final aos 25-30 anos de cerca de 250 árvores por hectare, dependendo da utilidade e uso da madeira (Valeri et al., 1989).

Entre as espécies nativas, tem-se dado ênfase à araucária, que está ameaçada de extinção desde a primeira metade do século passado em virtude da exploração irracional. Um dos aspectos mais problemáticos desta espécie para reflorestamento é devido a sua exigência ambiental. Observa-se na área de ocorrência natural desta espécie, que somente 25% desses locais apresentariam condições economicamente vantajosas para o seu cultivo (INSTITUTO, 1971). Tem-se verificado, no entanto, que em locais onde esta espécie apresenta rápido crescimento, os custos de implantação e o incremento volumétrico por hectare, assemelham-se aos do pinus (Scheeren et al., 2000).

A expansão dos reflorestamentos na região sul do Brasil normalmente ocorre em áreas de campos naturais. Ressalta-se que esta forma de vegetação constitui-se num dos

ecossistemas com maior biodiversidade em termos de forrageiras, com aproximadamente 800 espécies de gramíneas e 200 de leguminosas, sem contar inúmeras outras herbáceas, principalmente das famílias Compositae e Cyperaceae (Nabinger et al., 2000).

Apesar das alterações ecológicas advindas da introdução dos monocultivos de pinus na região, deve-se considerar que as espécies florestais de crescimento rápido utilizadas em reflorestamentos apresentam ótima adaptação edafoclimática, podendo alcançar produções superiores a $50 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (Barros e Comerford, 2002). Além disso, essas árvores têm ampla gama de utilização, o que pode diminuir a pressão pela exploração de matérias-primas provenientes das florestas nativas, contribuindo na conservação destas áreas (Ferraz e Motta, 2000).

2.2. Ciclagem de carbono e nutrientes no sistema solo-planta

Em termos de composição química, a constituição dos seres vivos é formada em grande parte por carbono. As plantas, por exemplo, quando descontada a água, possuem aproximadamente 50% do seu peso composto por este elemento, o qual é essencial à vida no planeta e encontra-se distribuído na natureza em vários reservatórios, sendo os principais os oceanos, a atmosfera, a biosfera e a pedosfera. O solo constitui a principal reserva de carbono nos ecossistemas terrestres, contendo em média, 2,5 vezes mais do elemento que a vegetação (= 600 Pg) e duas vezes mais do que a atmosfera (= 750 Pg), o que equivale a um total de 1.200 a 1.600 Pg na camada de 0 a 100 cm de profundidade (Batjes, 1998).

Dessa maneira, ressalta-se que as quantidades de carbono no solo variam grandemente entre as regiões edafoclimáticas, sendo influenciadas especialmente pela umidade, temperatura e por fatores como mineralogia e granulometria do solo. Os estoques deste elemento na camada de 0 a 100 cm de profundidade têm valores de cerca de 4 kg m^{-2} em regiões áridas, atingindo até 26 kg m^{-2} nas regiões temperadas, sob florestas de coníferas. Os solos das regiões tropicais úmidas sob floresta apresentam valores intermediários, em torno de 13 kg m^{-2} (Batjes, 1996). A maior parte deste elemento concentra-se próximo à superfície em virtude da contínua adição de resíduos orgânicos pela vegetação.

A origem do carbono no solo está ligada à produtividade primária dos ecossistemas, a qual está relacionada diretamente com a sua absorção pelas plantas, via processo de fotossíntese, regulado principalmente pela intensidade de luz e pelo regime hídrico interno

da planta. A produtividade primária de um sistema ecológico pode ser definida como sendo a taxa na qual a energia radiante é convertida pela atividade fotossintética e quimiossintética de organismos produtores em substâncias orgânicas. A produtividade primária bruta representa a taxa global de fotossíntese, incluindo a matéria orgânica usada na respiração durante o período de medição, também chamada de fotossíntese total ou assimilação total. Já a produtividade primária líquida, é a taxa de armazenamento de matéria orgânica nos tecidos vegetais, desconsiderando a respiração pelas plantas durante o período de medição (Larcher, 1986). Dessa forma, as plantas são as principais responsáveis pela adição de compostos orgânicos primários ao solo, os quais são decompostos pelos microrganismos, que obtêm energia para o seu desenvolvimento, liberando CO_2 para atmosfera, nutrientes e compostos orgânicos secundários, em vários estágios de decomposição que compõem a matéria orgânica do solo.

Pelo exposto, compreende-se que a matéria orgânica do solo relaciona-se com o equilíbrio no ciclo do carbono, representando componente essencial em diversos processos químicos, físicos e biológicos nos ecossistemas terrestres. Do ponto de vista do solo, diversos trabalhos têm ressaltado as funções desse elemento na manutenção e melhoria de atributos edáficos e na sustentabilidade dos sistemas naturais e agrícolas (Baldock e Nelson, 2000). Recentemente, seu comportamento no ambiente tem atraído grande interesse devido ao fenômeno do aquecimento global e à perspectiva de se utilizar o solo como reservatório de carbono liberado à atmosfera (CO_2) pela atividade humana (Schlesinger, 1997; Wigley e Schimel, 2000).

Juntamente com o carbono, diversos nutrientes minerais atuam na constituição da biomassa vegetal, influenciando o metabolismo e a capacidade de desenvolvimento da planta, o que torna importante o conhecimento do seu comportamento no solo. A circulação das substâncias nutritivas no ambiente varia com o elemento, a espécie e idade da planta, além de atributos edáficos. Ressalta-se que as espécies florestais normalmente apresentam maior capacidade de ciclagem de nutrientes que as culturas agrícolas de ciclo anual, em virtude do sistema radicular permanente e profundo, que absorve elementos de camadas subsuperficiais, retornando-os à superfície quando da deposição de serapilheira e decomposição da biomassa (Haag, 1985).

A quantidade de serapilheira acumulada nas diferentes formações vegetais é normalmente mais dependente da disponibilidade de recursos do meio, de fatores climáticos e da idade da floresta, do que ao efeito isolado da composição florística da

vegetação. Outro aspecto a considerar é que espécies de rápido crescimento depositam maior quantidade de serapilheira, evidenciando estreita relação com a capacidade de acúmulo de biomassa das árvores (Vogt et al., 1986).

O processo de ciclagem de nutrientes nos ecossistemas florestais pode ser caracterizado em três ciclos: a) ciclo geoquímico que se caracteriza pela entrada de elementos minerais oriundos da decomposição da rocha matriz, pela fixação biológica de nitrogênio, adubações, pelas deposições de poeiras, gases e através da precipitação pluviométrica. A saída dos elementos minerais para fora do ecossistema, ocorre através da erosão, lixiviação, queima (volatilização) e, principalmente, pela exploração florestal; b) ciclo biogeoquímico que ocorre mediante o processo em que a planta, pelo seu sistema radicular, retira os elementos minerais do solo para a produção da biomassa e posteriormente devolve parte destes elementos por meio da queda de resíduos orgânicos, os quais, à medida que vão sendo mineralizados, novamente são absorvidos pelas raízes; e c) ciclo bioquímico que se relaciona com as transferências dos elementos minerais no interior da planta, como a mobilização dos tecidos mais velhos para os mais jovens (Landsberg, 1986).

O suprimento de nutrientes nas formações vegetais desenvolvidas em solos intemperizados é dependente em grande parte da contribuição das substâncias orgânicas, uma vez que a reserva de elementos provenientes dos minerais é reduzida. Brown et al. (1994) relatam que a biomassa compreendendo a parte aérea e raízes das plantas representa cerca de 60 % do total do carbono, quando se considera o solo até a profundidade de 50 cm em ecossistemas florestais tropicais. Para os nutrientes, a referida imobilização na biomassa viva chega a corresponder até cerca de 80 % no caso do K e em torno de 40 % para Ca e Mg.

Assim, quando se elimina a vegetação e expõe-se o solo a cultivos sucessivos com baixo aporte de biomassa, compromete-se a principal fonte de nutrientes que assegura a continuidade do desenvolvimento vegetal. Destaca-se desta forma, a dependência entre a ciclagem de nutrientes e a dinâmica da matéria orgânica do solo (Resende et al., 1995).

Além da importância econômica representada pelas atividades florestais, considera-se também seu papel ecológico, que se constitui numa forma conservacionista de uso das terras, especialmente pela baixa intensidade de revolvimento do solo em relação aos cultivos agrícolas anuais. Entretanto, outras implicações ambientais devem ser consideradas, especialmente do ponto de vista biogeoquímico e hidrológico (Lima, 1996).

Em virtude da importância desses componentes em relação à produtividade dos ecossistemas florestais, recentemente, têm sido desenvolvidos vários estudos sobre relação entre mudanças no uso da terra e armazenamento de carbono e nutrientes no solo nas regiões tropicais (Drumond et al., 1997; Neufeldt et al., 2002) e subtropicais do Brasil (Lima et al., 1995; Feistauer et al., 2004.).

A ciclagem biogeoquímica de nutrientes nas áreas florestais é estimulada pela diversidade de espécies arbóreas, que aproveitam melhor os ambientes edáficos, em termos de habilidades e profundidade de absorção de nutrientes, além de contribuir com maior riqueza de substratos para atividade biológica de decomposição (Larsen, 1995). Os cultivos mistos apresentam menor sazonalidade na deposição da serapilheira e no retorno dos nutrientes ao solo, quando comparados aos monocultivos, reduzindo a possibilidade de perdas (Gama Rodrigues et al., 1999). Outro aspecto importante seria em relação ao suprimento de nitrogênio por leguminosas em cultivos consorciados, como relatado por Vezzani et al. (2001), num estudo com plantios mistos de eucalipto e acácia negra na região da Depressão Central do Rio Grande do Sul, obtendo maior teor de matéria orgânica e nitrogênio total no solo no consórcio em relação ao eucalipto simples.

Entre as práticas de manejo florestal que mais influenciam na dinâmica dos nutrientes no solo destaca-se a colheita, que representa a principal forma de exportação dos elementos nutritivos. Além disso, as alterações no solo advindas da redução da cobertura e da movimentação de máquinas favorecem a erosão e mineralização da matéria orgânica, aumentando as perdas de nutrientes (Barros e Comerford, 2002).

Deve-se considerar que a dinâmica do carbono orgânico, conjuntamente com os nutrientes minerais, é influenciada por fatores como clima, tipo de solo, cobertura vegetal e práticas de manejo. Para um mesmo tipo de solo, o sistema de manejo interfere na qualidade e quantidade de matéria orgânica adicionada ao solo, bem como na composição e atividade dos organismos decompositores, e nas taxas de perda de carbono por mineralização, lixiviação e erosão (Silva, 1996).

O estoque de carbono no solo está diretamente relacionado com a intensidade dos processos de adição de resíduos vegetais e de decomposição dos compostos orgânicos. As adições de material orgânico correspondem principalmente à quantidade de restos de plantas e animais que retornam ao solo. Em solos sob vegetação natural, a preservação da matéria orgânica tende a ser máxima, pois o revolvimento é mínimo, sendo o aporte de carbono nas florestas mais elevado do que em áreas cultivadas (Shang e Tiessen, 1997). Já

em áreas cultivadas, os teores de matéria orgânica tendem a diminuir, uma vez que os compostos orgânicos são mais expostos ao ataque microbiano, em virtude do maior revolvimento e desestruturação do solo (Mielniczuk, 1999).

A rapidez com que um dado resíduo vegetal é decomposto no solo depende da sua composição química e das condições físicas do ambiente que o cerca. Os fatores principais que regulam esse processo são temperatura, suprimento de oxigênio, umidade, pH, disponibilidade de nutrientes tais como o P e o N, e relação C/N do resíduo da planta. Outro fator que afeta a decomposição é a biota do solo. A idade da planta, seu conteúdo de lignina e o grau de desintegração dos materiais apresentados à microflora também governam a facilidade de degradação (Siqueira e Franco, 1988).

Essa velocidade de decomposição da serapilheira influencia diretamente a eficiência em ciclagem de nutrientes e carbono nos solos florestais. Assim, o acúmulo de resíduos orgânicos sobre o solo indica baixa taxa de liberação de nutrientes a partir da biomassa, o que pode ao longo do tempo interferir na sua fertilidade (Gama Rodrigues et al., 1999).

Com relação à caracterização da matéria orgânica e sua relação com o manejo do solo, vários estudos têm demonstrado que a separação das substâncias orgânicas pelos métodos químicos convencionais resulta em compostos com alto tempo de ciclagem no solo e que não teriam relação direta com as práticas agronômicas que se desenvolvem em curto prazo (Guerra e Santos, 1999).

A determinação do carbono orgânico no solo é feita comumente pelo método da combustão via úmida, baseado na oxidação da matéria orgânica a CO₂ por íons dicromato em meio ácido. Embora simples e de baixo custo, o método apresenta limitações, devido à necessidade de fatores de correção para compensar a oxidação parcial. Esta análise causa problemas no ambiente pela produção de rejeitos laboratoriais de difícil descarte contendo cromo (Nelson e Sommers, 1996).

Várias formas de fracionamento dos compostos orgânicos do solo têm sido propostas, de acordo com aspectos de manejo e/ou funcionalidade química/estrutural no solo (Besnard et al., 1996). Os modelos que simulam a decomposição e estabilização da matéria orgânica normalmente se baseiam na proteção física dos componentes orgânicos do solo (Feller e Beare, 1997). Já a classificação funcional, proposta por Magdoff (1996), envolve o papel de diferentes compartimentos em processos edáficos, sendo agrupados a biomassa microbiana, os resíduos vegetais, e as substâncias húmicas.

A biomassa microbiana desempenha importante função na decomposição e mineralização, ciclagem de nutrientes e controle biológico de parasitas. Normalmente é incluída na fração fina (<53 ou 100 • m). A biomassa microbiana corresponde à fração de maior atividade no solo, sendo estreitamente ligada à dinâmica da matéria orgânica de rápida resposta ao manejo, constituindo um sensível indicador da qualidade do solo (Mielniczuk, 1999).

Os resíduos vegetais representam material pouco decomposto e incluem compostos como aminoácidos, carboidratos, gorduras, ácidos orgânicos, entre outros, que compõem a fração leve, com densidade normalmente inferior a 2,0 g cm⁻³, ou fração grosseira (53ou100 a 2000 • m), também chamada de matéria orgânica particulada. Sua relação C/N normalmente é superior a 15-20, constituindo materiais mediamente lábeis, com considerável contribuição para liberação de nutrientes. A fração particulada normalmente tem se mostrado sensível aos efeitos de curto prazo provocados pelo manejo, constituindo um bom indicador da qualidade do solo (Desjardins et al., 1994; Wander et al., 1994).

Já as substâncias húmicas incluem componentes bem decompostos, com alto peso molecular e normalmente associados intimamente à fração mineral, apresentando ciclagem muito lenta e relação C/N inferior a 10. Compõem a fração fina (<53 ou 100 • m), podendo representar mais de 50 % da matéria orgânica do solo, sendo normalmente mais resistente à decomposição em resposta ao preparo do solo. As substâncias húmicas destacam-se pela complexidade estrutural e heterogeneidade em termos de composição química. Seu comportamento em relação a processos como agregação, emissão de gases e mineralização é ainda pouco conhecido nos solos das regiões tropicais (Coleman et al., 1989).

Diante de tais considerações, torna-se necessário lançar mão de técnicas que monitorem as mudanças nos estoques de matéria orgânica no solo, com vistas em identificar práticas de manejo mais conservacionistas, que resultem em maior armazenamento de carbono no solo. Dessa forma, a técnica de fracionamento físico do solo se presta bem a esse objetivo, na medida em que permite identificar a distribuição, a composição química e o grau de decomposição de diferentes frações orgânicas do solo (Christensen, 1992; Roscoe e Machado, 2002).

2.3. Dinâmica do carbono no solo e efeito estufa

Os gases naturais que mais contribuem com o armazenamento de calor na atmosfera e manutenção da temperatura adequada à vida na superfície terrestre (efeito

estufa) são o dióxido de carbono, vapor d'água, metano e óxido nitroso. Atualmente, a concentração de alguns desses compostos na atmosfera vem aumentando gradativamente em decorrência das atividades antrópicas, o que causa um desequilíbrio energético, com incremento do efeito estufa e aquecimento da Terra (Nobre, 2004).

Entre esses gases, o dióxido de carbono (CO₂) destaca-se como o principal agente responsável pelo efeito estufa. Sua concentração na atmosfera vem aumentando desde a Revolução Industrial, passando de 285 ppmv para 376 ppmv. Segundo o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), entre 1850 e 1998, foram liberados para a atmosfera aproximadamente 405±60 Gt de C dos quais, cerca de 67% são provenientes da queima de combustíveis fósseis e 33% oriundos dos solos agrícolas (Houghton et al., 2001).

Evidências científicas apontam que caso a concentração de CO₂ e a temperatura da atmosfera continuem crescendo, haverá aumento no nível dos mares, efeitos climáticos extremos (enchentes, tempestades, furacões e secas), alterações na variabilidade de eventos hidrológicos (aumento do nível do mar, mudanças no regime das chuvas, avanço do mar sobre os rios, escassez de água potável), colocando em risco a vida na terra, pela ameaça à biodiversidade, à agricultura, à saúde e ao bem-estar da população humana (Mahlman, 1997). Dessa forma, as mudanças climáticas globais representam um dos maiores desafios da humanidade, com várias implicações no setor agroflorestal (Lima et al., 1999).

Do ponto de vista agrícola, o aporte de CO₂ para a atmosfera decorre principalmente da queimada de florestas e revolvimento do solo. Dentre as alternativas viáveis para a redução da emissão de CO₂, destaca-se o seqüestro de C pelo solo, o qual representa um dos principais reservatórios deste elemento na natureza (Schlesinger, 1997). Neste sentido, torna-se fundamental a avaliação dos estoques desse elemento e de sua dinâmica no solo em sistemas naturais e agroecossistemas, visando o desenvolvimento de tecnologias mais apropriadas do ponto de vista agrônomo e ambiental (Cerri et al., 2004).

Para caracterizar o seqüestro de carbono no solo devem ser analisados muitos aspectos, como por exemplo, quantidade de carbono incorporada no solo, estabilidade deste carbono e a respiração do solo. O carbono a ser seqüestrado pelo solo não pode pertencer a uma estrutura lábil, de fácil decomposição e, conseqüente mineralização, gerando emissão de CO₂. Desta forma o acompanhamento do ciclo do carbono no sistema solo atmosfera é essencial para compreender e controlar o processo (Cerri et al., 2004).

Muitas vezes também há confusão entre estoque de C do solo e seqüestro de C pelo solo. Machado et al. (2004), afirmam que seqüestro de carbono pelo solo difere do conceito clássico de estoque de C do solo por dois aspectos: Primeiro, no seqüestro de C a fonte direta ou indireta de C é unicamente a atmosfera (somente CO₂), ocorrendo compostos produzidos pela planta por meio da fotossíntese; segundo, o conceito de seqüestro de C abrange também o que poderia ser denominado de um “equivalente de seqüestro de C”, que corresponde a fluxos de outros gases de efeito estufa, mas expressos com base no CO₂ em termos de potencial de aquecimento global (CH₄ = 23 vezes o CO₂ e; N₂O = 296 vezes o CO₂).

Do ponto de vista agrônômico e florestal, técnicas adequadas de uso e manejo do solo, como o controle da erosão, a adoção de sistemas conservacionistas de preparo e também o reflorestamento, podem remover o C atualmente contido na atmosfera. O processo de seqüestro de carbono em solos agrícolas se verifica logo nos primeiros anos de adoção de práticas conservacionistas. É possível recuperar, pelo menos parcialmente, o teor de MO destes solos. Geralmente o seqüestro de carbono concentra-se na camada superficial do solo onde se depositam os resíduos vegetais. Evidentemente que as condições de clima, relevo, solo e drenagem também irão determinar a taxa de incremento do teor de MO. Salienta-se também que é relativamente difícil manter altos níveis de matéria orgânica nos solos de clima tropical e subtropical, devido às altas temperaturas que induzem a altas taxas de decomposição (Mielniczuk, 1999).

A preservação de florestas nativas e o incentivo ao reflorestamento, que durante a fase inicial de desenvolvimento são responsáveis pela retirada de grande quantidade de CO₂ da atmosfera, através do processo de fotossíntese, são alternativas viáveis para enfrentar o problema do Carbono na atmosfera. Os produtos florestais têm assim dois importantes papéis em relação ao ciclo do carbono: durante o crescimento das árvores, pelo armazenamento deste elemento na biomassa, e por representar fonte de matéria-prima e energia que substituem combustíveis fósseis (Nabuurs e Sikkema, 2001).

Os mecanismos de seqüestro de carbono pela biomassa ganharam interesse no início dos anos 90 quando foram lançadas propostas para redução das emissões de gases de efeito estufa na Convenção do Clima da ONU, aprovada na RIO 92, visando à prevenção do aquecimento global. As condições para implementação desses mecanismos vêm sendo discutidas em uma série de Conferências das Partes (COPs). Já foram realizadas nove conferências: COP-1, 1995-Berlim; COP-2, 1996-Genebra; COP-3, 1997-Kyoto; COP-4,

1998-Buenos Aires; COP-5, 1999-Bonn; COP-6, 2000-Haia; COP6.5, 2001-Bonn, que foi uma preliminar para a sétima conferência; COP-7, 2001-Marrakesh; COP-8, 2002-Nova Delhi; COP-9, 2003-Milão (Perini, 2004); COP-10, 2004-Buenos Aires e COP-11, prevista para novembro de 2005, em Montreal (MINISTÉRIO, 2005).

A mais importante das Conferências foi a terceira, em Kyoto, no Japão, em 1997 quando se negociou o chamado Protocolo de Kyoto (Fearnside, 2001). Neste acordo, 38 países desenvolvidos, responsáveis pelas maiores emissões de gases do efeito estufa para atmosfera, assumiram o compromisso de redução média de 5,2% das emissões desses gases, tendo como base os valores registrados em 1990 (Ferraz e Motta, 2000).

O Protocolo permite que as metas sejam alcançadas por meio de reduções nacionais ou pela compra de créditos referentes a reduções voluntárias, vendidas por países em desenvolvimento como o Brasil. Este modelo ficou conhecido como mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL) e visa diminuir o custo de redução das emissões de gases do efeito estufa lançados na atmosfera, assim como apoiar iniciativas que promovam a sustentabilidade nos países em desenvolvimento. Este mecanismo representa uma oportunidade interessante para países com aptidão florestal e com extensas áreas agrícolas, e pode trazer benefícios de ordem econômica, ambiental e social, conforme extensamente comentados por Campos (2001) e Chang (2004). Como a maior parte das emissões de CO₂ do Brasil provêm de desmatamentos e queimadas, nossa maior contribuição para a redução de emissões seria através do controle do desmatamento e queimadas, como também pelo armazenamento no solo nas áreas sob sistemas conservacionistas de manejo (Valverde et al., 2004).

Em termos de contribuição das áreas florestais para redução no efeito estufa, uma das principais estratégias no Brasil deveria ser o estímulo à diminuição no desmatamento, sobretudo em áreas na região amazônica, que correspondem à maior parte das emissões brasileiras de CO₂. Nesse caso, os programas de reflorestamento adotados em muitas regiões, ainda que apresentem oportunidades de investimento, têm mostrado barreiras sociais para sua adoção, especialmente pelo deslocamento de contingentes de agricultores, substituição de áreas produtoras de alimentos e baixa remuneração do trabalho (Fearnside, 1999).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização e caracterização da área experimental

O estudo foi conduzido em áreas da Empresa Florestal Gateados, na região do Planalto dos Campos Gerais, em Campo Belo do Sul, SC (Figura 1), em solos originados de riodacito, rocha efusiva da formação Serra Geral. O solo representativo do local é um Nitossolo Háplico, com associações de Cambissolo e Neossolo Litólico nas áreas mais declivosas. São solos minerais, não hidromórficos, argilosos, bem drenados, de coloração tipicamente brunada. Os horizontes superficiais apresentam-se bastante espessos e escurecidos, com elevados teores de matéria orgânica. A vegetação original predominante era mata de araucária. O relevo regional é suave ondulado a ondulado.

O clima da região é mesotérmico úmido com verão ameno e precipitação bem distribuída ao longo do ano, indicado como Cfb segundo a classificação de Köppen. A altitude na sede do Município é de 1.017 m acima do nível do mar. A temperatura média anual é de 15,6 °C e a precipitação média anual é cerca de 1.400 mm, bem distribuída ao longo do ano (Santa Catarina, 1986).

3.2. Tratamentos e histórico das áreas

Os tratamentos constaram de cinco sistemas de uso da terra, a seguir descritos:

- a) *Campo nativo* (CN): vegetação com predomínio de gramíneas de crescimento espontâneo. A área foi utilizada por décadas com pecuária bovina extensiva, sendo fechada ao acesso dos animais em 1993. Desde então vem sendo roçada anualmente no mês de março, para controle de altura (Figura 2a);
- b) *Mata nativa de araucária* (MA): floresta típica da região, com presença de araucária (Figura 2b). Até 1993 era permitida entrada de animais bovinos no sub-bosque, especialmente como refúgio no inverno;

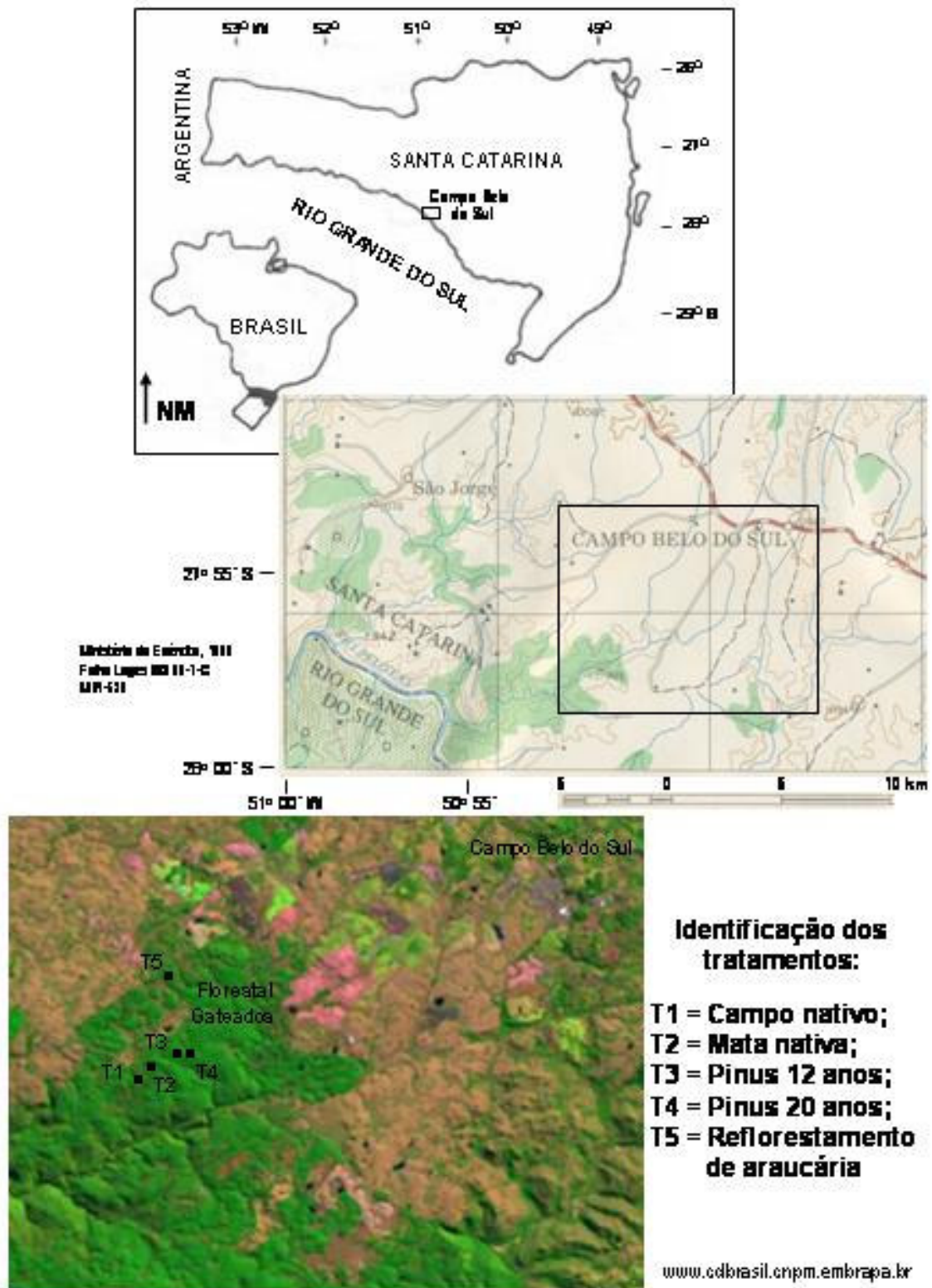


Figura 1. Localização da área experimental na Empresa Florestal Gateados, no município de Campo Belo do Sul, SC, com identificação dos tratamentos analisados.

c) *Floresta de pinus com 12 anos de idade* (P12): reflorestamento de *Pinus taeda* plantado em 1991, em área utilizada anteriormente com campo nativo. O preparo do solo nesta ocasião foi subsolagem a 35 cm de profundidade, seguida de enxada rotativa, sem correção do solo e na ausência de adubação. O espaçamento é de 1,6 x 2,5 m, sendo realizados até a data de amostragem dois desbastes (Figura 2c);

d) *Floresta de pinus com 20 anos de idade* (P20): reflorestamento de *Pinus taeda* plantado em 1983, nas mesmas condições que a floresta anterior (P12). Foram realizados até a data de amostragem quatro desbastes (Figura 2c);

e) *Reflorestamento de araucária com 18 anos de idade* (A18): área de campo nativo até 1980, quando foi implantada pastagem de festuca, em solo preparado com grade aradora e niveladora, aplicando-se 8 Mg ha⁻¹ de calcário dolomítico. O plantio de *Araucaria angustifolia* foi realizado em 1985, em solo subsolado a 35 cm de profundidade e preparado com enxada rotativa, com espaçamento de 1,6 x 2,5 m. De 1987 a 1990 efetuou-se plantio intercalar de feijão. De 1990 a 1992 a área foi pastoreada por terneiras. A área foi fechada aos animais em 1993 e realizou-se até então apenas um desbaste (Figura 2d).

As áreas foram selecionadas de forma a apresentar características edáficas semelhantes, o que foi avaliado com base em tradagens efetuadas em alinhamentos transversais, com avaliação da profundidade dos horizontes, textura e cor do solo (Lemos e Santos, 2002), além da posição na paisagem e relevo. Os locais de amostragem eram vizinhos no caso dos dois plantios de pinus e para campo nativo e mata nativa. O local mais distante destes foi o reflorestamento de araucária (Figura 1).

Os tipos de solo também foram avaliados em cortes nas laterais das estradas. A camada superficial do solo varia de 19 a 27 cm de profundidade no horizonte A, com coloração bruno acinzentado muito escuro (10YR 3/2 úmido) a bruno avermelhado escuro (5YR 3/2 úmido) e textura franco argilosa a argilosa. O horizonte AB atinge de 46 a 65 cm de profundidade, é bruno acinzentado escuro (10YR 4/2 úmido) a bruno escuro (10YR 3/3 úmido), com textura semelhante à camada superficial (Tabela 1). Cada um dos tratamentos constituiu uma área amostral independente das demais.

3.3. Amostragens e avaliações

As amostras de solo foram coletadas em julho de 2003 de forma sistemática, em dois alinhamentos paralelos entre si, em oito pontos equidistantes em 10 m. As profundidades de amostragem foram: 0-5; 5-10; 10-20; e 20-40 cm (Figura 2e), com coleta

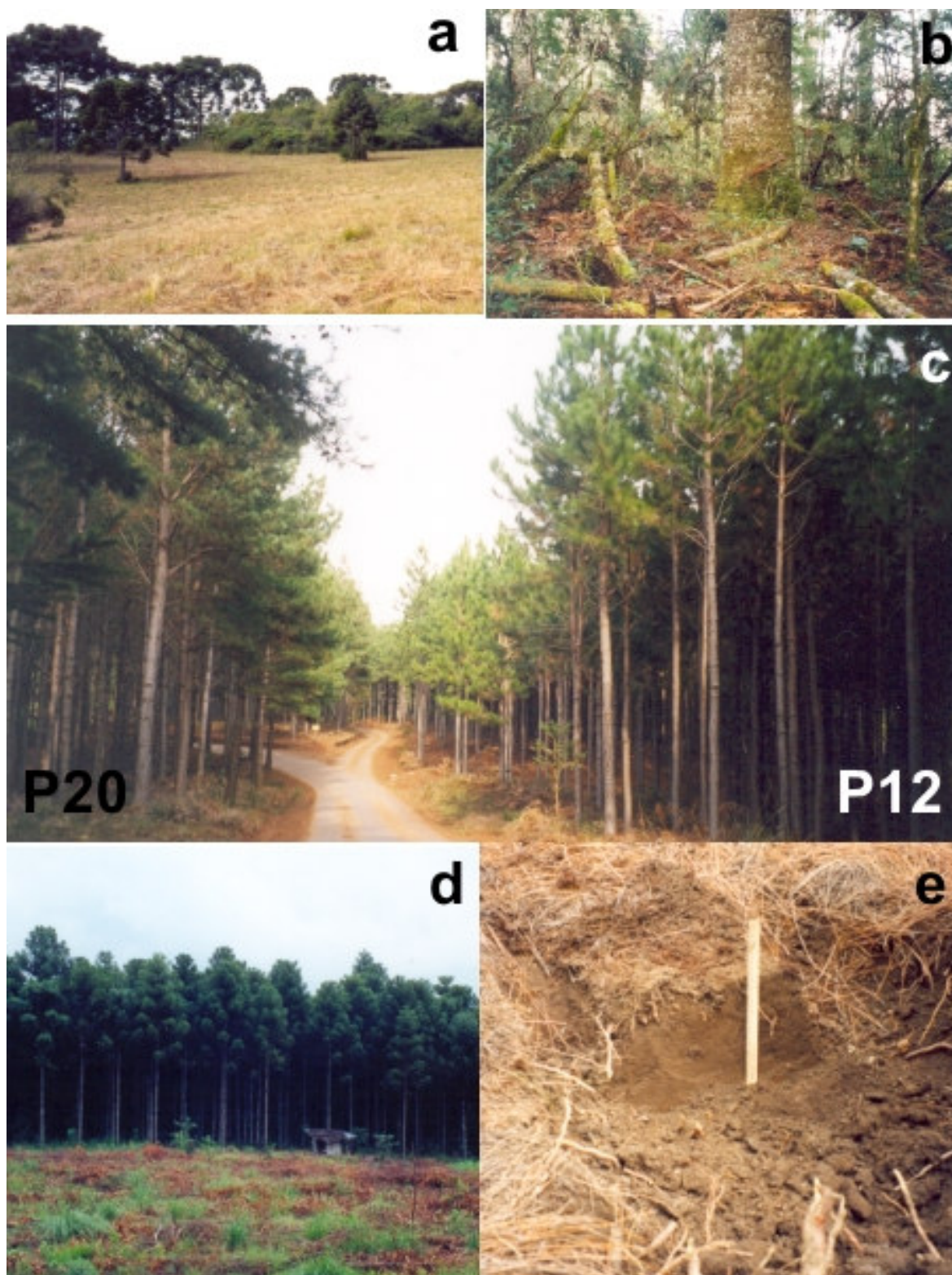


Figura 2. Aspecto das áreas amostradas: Campo nativo (a); Mata nativa (b); Reforestamento de pinus com 12 anos (P12) e 20 anos (P20) de idade (c); e Reforestamento de araucária (d). Amostragem de solo em trincheiras (e).

de solo ao redor de uma trincheira com cerca de 40 cm de largura, eliminando-se a serapilheira presente sobre a superfície. As amostras indeformadas de solo foram coletadas nas mesmas profundidades utilizando-se anéis volumétricos de 100 cm³.

Tabela 1. Teor de argila no solo submetido a diferentes usos, em diferentes profundidades, Campo Belo do Sul, SC (média de 8 repetições).

Profundidade (cm)	CN	P12	P20	A18	MA
	g kg ⁻¹				
0-5	530	480	550	550	430
5-10	580	500	600	680	530
10-20	560	510	550	610	560
20-40	610	550	510	660	650

CN = campo nativo; **P12** = pinus com 12 anos de idade; **P20** = pinus com 20 anos de idade; **A18** = reflorestamento de araucária com 18 anos de idade; **MA** = mata nativa com araucária.

A quantificação do carbono orgânico total foi realizada em amostras da terra fina seca ao ar (TFSA), usando-se oxidação sulfocrômica a úmido, de acordo com o procedimento descrito em Tedesco et al. (1995). O fracionamento físico do carbono orgânico para separação da fração particulada e da associada aos minerais foi efetuado mediante procedimento físico-químico descrito por Cambardella e Elliot (1992). Foram pesados 20g de TFSA, colocados em frascos do tipo “snap-cap” e adicionados 60 mL de solução de hexametáfosfato de sódio (5g L⁻¹). As amostras foram agitadas por 4 horas em agitador horizontal, e a suspensão passada em peneira de 53 µm, com auxílio de jato de água. O material retido na peneira foi transferido para recipientes e seco em estufa a 60°C, quantificado em relação a sua massa, moído e submetido à análise do teor de C orgânico (Tedesco et al., 1995). Este carbono representa o carbono orgânico particulado (COP), presente na fração areia (0,053 a 2 mm). O carbono orgânico associado à fração mineral (COM), foi calculado pela diferença entre os teores de carbono orgânico total e COP presente na fração areia. Os estoques de carbono foram computados de forma ponderada com os teores e as respectivas densidades do solo em cada camada, conforme a relação abaixo:

$$\text{Estoque (kg m}^{-2}\text{)} = DS \cdot P \cdot C$$

Onde: **DS** = densidade do solo em Mg m⁻³, **P** = profundidade da camada de solo em m, e **C** = concentração de carbono no solo em g kg⁻¹.

Os atributos físicos do solo analisados foram a granulometria e a densidade do solo empregando-se os métodos convencionais (EMBRAPA, 1997). A análise granulométrica foi feita utilizando-se hidróxido de sódio como dispersante, em 20 amostras agrupando todas as repetições de cada tratamento separadas por profundidade. A areia foi determinada por peneiramento mecânico, a argila, conforme o método do densímetro e o silte, por diferença.

A densidade do solo foi determinada pelo método do anel volumétrico, com secagem em estufa a 105° C durante 48 horas, sendo anotados o peso do solo e o volume do anel. A densidade do solo posteriormente foi determinada dividindo-se a massa de solo seco pelo volume conhecido da amostra.

A composição química do solo compreendeu determinações do pH em água, pH em CaCl₂ e pH SMP. Os teores de fósforo extraível, potássio, cálcio, magnésio e alumínio trocáveis foram determinados segundo a metodologia descrita por Tedesco et al. (1995). O pH em água e em solução de CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹ foi determinado em relação solo: líquido de 1:1, utilizando-se potenciômetro. O P e o K foram extraídos com solução de Mehlich-1, com determinação do fósforo por colorimetria e K por fotometria de chama. Os teores trocáveis de Ca, Mg e Al, foram extraídos com KCl 1 mol L⁻¹, e com determinação de Ca e Mg em espectrofotômetro de absorção atômica, e de Al por titulometria.

3.4. Análise estatística

Os resultados foram submetidos à análise de variância e efetuou-se teste de comparação de médias de Duncan a 5%. As relações entre os diferentes atributos edáficos foram determinadas por análise de correlação de Pearson.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Carbono orgânico do solo

Os teores de carbono orgânico total no solo variaram de 23 a 56 g kg⁻¹, com influência das formas de uso da terra e variação em profundidade, concentrando-se na camada superficial de 0 a 5 cm (Figura 3). Na média das profundidades, o solo sob pinus com 20 anos de idade (P20) teve maior teor de carbono em relação aos demais tratamentos, sendo seguido pelo campo nativo e pinus com 12 anos de idade.

As maiores variações entre os tratamentos para carbono orgânico total foram observadas na camada superficial, de 0 a 5 cm de profundidade, com maior concentração deste elemento na mata de araucária (MA) e no campo nativo (CN) em relação aos demais tratamentos. Já em subsuperfície, de 20 a 40 cm de profundidade, verificou-se que a floresta de pinus com 20 anos de idade (P20) apresentou maior teor de carbono em relação aos demais sistemas.

As conseqüências da substituição do ecossistema de campo por reflorestamento de *Pinus* com idade aproximada de 20 anos no conteúdo e na dinâmica do carbono do solo foram estudadas em áreas no Paraná através do uso do ¹³C como traçador isotópico (Lima et al., 1995). Este método baseia-se na hipótese de que a matéria orgânica do solo reflete a composição isotópica dos constituintes vegetais que lhe deram origem, uma vez que o pinus possui ciclo fotossintético C₃, e a vegetação de campo com gramíneas são plantas C₄. Estes autores verificaram nas áreas florestadas maior conteúdo de carbono comparativamente àquelas sob campo natural. As conseqüências da substituição do ecossistema natural de campo por reflorestamentos de pinus são informações praticamente inexistentes, mas de grande interesse tendo em vista a participação dinâmica da matéria orgânica em inúmeros processos no solo.

A maior quantidade de carbono orgânico presente na camada superficial do solo, observada na média dos tratamentos (Figura 3), relaciona-se com a adição de material orgânico pela biomassa, especialmente serapilheira, que se acumula na camada superficial

do solo e vai sendo gradativamente humificada. No caso do campo nativo, salienta-se também o papel da renovação periódica das raízes das gramíneas, que proporcionam substancial incorporação de materiais orgânicos ao solo.

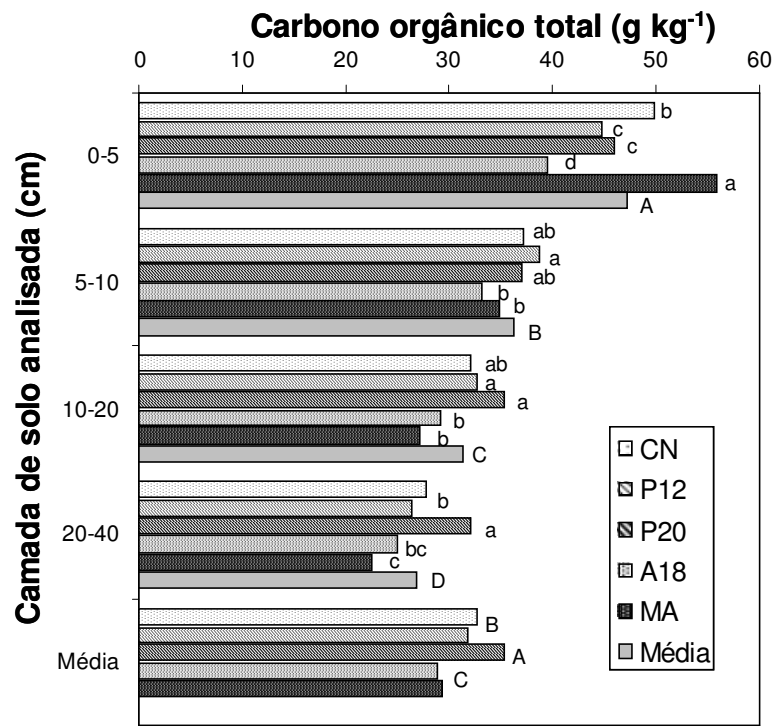


Figura 3. Teores de carbono orgânico total no solo em função dos sistemas de uso do solo nas camadas 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm de profundidade, em Campo Belo do Sul, SC, (Média de oito repetições). CN = campo nativo; P12 = pinus com 12 anos de idade; P20 = pinus com 20 anos de idade; A18 = reflorestamento de araucária com 18 anos de idade e MA = mata nativa com araucária. Médias seguidas pela mesma letra, não diferem significativamente pelo teste de Duncan a 5%: letra minúscula compara os sistemas dentro de cada camada, e letra maiúscula compara a média dos sistemas nas quatro camadas).

Deve-se ressaltar no presente estudo que não foram avaliadas as quantidades de serapilheira acumuladas. No entanto, com base em resultados obtidos em diversas formações vegetais na região Sul do Brasil, pode-se ter uma idéia da magnitude destes valores, que representam a adição de carbono ao solo. Em área de plantio de *Araucaria angustifolia* com 15 anos de idade, na região da Lapa, PR, o acúmulo anual de matéria seca da serapilheira variou de 5,0 a 6,4 Mg ha⁻¹ conforme a qualidade do sítio (Koehler et al., 1987). Para áreas de vegetação nativa, Fernandes e Backes (1998), relatam deposição anual de matéria seca de serapilheira da ordem de 5,9 Mg ha⁻¹ numa floresta primária com araucária na região dos Campos de Cima da Serra, em São Francisco de Paula, RS. Em outro estudo em áreas de mata nativa, na região de Caçador, SC, Floss et al. (1999) relatam

deposições anuais de matéria seca de serapilheira da ordem de 7,3 a 8,3 Mg ha⁻¹. Mais recentemente Figueiredo Filho et al. (2003), contabilizaram deposição anual de 7,7 Mg ha⁻¹ de serapilheira numa floresta ombrófila mista com araucária na região de São João do Triunfo, PR. No caso de reflorestamentos o acúmulo anual de serapilheira de *Pinus taeda*, com 15 anos de idade, avaliado em três sítios na região de Ponta Grossa, PR, variou de 6,8 a 8,5 Mg de matéria seca ha⁻¹, concentrados no período de outono (Wisniewski e Reissmann, 1996).

O acúmulo de carbono orgânico no solo é dependente da quantidade adicionada e da taxa de decomposição. Assim, nos reflorestamentos homogêneos esperam-se alterações na forma e na quantidade da matéria orgânica em relação à mata nativa. Dessa forma, nas monoculturas de pinus encontradas na região sul do Brasil, tem-se observado maior acúmulo de resíduos orgânicos na superfície do solo em relação às florestas nativas, devido principalmente à dificuldade de decomposição da fitomassa (Trevisan et al., 1987).

Quando se relacionaram os teores de argila e carbono orgânico, verificou-se correlação negativa ($r = -0,67^{**}$, Figura 4) entre estes atributos, com resposta semelhante entre os diferentes tratamentos. Essa relação negativa pode ser relacionada com a constante adição de fitomassa pela vegetação na camada superficial do solo, e sua lenta decomposição em função do clima frio (altitude e latitude), o que ocasionaria maior concentração nesta camada. Outro fator que influenciou essa variação foi o aumento do teor de argila em profundidade, passando de 508 g kg⁻¹ na camada de 0 a 5 cm de profundidade, para 596 g kg⁻¹ em subsuperfície, de 20 a 40 cm de profundidade, na média dos tratamentos (Tabela 1).

Esta relação observada para o Nitossolo estudado difere do resultado apresentado por Lepsch (1980), que observou correlação positiva entre teores de carbono orgânico e argila em seis regiões do estado de São Paulo, em Latossolos e Neossolo Quartzarênico cultivado com eucalipto e pinus por mais de oito anos. Neste caso, esta relação positiva se deve a mecanismos de estabilização física e química da matéria orgânica pelos colóides minerais do solo (Feller e Beare, 1997).

Os estoques de carbono orgânico na camada de 0 a 40 cm de profundidade totalizaram de 12,5 a 14,2 kg m⁻². Entre os tratamentos e na soma das camadas consideradas, o reflorestamento de pinus com 20 anos de idade mostrou maior estoque deste elemento no solo, não diferindo do solo sob campo nativo (Figura 5). Dessa forma,

nas condições climáticas e pedológicas investigadas o reflorestamento de pinus (P20) mostrou-se eficiente no armazenamento de carbono orgânico no solo.

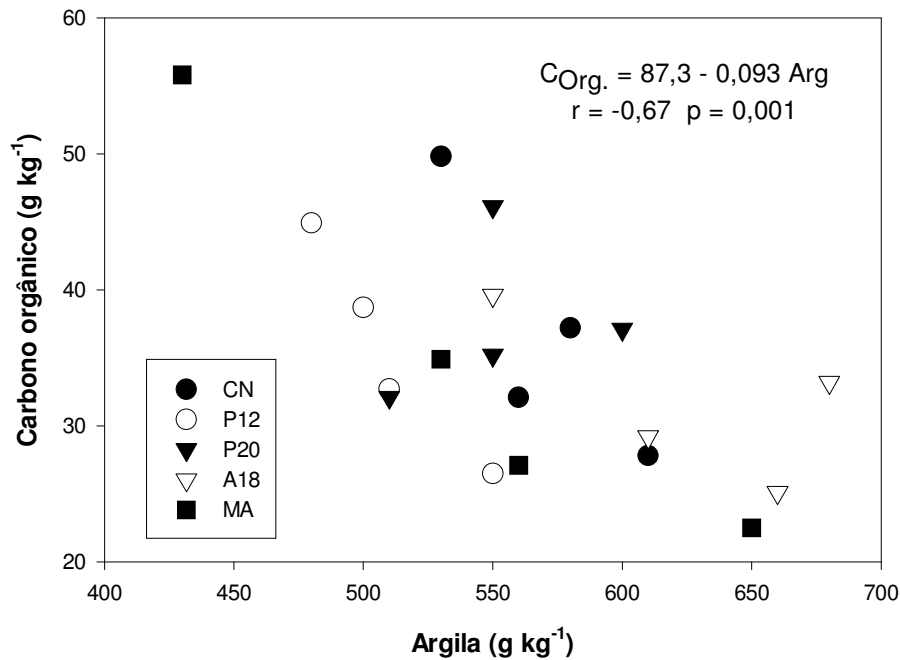


Figura 4. Relação entre os teores de argila e carbono orgânico do solo nos diferentes usos da terra analisados (médias de oito repetições).

Quando se considerou a contribuição individual de cada camada analisada, o sistema mata de araucária obteve o maior estoque deste elemento na camada superficial do solo de 0 a 5cm de profundidade. Em subsuperfície, de 10 a 40 cm de profundidade, os estoques foram superiores no pinus com 20 anos de idade, não diferindo, entretanto, do campo nativo.

O estoque de carbono em latossolos argilosos sob vegetação de floresta tropical úmida nas proximidades de Santarém, na região central do Pará, variou de 7 a 11 kg m⁻² na camada de 0 a 20 cm de profundidade (Smith et al., 2002). Os valores médios do estoque de carbono referidos para solos sob floresta nas regiões tropicais úmidas são de 6,3 a 6,5 kg m⁻² na camada de 0 a 30 cm (Batjes, 1996).

Num estudo desenvolvido em perfis de Latossolo Vermelho Escuro argiloso e muito argiloso, na região de Planaltina, DF, constatou-se que o reflorestamento de eucalipto, após 12 anos da implantação acumulou um total de 14,6 Mg ha⁻¹ de carbono na camada de 0 a 100 cm de profundidade, quando comparado ao solo sob vegetação nativa

de cerrado (Corazza et al., 1999). Neste caso, os estoques totais de carbono nesta camada foram de 14,8 e 13,4 kg m⁻², respectivamente.

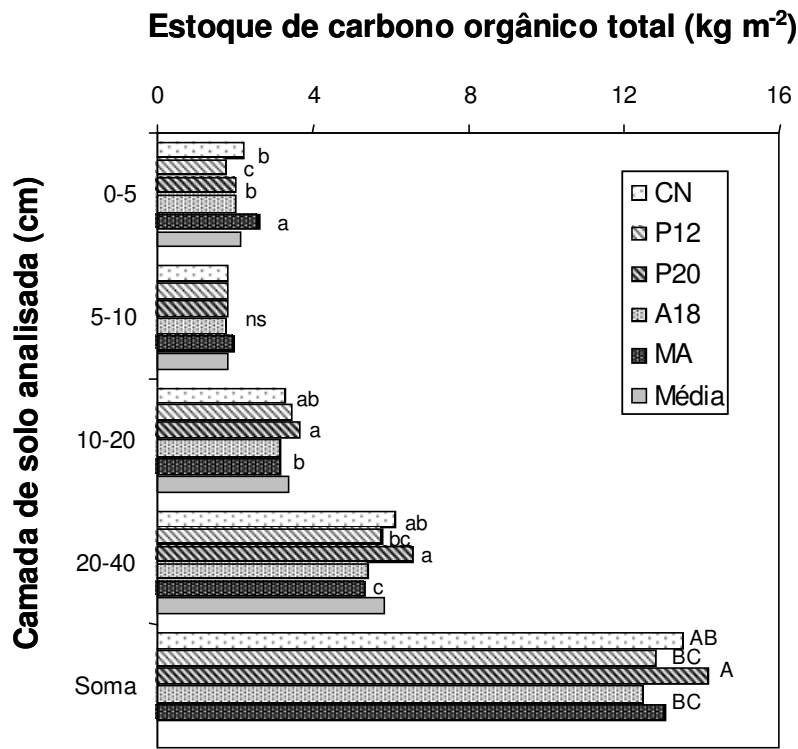


Figura 5. Estoques de carbono orgânico total em função dos sistemas de uso do solo nas camadas 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm de profundidade, em Campo Belo do Sul, SC, considerando a densidade do solo (Média de oito repetições). CN = campo nativo; P12 = pinus com 12 anos de idade; P20 = pinus com 20 anos de idade; A18 = reflorestamento de araucária com 18 anos de idade e MA = mata nativa com araucária. Médias seguidas pela mesma letra, não diferem significativamente pelo teste de Duncan a 5%: letras minúsculas comparam os sistemas dentro de cada camada, e letras maiúsculas comparam médias dos sistemas nas quatro camadas.

Em outra avaliação desenvolvida sob um Latossolo argiloso da região de Uberlândia verificou-se que o estoque de carbono na camada superficial do solo de 0 a 30 cm foi maior sob pastagem produtiva de *Brachiaria decumbens* em relação à plantação de *Pinus caribaea*. Os valores encontrados foram menores que no caso do Nitossolo ora estudado, totalizando 4,9 e 6,4 kg m⁻², respectivamente, os quais não diferiram em relação à vegetação original de cerrado (Lilienfein e Wilcke, 2003). Essa diferença nos estoques de carbono foi inversa em relação à quantidade deste elemento na biomassa sobre o solo, que foi 25 vezes superior na floresta em relação à pastagem.

Lima et al. (1995) avaliando o efeito da substituição do campo natural por plantio de *Pinus elliottii* em quatro regiões do estado do Paraná, com características

edafoclimáticas mais próximas do ambiente aqui analisado, revelaram um acréscimo de 11,3 Mg ha⁻¹ de carbono no pinus em relação ao campo, quando considerada a camada de 0 a 80 cm de profundidade e um período de desenvolvimento dos povoamentos de aproximadamente 20 anos, o que representou estoques de carbono de 21,4 e 20,3 kg m⁻², respectivamente.

No caso de sistemas florestais, ressalta-se que cada tonelada de biomassa de madeira seca produzida em uma floresta acumula cerca de 500 kg de carbono (C), que equivale a 1.500 kg de gás carbônico (CO₂). A título de exemplo, verificou-se que a produtividade média do *Pinus taeda*, na região de Cambará do Sul, no Rio Grande do Sul, aos 28 anos de idade, foi de 911 m³ ha⁻¹, o que corresponde a um considerável armazenamento de carbono (Mainardi et al., 1996). Em outro estudo, conduzido na região de Curitiba, PR, verificou-se que um sistema agroflorestal com desenvolvimento de bracinga acumulou depois de oito anos 60,9 Mg ha⁻¹ de carbono na biomassa vegetal (Feistauer et al., 2004). Neste caso, em termos de solo, manteve-se o estoque deste elemento até a profundidade de 100 cm, quando comparado à condição de solo na fase de implantação do sistema.

A influência do reflorestamento sobre os estoques de carbono orgânico foi verificada em plantio de *Pinus taeda* com cinco anos de idade, num Cambissolo Húmico aluminoso argiloso, em Cambará do Sul, RS, totalizando 14,8 e 22,8 kg m⁻² nas camadas de 0 a 40 e 0 a 100 cm de profundidade, respectivamente (Balbinot et al., 2003). Estes valores foram semelhantes ao observado no presente experimento (Figura 5).

Esses resultados evidenciam o potencial das áreas florestais em armazenar carbono no solo e na fitomassa, o que seria conveniente em termos de redução do efeito estufa. Além da contribuição da floresta para redução no aquecimento global, haveria benefícios ecológicos adicionais, especialmente devido à proteção do solo nas bacias hidrográficas (Fearnside, 2000).

A densidade do solo teve correlação negativa ($r = -0,71$, $p < 0,01$; Figura 6 e Tabela 2) com os teores de carbono orgânico, evidenciando variação relativamente uniforme entre os sistemas avaliados. A densidade do solo, na média das camadas analisadas, foi superior na mata nativa e reflorestamento de araucária em relação aos demais sistemas, atingindo 1,15 e 1,08 Mg m⁻³, respectivamente (Anexo 1). Outra variação encontrada foi aumento da densidade do solo em profundidade, passando de 0,91 Mg m⁻³ na camada de 0 a 5 cm, para 1,10 Mg m⁻³ na camada subsuperficial, de 20 a 40 cm de profundidade. Ressalta-se que

este comportamento da densidade foi semelhante ao observado com os teores de argila total do solo (Figura 4) e os valores observados são adequados para o desenvolvimento radicular, considerando a classe textural do solo (Reichert et al., 2003).

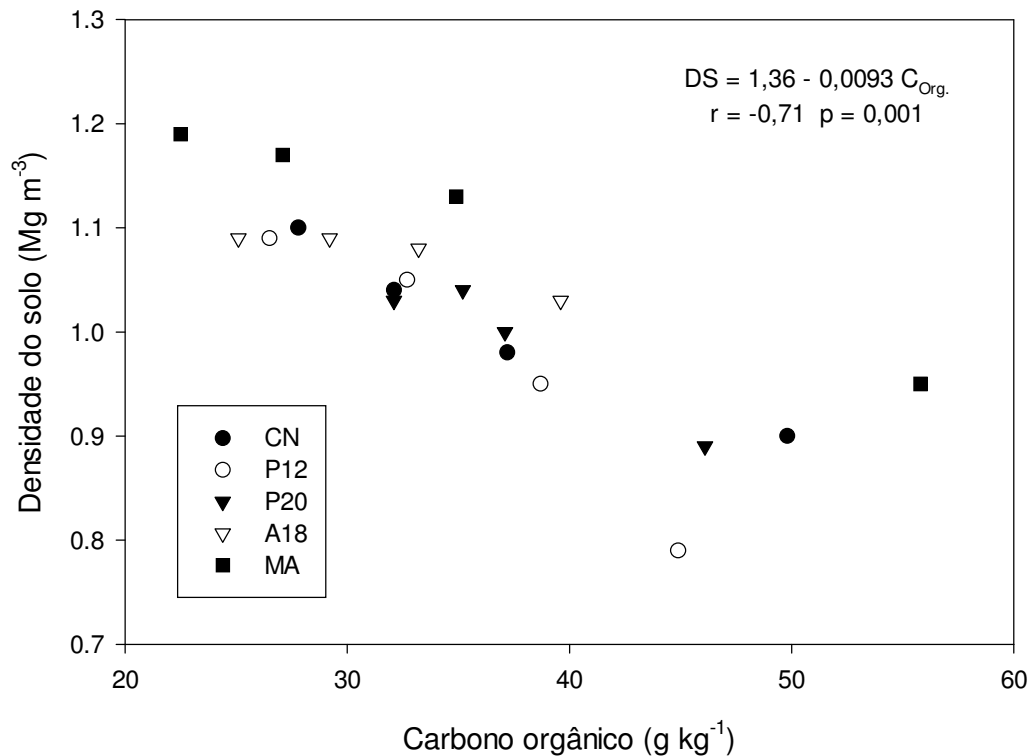


Figura 6. Relação entre carbono orgânico e densidade do solo nos diferentes usos da terra analisados (médias de oito repetições).

O fracionamento físico da matéria orgânica do solo evidenciou concentração de carbono orgânico na fração particulada variando, na média dos tratamentos, de 47,1 g kg⁻¹ na camada superficial a 11,6 g kg⁻¹ na camada de 20 a 40 cm de profundidade. Estas concentrações uma vez ponderadas pela proporção da fração areia em relação ao total do solo resultaram em teores de 0,5 a 5,1 g kg⁻¹ (Figura 7a). Tais valores variaram em profundidade e foram influenciados pelos tratamentos apenas na camada superficial do solo. A pequena de variação pode ser relacionada aos baixos teores, diminuindo a sensibilidade na comparação e aumentando a variabilidade nos resultados, que apresentaram coeficiente de variação de 86 %.

Os maiores teores de carbono orgânico particulado ocorreram na camada superficial do solo, o que se deve à contribuição de fragmentos vegetais em decomposição, provenientes da serapilheira. Nesta camada o reflorestamento de pinus com 12 anos de idade teve maior teor de carbono orgânico particulado, com 5,09 g kg⁻¹, o qual não diferiu

da mata nativa, que totalizou 4,16 g kg⁻¹. Nas demais profundidade os teores desta fração foram inferiores a 2 g kg⁻¹, sem diferença entre os tratamentos (Figura 7a). Os baixos teores de carbono orgânico particulado neste solo são justificados pela granulometria fina do solo, com predomínio da fração argila, em virtude do material de origem deste solo.

Tabela 2. Coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis analisadas, em todas as camadas analisadas em conjunto, em Campo Belo do Sul, SC (n = 160).

	eCOT	tCOP	COP	COM	pHa	pHs	SMP	P	K	Ca	Mg	Al	DS
COT	0,89**	0,78**	0,76**	0,99**	-0,06 ^{ns}	0,16*	-0,10 ^{ns}	0,38**	0,50**	0,33**	0,16*	-0,24**	-0,71**
eCOT		0,64**	0,60**	0,89**	0,07 ^{ns}	0,30**	-0,01 ^{ns}	0,30**	0,43**	0,38**	0,26**	-0,30**	-0,32**
tCOT			0,91**	0,72**	0,16*	0,20*	0,11 ^{ns}	0,24**	0,51**	0,43**	0,32**	-0,34**	-0,61**
COP				0,68**	-0,01 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,18*	0,34**	0,23**	0,12 ^{ns}	-0,15*	-0,63**
COM					-0,07 ^{ns}	0,17*	-0,12 ^{ns}	0,39**	0,50**	0,33**	0,15 ^{ns}	-0,24**	-0,69**
pHa						0,71**	0,74**	-0,17*	0,32**	0,33**	0,40**	-0,46**	0,24**
pHs							0,70**	-0,08 ^{ns}	0,35**	0,35**	0,41**	-0,53**	0,13 ^{ns}
SMP								-0,28**	0,27**	0,29**	0,35**	-0,48**	0,24**
P									0,37**	0,13 ^{ns}	0,01 ^{ns}	-0,05 ^{ns}	-0,33**
K										0,29**	0,47**	-0,39**	-0,36**
Ca											0,56**	-0,78**	-0,08 ^{ns}
Mg												-0,54**	0,09 ^{ns}
Al													-0,01 ^{ns}

COT = teor de carbono orgânico total; **eCOT** = estoque de carbono orgânico total no solo; **tCOP** = teor de carbono orgânico na fração particulada; **COP** = teor de carbono orgânico particulado no solo; **COM** = teor de carbono orgânico associado aos minerais no solo; **pHa** = pH em água; **pHs** = pH em CaCl₂; **SMP** = pH_{Smp}; **P** = teor de P extraível; **K** = teor de K trocável; **Ca** = teor de Ca trocável; **Mg** = teor de Mg trocável; **Al** = teor de Al trocável; **DS** = densidade do solo. ** = significativo a 1 % de significância; * = 5 a 1 % de significância; ^{ns} = não significativo a 5 % de significância.

A matéria orgânica particulada tem se mostrado sensível a alterações advindas das práticas de manejo, sendo composta principalmente por resíduos de plantas em vários estágios de decomposição. A quantidade de carbono orgânico neste compartimento resulta de um balanço entre a adição de resíduos e os processos de persistência e/ou decomposição, estes dependentes do ambiente do solo (Roscoe e Machado, 2002).

A diferença entre os teores de carbono orgânico total e particulado constitui a fração associada aos minerais (Cambardella e Elliot, 1992), a qual representa componentes mais estáveis e humificados. Esta fração foi maior no solo sob pinus 20 anos, com teor de 34,1 g kg⁻¹, na média das camadas analisadas (Figura 7b). Esse comportamento provavelmente seja devido à incorporação de matéria orgânica pelo sistema radicular, a qual é protegida fisicamente pela interação com a superfície dos minerais (estabilidade

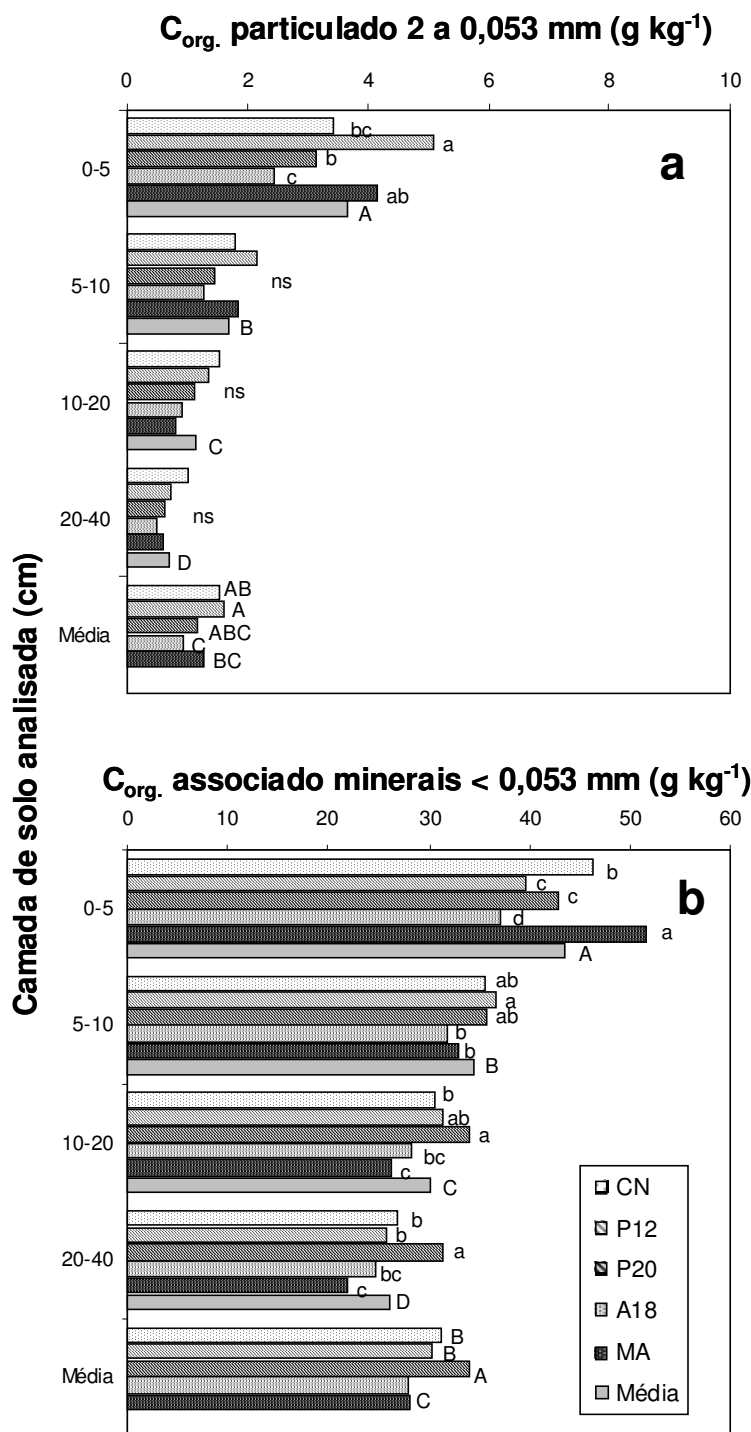


Figura 7. Teores de carbono orgânico particulado do solo (a) e carbono orgânico associado aos minerais (b) em função dos sistemas de uso do solo nas camadas 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm de profundidade, em Campo Belo do Sul, SC, (Média de oito repetições). CN = campo nativo; P12 = pinus com 12 anos de idade; P20 = pinus com 20 anos de idade; A18 = reflorestamento de araucária com 18 anos de idade e MA = mata nativa com araucária. Médias seguidas pela mesma letra, não diferem significativamente pelo teste de Duncan a 5%; letras minúsculas comparam os sistemas dentro de cada camada, e letras maiúsculas comparam médias dos sistemas nas quatro camadas.

química), e ou inacessibilidade à decomposição microbiana por sua localização no interior dos agregados (proteção física).

Normalmente a matéria orgânica associada aos minerais apresenta avançado estágio de humificação, com ciclagem mais lenta, sendo necessário um período maior para que a alteração advinda das formas de uso da terra tenha efeito no estoque de carbono desta fração (Bayer et al., 2004). Segundo Meurer (2004), a interação dos compostos orgânicos com os argilominerais preserva-os da biodegradação, contribuindo para regular a taxa de decomposição da matéria orgânica e seu teor nos solos, constituindo a proteção física da matéria orgânica do solo.

4.2. pH do solo e nutrientes

Os valores de pH em água variaram de 4,5 a 5,3 nos diferentes materiais analisados, com variação entre tratamentos, mas uniforme em profundidade (Figura 8a). Os valores mais baixos de pH em água foram constatados nos plantios de pinus (P12) e (P20) em todas as camadas, com valores de 4,8 e 4,5 na média das camadas, respectivamente. Os valores mais altos ocorreram nos sistemas (A18) e (CN) em todas as camadas analisadas. No caso do reflorestamento de araucária, o pH do solo foi influenciado pela calagem efetuada em 1980, quando da implantação da pastagem de festuca na área.

Para o pH em CaCl_2 , ocorreu comportamento semelhante ao pH em água, onde os menores valores ocorreram no plantio de pinus com 20 anos de idade em todas as camadas. Para os demais sistemas não houve diferença significativa de pH (Figura 8b).

O pH em SMP, utilizado como uma forma de estimativa da acidez potencial do solo, teve resposta semelhante ao pH em água e sal, entretanto, diferenciou os plantios de pinus (Figura 9a). Neste caso, os menores valores do índice de SMP observados em todas as camadas foram obtidos no reflorestamento com 20 anos de idade, quando comparados ao plantio mais jovem (P12), com valores de 5,1 e 5,5 na média das camadas, respectivamente.

Os teores de Al trocável atingiram valores de 3,6 a 9,9 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ (Figura 9b) e podem ser considerados altos para todos os sistemas avaliados e todas as camadas (SOCIEDADE, 2004). O sistema que apresentou maiores teores de Al trocável foi o reflorestamento de pinus (P20) em todas as camadas, justificado pelos baixos valores de pH, facilitando a solubilização do Al trocável no solo. Os menores valores foram

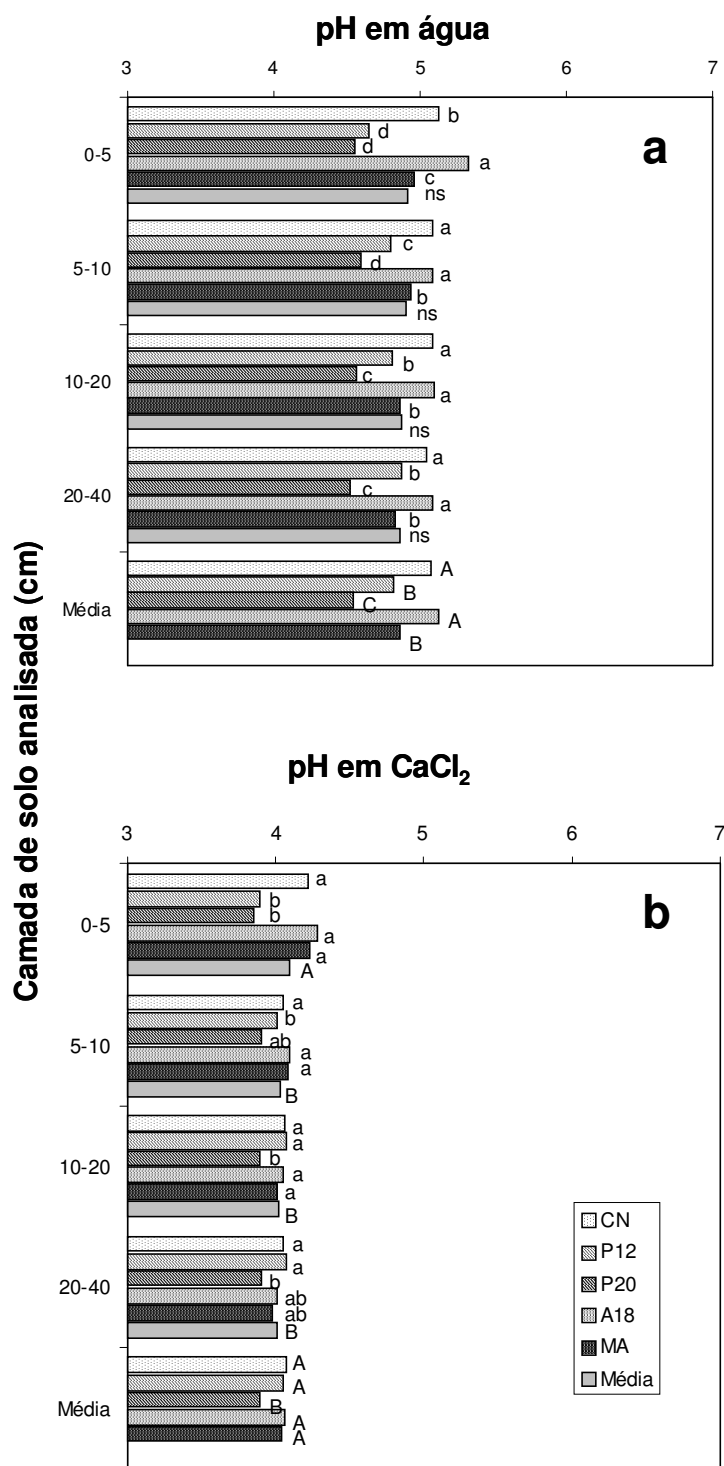


Figura 8. Valores de pH em água (a) e pH em CaCl₂ (b) em função dos sistemas de uso do solo nas camadas 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm de profundidade, em Campo Belo do Sul, SC, (Média de oito repetições). CN = campo nativo; P12 = pinus com 12 anos de idade; P20 = pinus com 20 anos de idade; A18 = reflorestamento de araucária com 18 anos de idade e MA = mata nativa com araucária. Médias seguidas pela mesma letra, não diferem significativamente pelo teste de Duncan a 5%: letras minúsculas comparam os sistemas dentro de cada camada, e letras maiúsculas comparam médias dos sistemas nas quatro camadas.

observados no solo sob mata nativa, que teve $6,8 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Al na média das camadas analisadas.

Os maiores teores de Al trocável foram constatados em subsuperfície, diminuindo em direção à camada superficial do solo, o que poderia estar ligado ao efeito da matéria orgânica complexando parte deste elemento e reduzindo sua extração pela solução de KCl, o que, entretanto, se confirmou apenas parcialmente pela análise de correlação entre Al e C_{Org} . ($r = -0,24^{**}$, Tabela 2).

A maior acidez do solo constatada sob cultivo de pinus no Nitossolo estudado é discordante dos resultados apresentados por Silva (1988), que relata alterações edáficas provocadas por essências florestais, entre elas *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, num ecossistema de tabuleiro, num Latossolo argilo arenoso, na região Sul da Bahia. Neste caso o pH do solo não foi alterado em relação à área de mata nativa. Por outro lado, num estudo desenvolvido num Latossolo argiloso da região de Uberlândia verificou-se que o cultivo de *Pinus caribaea* com 20 anos de idade ocasionou diminuição no pH da solução do solo na camada de 0,15 a 1,2 m de profundidade, sendo 0,2 a 0,6 unidade menor no pinus em relação ao solo sob cerrado, muito embora não tenha havido modificação significativa no pH do solo nestas duas áreas (Lilienfein et al., 2000). Este comportamento pode ser relacionado ao acúmulo de matéria orgânica na forma de serapilheira sobre o solo, liberando ácidos orgânicos durante a decomposição, o que promove lixiviação de cátions da camada superficial, especialmente em solos com baixo tamponamento de pH. Neste caso, a diminuição no pH na solução do solo esteve relacionada com os maiores teores de Mn e Al na solução do solo proveniente do pinus.

A acidificação do solo decorrente do crescimento da floresta está normalmente relacionada com a lixiviação de bases ou pela absorção desses elementos pelas árvores, causando maiores modificações em solos intemperizados e pobres em nutrientes. Outro aspecto importante é a acidez relacionada à composição da serapilheira, que varia entre as espécies, sendo normalmente observado maior valor de pH em água para biomassa de plantas decíduas que coníferas (Alexander e Cresse, 1995).

Dessa forma, o efeito do pinus sobre o solo implicaria em gastos adicionais com correção da acidez do solo, quando se pretende utilizar posteriormente essas áreas para fins agrícolas. Por outro lado, a maior necessidade de calagem pode ser compensada pelo acúmulo de matéria orgânica na camada superficial do solo, que melhora sua fertilidade, como observado para os teores de N, P, e S por Lilienfein et al. (2001).

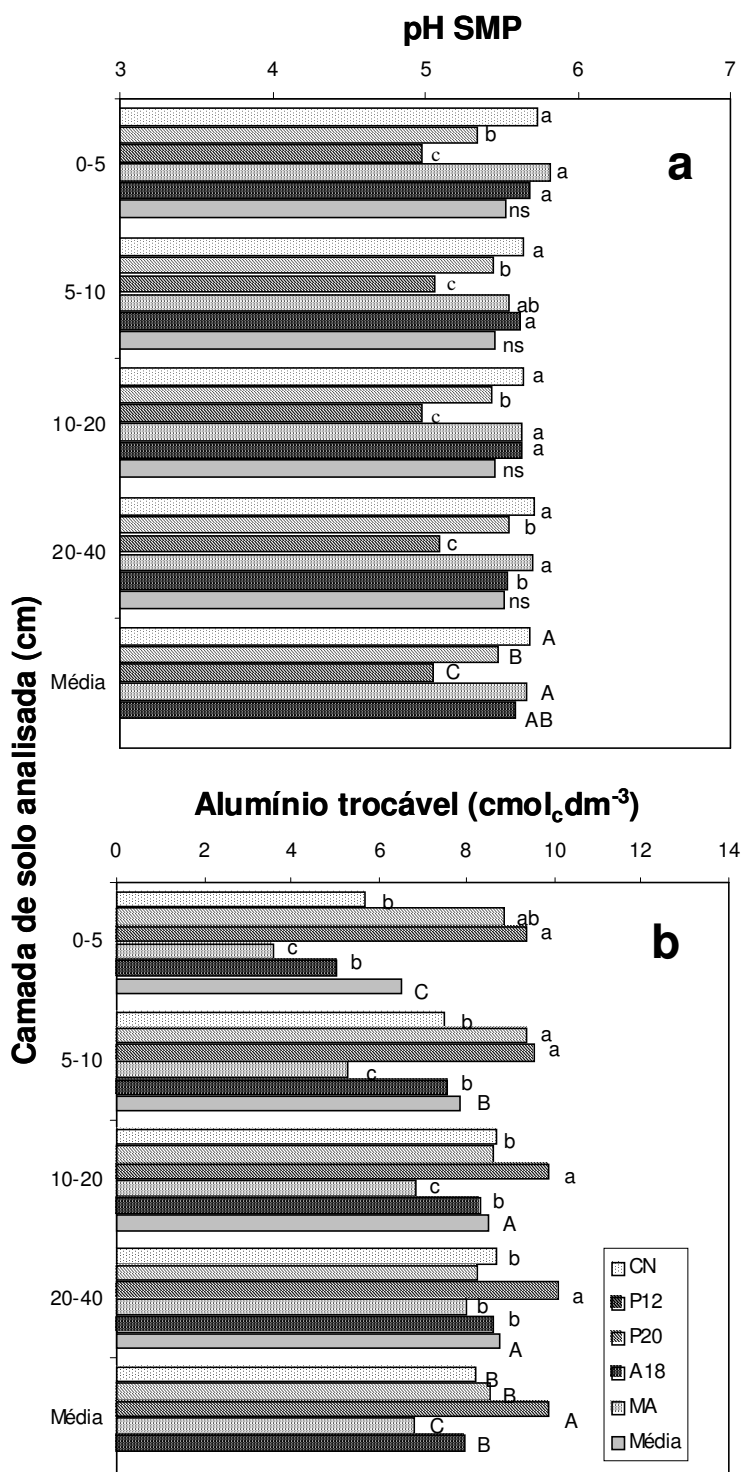


Figura 9. Valores de pH SMP (a) e alumínio trocável (b) em função dos sistemas de uso do solo nas camadas 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm de profundidade, em Campo Belo do Sul, SC, (Média de oito repetições). CN = campo nativo; P12 = pinus com 12 anos de idade; P20 = pinus com 20 anos de idade; A18 = reflorestamento de araucária com 18 anos de idade e MA = mata nativa com araucária. Médias seguidas pela mesma letra, não diferem significativamente pelo teste de Duncan a 5%: letras minúsculas comparam os sistemas dentro de cada camada, e letras maiúsculas comparam médias dos sistemas nas quatro camadas.

O fósforo extraível do solo apresentou variação de 0,3 a 11,2 mg dm⁻³ com efeito dos tratamentos e diminuição em profundidade no solo, passando de 7,5 mg dm⁻³ na média dos tratamentos na camada superficial, para 3,1 mg dm⁻³ na camada de 20 a 40 cm de profundidade (Figura 10a). Esta variação pode ser relacionada com a ciclagem deste elemento pela matéria orgânica do solo, muito embora o coeficiente de correlação entre P e C_{Org.} tenha sido baixo ($r = 0,38$, $p < 0,01$, Tabela 2). Os maiores teores deste elemento foram observados na camada de 0 a 5 cm de profundidade, no solo sob pinus com 20 anos de idade (P20) e no campo nativo. Na média das profundidades, os maiores teores de fósforo no solo também foram constatados no P20.

A absorção de fósforo pelo pinus está relacionada à presença e atividade de fungos micorrízicos, que modificam a conformação do sistema radicular e a habilidade da planta em aproveitar este elemento presente normalmente em baixos teores no solo. As diferenças entre sistemas observadas em relação aos teores de P no solo, possivelmente foram influenciadas pela idade e diversidade da vegetação, acarretando em variação na atividade micorrízica e nos teores absorvidos pela planta.

Os teores de potássio trocável do solo foram influenciados pelos sistemas de uso da terra e variaram em profundidade. A maior concentração deste elemento na média das profundidades foi verificada no solo sob campo nativo chegando a 0,15 cmol_c dm⁻³, enquanto o menor teor médio correspondeu ao solo sob pinus com 12 anos de idade, com 0,052 cmol_c dm⁻³ (Figura 10b). Os teores de K foram bem mais elevados na camada superficial do solo, decrescendo em profundidade, apontando para contribuição da liberação da fitomassa, especialmente no caso do campo nativo, em que se realiza uma roçada anual para controle da altura das plantas.

O maior teor deste elemento no solo sob campo nativo possivelmente se relaciona com a sua alta mobilidade e facilidade de lavagem nos tecidos vegetais, sendo facilmente lixiviado, o que ocorreria após a roçada da fitomassa e sua permanência sobre o solo. Isto foi evidenciado por Koehler et al. (1987), que demonstraram teores deste elemento 80 % menores nas acículas de *Araucaria angustifolia* que faziam parte da serapilheira sobre o solo em relação às acículas verdes. Além disso, teores pronunciados de K em solo sob vegetação de gramíneas foram reportados por Cóser et al. (1990), trabalhando com diferentes coberturas arbóreas e com capim gordura num Latossolo Vermelho Amarelo

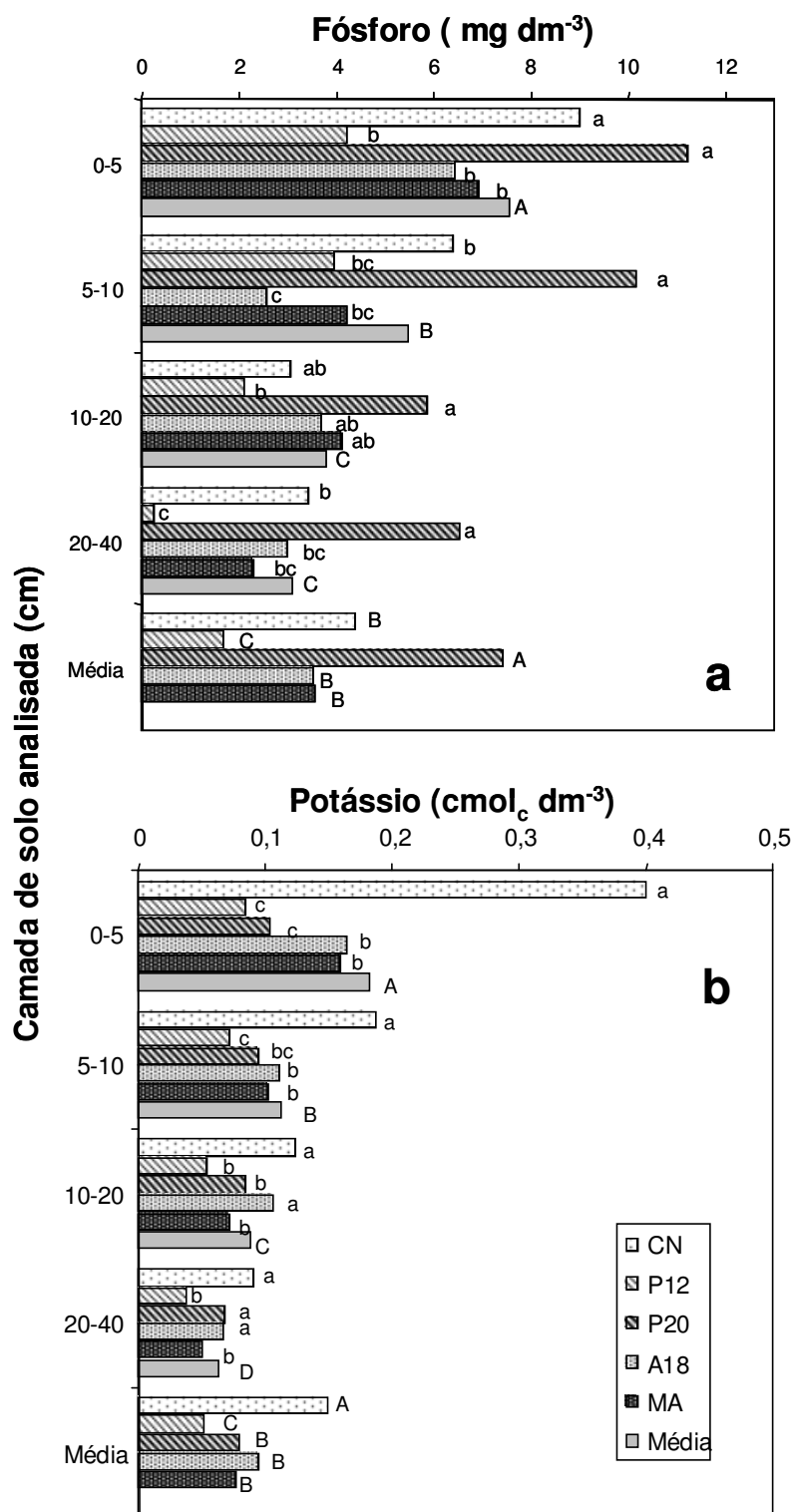


Figura 10. Teores de Fósforo (a) e Potássio (b) submetidos a diferentes usos do solo, nas camadas 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm de profundidade, em Campo Belo do Sul, SC, (Média de oito repetições). CN = campo nativo; P12 = pinus com 12 anos de idade; P20 = pinus com 20 anos de idade; A18 = reflorestamento de araucária com 18 anos de idade e MA = mata nativa com araucária. Médias seguidas pela mesma letra, não diferem significativamente pelo teste de Duncan a 5%: letras minúsculas comparam camadas dentro de cada sistema, e letras maiúsculas comparam média dos sistemas nas quatro camadas).

argiloso, da região de Viçosa, MG. Neste caso, os maiores teores de K no solo com vegetação de campo foram atribuídos à absorção preferencial de cátions monovalentes pelas gramíneas.

A interdependência entre teores de potássio e os constituintes orgânicos nos solos estudados foi evidenciado pelo coeficiente de correlação entre K e $C_{Org.}$ de 0,50 ($p < 0,01$, Tabela 2). Salienta-se também a contribuição dos colóides orgânicos para aumentar a quantidade de cargas negativas do solo, o que alteraria sua distribuição no perfil e evitaria perdas por lixiviação (Coleman et al., 1989).

Os teores de cálcio no solo variaram de 0,1 a 5,4 $cmol_c dm^{-3}$, com alteração em função dos tratamentos e dependência da profundidade de amostragem (Figura 11a). Os solos sob reflorestamento de araucária e mata nativa apresentaram maiores teores deste elemento em todas as camadas, com valor médio de 1,93 e 1,04 $cmol_c dm^{-3}$, respectivamente, passando para 0,28 $cmol_c dm^{-3}$ no pinus com 12 anos de idade. A concentração de Ca diminuiu em profundidade no solo.

Para magnésio, os teores no solo foram em média mais altos sob reflorestamento de araucária, com 0,83 $cmol_c dm^{-3}$ (Figura 11b). A variação da concentração deste elemento em profundidade não foi evidente para o solo sob cultivo de pinus, decrescendo em direção à subsuperfície nos demais sistemas. Os teores de Mg e Ca no solo sob reflorestamento de araucária tiveram influência da calagem efetuada na ocasião da sua implantação.

Em geral os teores de nutrientes adicionados ao solo em áreas florestais estão relacionados à ciclagem biológica, que é variável entre as espécies arbóreas (Gama Rodrigues et al., 1999), e depende da profundidade do sistema radicular, da sua habilidade em absorver nutrientes e disponibilidade no subsolo. As variações entre as quantidades de nutrientes no solo, como observadas nas áreas analisadas, podem estar ligadas ao aporte pela vegetação, assim como aspectos de imobilização, relacionados à velocidade de decomposição da serapilheira.

Esse comportamento diferenciado das espécies florestais na absorção de nutrientes e seu conseqüente efeito sobre os teores no solo foram relatados por Vezzani et al. (2001), que observaram teores mais baixos de K, Ca e Mg na camada de 0 a 10 cm de profundidade de um Argissolo Vermelho Amarelo, da Depressão Central do Rio Grande do Sul, quatro anos após monocultivo de eucalipto, em relação ao cultivo consorciado e solteiro de acácia negra. Em outro estudo, Bastide e Van Goor (1970), avaliando a

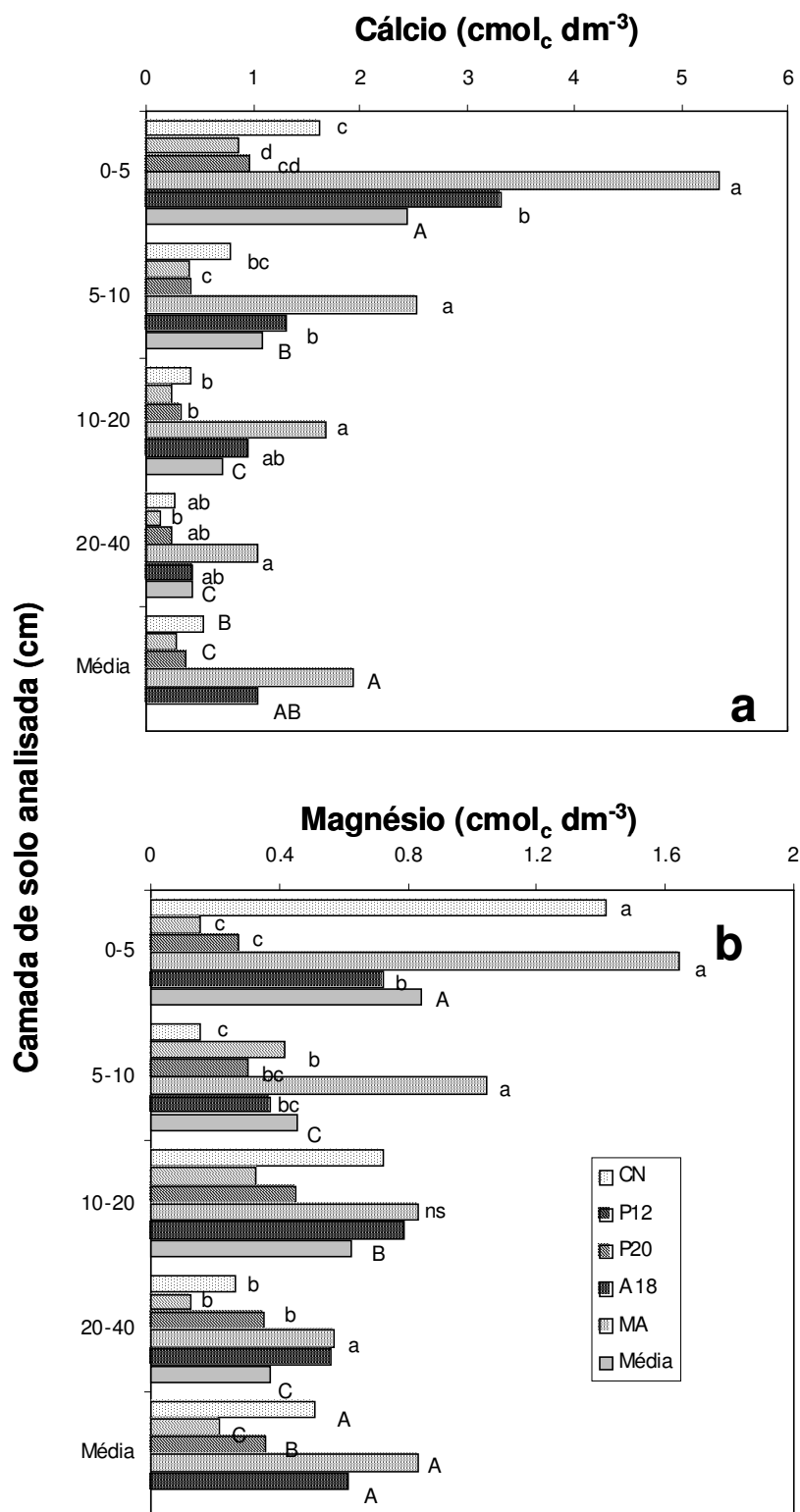


Figura 11. Teores de Cálcio (a) e Magnésio (b) em diferentes usos do solo, nas camadas de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm de profundidade, em Campo Belo do Sul, SC, (Média de oito repetições). CN = campo nativo; P12 = pinus com 12 anos de idade; P20 = pinus com 20 anos de idade; A18 = reflorestamento de araucária com 18 anos de idade e MA = mata nativa com araucária. Médias seguidas pela mesma letra, não diferem significativamente pelo teste de Duncan a 5%: letras minúsculas comparam camadas dentro de cada sistema, e letras maiúsculas comparam média dos sistemas nas quatro camadas).

concentração de nutrientes em acículas de *Araucaria angustifolia* e *Pinus elliottii*, encontraram menores teores em pinus, com maiores diferenças para Ca, Mg, K e P, o que esteve relacionado com o maior tempo de permanência das acículas desta espécie sobre o solo. Valeri et al. (1989), avaliando teores de nutrientes em povoamentos de *Pinus taeda* na região de Telêmaco Borba, PR, encontraram as seguintes concentrações médias de nutrientes (g kg^{-1} de matéria seca) em acículas para árvores com 7, 10 e 14 anos: 18,2 de N; 1,2 de P; 5,1 de K; 2,0 de Ca e 0,9 de Mg.

As relações entre os sistemas florestais e a composição química do solo anteriormente apresentadas são em grande parte corroboradas por Silva Júnior et al. (1987), que avaliaram duas espécies arbóreas folhosas e *Pinus elliotti* num Latossolo Vermelho Amarelo, de Viçosa, MG, na camada de 0 a 20 cm de profundidade, 19 anos após o plantio das árvores. Neste caso, constatou-se maior retorno de nutrientes ao solo por unidade de peso de matéria seca nas parcelas com folhosas em relação à conífera. Além disso, os teores de Ca e Mg no solo sob as folhosas foram cinco vezes mais elevados que no solo sob o pinus, concordando, porém em menor magnitude, com o apresentado nas Figuras 11a e 11b, respectivamente. Outra evidência interessante foi o maior teor de Al e o menor de K no solo sob pinus em relação às demais plantas, à semelhança do encontrado e apresentado nas Figuras 9b e 10b, respectivamente. Esses autores justificaram tais resultados em função da absorção diferenciada de nutrientes pelas árvores, além de variações quanto à lixiviação e velocidade de decomposição da serapilheira.

Em termos de liberação de nutrientes ao solo pela ciclagem pela biomassa da serapilheira, torna-se importante conhecer, além das quantidades acumuladas e anteriormente discutidas, a fenologia de deposição, a qual é dependente, sobretudo dos aspectos climáticos do ambiente. No caso da avaliação do acúmulo de serapilheira num plantio de *Araucaria angustifolia* no município de Lapa, PR, constatou-se que os períodos com maior queda ocorreram nos meses de dezembro e maio (Koehler et al., 1987).

Além dessas relações entre nutrientes na vegetação e no solo, é importante considerar variações nas concentrações de elementos nos diferentes compartimentos da planta, especialmente em relação às áreas florestais submetidas à exploração. A remoção de nutrientes que ocorre junto aos produtos florestais é dependente ainda da espécie, idade de corte, densidade de árvores e biomassa total produzida (Valeri et al., 1989). Os teores de nutrientes decrescem das folhas para galhos, casca e madeira (Silva Júnior et al., 1987). Neste aspecto, quando se pensa na sustentabilidade do sistema florestal deve-se deixar no

povoamento o máximo de resíduos florestais, uma vez que a redução na biomassa colhida é proporcionalmente, bem menor do que a quantidade de nutrientes que permanece na área (Barros e Comerford, 2002). Destaca-se que além dos nutrientes, a permanência dos resíduos na área representa o retorno da matéria orgânica para o solo.

Ressalta-se assim, a preocupação em virtude da tendência de maior extração de nutrientes em função de se aproveitar os resíduos da floresta para produção de energia, como observado na região de Lages, o que implicaria em cuidado adicional no planejamento das práticas de manejo em termos de garantia das condições de fertilidade do solo nas rotações subseqüentes, especialmente em solos dessaturados e com baixa reserva de nutrientes. Além do menor desenvolvimento vegetal, a deficiência nutricional seria um ponto a restringir o acúmulo de matéria orgânica no solo (Tate e Salcedo, 1988).

5. CONCLUSÕES

Os reflorestamentos de pinus e araucária mostram-se eficientes no armazenamento de C orgânico no solo, mantendo os estoques deste elemento na camada superficial do solo (0-40 cm) em níveis equivalentes aos ambientes naturais de mata e campo;

A acidez do solo, assim como os teores de Al trocável, foram em geral maiores nas áreas de campo nativo e nos reflorestamentos de pinus, em relação à mata nativa. No reflorestamento de araucária a calagem utilizada antes da implantação da floresta reduziu a acidez do solo;

Os teores de fósforo e potássio extraível e de cálcio e magnésio trocáveis do solo foram baixos a médios nesses solos, com variações entre os tratamentos, e decréscimo em profundidade.

O uso do solo em áreas florestais influenciou a dinâmica da matéria orgânica e o comportamento químico do solo, especialmente na camada superficial, o que pode ser relacionado com a absorção de nutrientes pelas plantas e com a deposição de serapilheira.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEXANDER, C.E.; CRESSE, M.S. An assessment of the possible impact of expansion of native woodland cover on the chemistry of Scottish freshwaters. *Forest Ecology and Management*, v.73, p.1-27, 1995.

BALBINOT, R.; SCHUMACHER, M.V.; WATZLAWICK, L.F.; SANQUETTA, C.R. Inventário do carbono orgânico em um plantio de *Pinus taeda* aos 5 anos de idade no Rio Grande do Sul. *Revista Ciências Exatas e Naturais*, v.5, p.59-68, 2003.

BALDOCK, J.A.; NELSON, P.N. Soil organic matter. In: SUMNER, M.E. (Ed.) *Handbook of soil science*. Boca Raton: CRC Press, 2000. p.B25-B84.

BARROS, N.F.; COMERFORD, N.B. Sustentabilidade da produção de florestas plantadas na região tropical. *Tópicos em Ciência do Solo, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo*, v.2, p.487-592, 2002.

BASTIDE, J.G.A.; VAN GOOR, C.P. Growth-site relationships in plantations of *Pinus elliotti* and *Araucaria angustifolia* in Brazil. *Plant and Soil*, v.32, p.349-366, 1970.

BATJES, N.H. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *European Journal of Soil Science*, v.47, p.151-163, 1996.

BATJES, N.H. Mitigation of atmospheric CO₂ concentrations by increased carbon sequestration in the soil. *Biology and Fertility of Soils*, v.27, p.230-235, 1998.

BAYER, C.; MARTIN NETO, L.; MIELNICZUK, J. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.39, p.677-683, 2004.

BESNARD, E.; CHENU, C.; BALESSENT, J.; PUGET, P.; ARROUAYS, D. Fate of particulate organic matter in soil aggregates during cultivation. *European Journal of Soil Science*, v.47, p.495-503, 1996.

BROWN, S.; ANDERSON, J.M.; WOOMER, P.L.; SWIFT, M.J.; BARRIOS, E. Soil biological processes in tropical ecosystems. In: WOOMER, P.L.; SWIFT, M.J. (Eds.) *The biological management of tropical soil fertility*. Chichester: John Wiley and Sons, 1994. p.15-46.

CAMBARDELLA, C.A., ELLIOT, E. T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Science Society of America Journal*, v.56, p.777-783, 1992.

CAMPOS, C.P. A conservação das florestas no Brasil, mudança do clima e o mecanismo do desenvolvimento limpo do Protocolo de Quioto. 2001. 196p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Ciências em Planejamento Energético. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

- CERRI, C.C.; BERNOUX, M.; CERRI, C.E.P.; FELLER, C. Carbon cycling and sequestration opportunities in South America: the case of Brazil. *Soil Use and Management*, v.20 (Special Issue 1), p.248-254, 2004.
- CHANG, M.Y. Sequestro florestal de carbono no Brasil: Dimensões políticas, sócio-econômicas e ecológicas. São Paulo: Annablume, 2004. 278p.
- CHRISTENSEN, B.T. Physical fractionation of soil and organic matter in primary particle size and density separates. *Advances in Soil Science*, v.20, p.1-90, 1992.
- COLEMAN, D.C.; OADES, J.M.; UEHARA, G. Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems. Hawaii, NIFTAL, 1989. 249p.
- CORAZZA, E.J.; SILVA, J.E.; DESCK, D.V.S.; GOMES, A.C. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação de cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.23, p.425-432, 1999.
- CÓSER, A.C.; MARTINS, C.E.; FONTES, L.E.F.; BARROS, N.F.; SARAIVA, O.F. Efeito de diferentes coberturas vegetais sobre as características físicas e químicas de um Latossolo Vermelho-Amarelo álico. *Revista Ceres*, v.37, n.210, p.167-176, 1990.
- DESJARDINS, T.; ANDREUX, F.; VOLKOFF, B.; CERRI, C.C. Organic carbon and ¹³C contents and soil size-fractions, and their changes due to deforestation and pasture installation in eastern Amazonia. *Geoderma*, v.61, p.103-118, 1994.
- DRUMOND; M.A.; BARROS, N.F.; SOUZA, A.L.; SILVA, A.F. Distribuição de biomassa e de nutrientes em diferentes coberturas florestais e pastagem na região do médio Rio Doce-MG. *Revista Árvore*, v.21, p.187-199, 1997.
- 226 MIL hectares reflorestados. *Expressiva*, Lages, v.3, n.27, p.12, jun.4004.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de Métodos de Análise de Solo. 2.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997. 212p.
- FEARNSIDE, P.M. Forests and global warming mitigation in Brazil: opportunities in the Brazilian forest sector for responses to global warming under the "clean development mechanism". *Biomass and Bioenergy*, v.16, p.171-189, 1999.
- FEARNSIDE, P.M. Uncertainty in land-use change and forestry sector mitigation options for global warming: Plantation silviculture versus avoided deforestation. *Biomass and Bioenergy*, v.18, p.457-468, 2000.
- FEARNSIDE, P.M. As florestas no acordo do clima. *Ciência Hoje*, v.29, n.171, p.60-62, 2001.
- FEISTAUER, D.; OURIQUES, M.; MONTOYA, L.J.; VIEIRA, A.R.R.; SOARES, A. Sequestro de carbono de um sistema agroflorestal com bracatinga (*Mimosa scabrella* Bentham) na região metropolitana de Curitiba, PR. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 5. Anais. Curitiba: EMBRAPA Florestas, 2004. p.175-177. (Documentos, 98)
- FELLER, C.; BEARE, M.H. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. *Geoderma*, v.79, p.69-116, 1997.
- FERNANDES, A.V.; BACKES, A. Produtividade primária em floresta com *Araucaria angustifolia* no Rio Grande do Sul. *Iheringia, Série Botânica*, v.50, p.63-78, 1998.

- FERRAZ, C.; MOTTA, R.S. Exploração florestal, sustentabilidade e o mecanismo de desenvolvimento limpo. *Ciência e Ambiente*, n.20, p.83-98, 2000.
- 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 estado do Paraná. *Ciência Florestal*, v.13, p.11-18, 2003.
- FLOSS, P.A.; CALDATO, S.L.; BOHNER, J.A.M. Produção e decomposição de serapilheira na Floresta Ombrófila Mista da Reserva Florestal da EPAGRI/EMBRAPA de Caçador, SC. *Agropecuária Catarinense*, v.12, n.2, p.19-22, 1999.
- GAMA RODRIGUES, A.C.; BARROS, N.F.; MENDONÇA, E.S. Alterações edáficas sob plantios puros e mistos de espécies florestais nativas do sudoeste da Bahia, Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.23, p.581-592, 1999.
- GUERRA, J.G.M.; SANTOS, G.A. Métodos químicos e físicos. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. Fundamentos da matéria orgânica do solo. *Ecossistemas tropicais e subtropicais*. Porto Alegre: Gênese, 1999. p.297-291.
- HAAG, H.P. Ciclagem de nutrientes em florestas tropicais. Campinas: Fundação Cargill, 1985. 144p.
- HOUGHTON, J.T.; DING, Y.; GRIGGS, D.J.; NOGUER, M.; VAN DER LINDEN, P.J.; XIAOSU, D. (Eds.) *Climate change: The scientific basis. Assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, 2001. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/pub/reports.htm>> Acesso em: 07 mar. 2005.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL. Zoneamento econômico florestal do Estado do Rio Grande do Sul. Curitiba: IBDF, 1971. 125p.
- KOEHLER, C.W.; REISSMANN, C.B.; KOELER, H.S. Deposição de resíduos orgânicos (serapilheira) e nutrientes em plantios de *Araucaria angustifolia* em função do sítio. *Revista do Setor de Ciências Agrárias*, v.9, p.89-96, 1987.
- LANDSBERG, J.J. Nutrient dynamics and tree growth. In: LANDSBERG, J.J. *Physiological ecology of Forest production*. London: Academic Press, 1986. p.111-132.
- LARCHER, W. *Ecofisiologia vegetal*. São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária, 1986. 319p.
- LARSEN, J.B. Ecological stability of forests and sustainable silviculture. *Forest Ecology and Management*, v.73, p.85-96, 1995.
- LEMOS, R.C.; SANTOS, R.D. *Manual de descrição e coleta de solo no campo*. 4.ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. 83p.
- LEPSCH, I.F. Influência do cultivo de *Eucalyptus* e *Pinus* nas propriedades químicas de solos sob cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.4, p.103-107, 1980.
- LILIENFEIN, J.; WILCKE, W. Element storage in native, agri-, and silvicultural ecosystems of the Brazilian savanna. I. Biomass, carbon, nitrogen, phosphorus, and sulfur. *Plant and Soil*, v.254, p.425-442, 2003.
- LILIENFEIN, J.; WILCKE, W.; AYARZA, M.A.; VILELA, L.; LIMA, S.C.; ZECH, W. Soil acidification in *Pinus caribaea* forests on Brazilian savanna Oxisols. *Forest Ecology and Management*, v.128, p.145-157, 2000.

- LILLENFEIN, J.; WILCKE, W.; THOMAS, R.; VILELA, L.; LIMA, S.C.; ZECH, W. Effects of *Pinus caribaea* plantations on the C, N, P, and S status of Brazilian savanna Oxisols. *Forest Ecology and Management*, v.147, p.171-182, 2001.
- LIMA, M.A.; MIGUEZ, J.D.G.; KITAMURA, P.C.; STACHETTI, G.R. (Org.) Mudanças climáticas globais e a agropecuária brasileira. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 1999. 66p. (Documentos Embrapa Meio Ambiente, 04)
- LIMA, V.C.; LIMA, J.M.J.C.; CERRI, C.C.; FRANZON, J.F. Efeito da substituição de campo natural por *Pinus* na dinâmica do carbono do solo. *Revista do Setor de Ciências Agrárias*, v.14, p.7-12, 1995.
- LIMA, W.P. Impacto ambiental do eucalipto. São Paulo: EDUSP, 1996. 301p.
- MACHADO, P.L.O.A.; BODDEY, R.; MADARI, B.; ALVES, B.J.; URQUIAGA, S. Os solos brasileiros e o seqüestro de carbono. *Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo*, v.29, n.3, p.21-25, 2004.
- MAGDOFF, F. Soil organic matter fractions and implications for interpreting organic matter tests. In: MAGDOFF, F. et al. (Eds) *Soil organic matter: analysis and interpretation*. Madison, SSSA, 1996. p.11-19. (Special publication, 46)
- MAINARDI, G.L.; SCHNEIDER, P.R.; FINGER, C.A.G. Produção de *Pinus taeda* L. na região de Cambará do Sul, RS. *Ciência Florestal*, v.6, p.39-52, 1996.
- MAHLMAN, J.D. Uncertainties in projections of human-caused climate warming. *Science*, v.278, p.1416-1417, 1997.
- MEURER, E.J. Fundamentos de química do solo. 2.ed. Porto Alegre: Gênese, 2004. 290p.
- MIELNICZUK, J. Matéria orgânica e a sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. (Eds.) *Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais*. Porto Alegre: Gênese, 1999. p.1-8.
- MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. Convenção sobre Mudança do Clima: O Brasil e a Convenção Quadro das Nações Unidas. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br/clima>> Acesso em: 10/03/2005.
- NABINGER, C.; MORAES, A.; MARASCHIN, G.E. Campos in southern Brazil. In: LEMAIRE, G.; HODGSON, J.; MORAES, A.; NABINGER, C.; CARVALHO, P.C.F. *Grassland ecophysiology and grazing ecology*. London: CAB International, 2000. p.355-376.
- NABUURS, G.J.; SIKKEMA, R. International trade in wood products: its role in the land use change and forestry carbon cycle. *Climatic Change*, v.49, p.377-395, 2001.
- NELSON, D.L.; SOMMERS, L.E. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: SPARKS, D.L. et al. *Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods*. Madison: American Society of Agronomy, 1996. p.961-1010.
- NEUFELDT, A.; RESCK, D.V.S.; AYARZA, M.A. Texture and land-use effects on soil organic matter in Cerrado Oxisols, Central Brazil. *Geoderma*, v.107, p.151-164, 2002.
- NOBRE, C.A. O aquecimento global e o papel do Brasil. *Ciência Hoje*, v.35, n.211, p.38-40, 2004.
- PERINI, P.M. Estocagem de carbono no solo no setor sucroalcooleiro sob cultivo biodinâmico: Perspectivas junto ao MDL. 2004. 120p. Dissertação (Mestrado em Ciência

Ambiental) - Programa de Pós-Graduação em Ciência Ambiental. Universidade de São Paulo, São Paulo.

REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; BRAIDA, J.A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. *Ciência e Ambiente*, n.27, p.29-48, 2003.

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S.B.; CORRÊA, G.F. *Pedologia: base para distinção de ambientes*. Viçosa: Núcleo de Estudo de Planejamento de Uso da Terra, 1995. 304p.

ROSCOE, R.; MACHADO, P.O.A. *Fracionamento Físico do solo em estudos da matéria orgânica*. Dourados, Embrapa Agropecuária Oeste; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. 86p.

SANTA CATARINA. Gabinete de Planejamento e Coordenação Geral. Sub-chefia de Estatística, Geografia e Informática. *Atlas de Santa Catarina*. Rio de Janeiro, Aerofoto Cruzeiro, 1986. 176p.

SCARPINELLA, G.D'A. *Reflorestamento no Brasil e o Protocolo de Quioto*. 2002. 182p. Dissertação (Mestrado em Energia) - Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia. Universidade de São Paulo, São Paulo.

SCHEEREN, L.W.; GEHARDT, E.J.; FINGER, C.A.G.; LONGHI, S.J.; SCHNEIDER, P.R. Agrupamentos de unidades amostrais de *Araucária angustifolia* (Bert.) O. Ktze. em função de variáveis do solo, da serapilheira e das acículas, na região de Canela, RS. *Ciência Rural*, v.10, p.39-57, 2000.

SCHLESINGER, W.H. *Biogeochemistry: an analysis of global change*. 2.ed. San Diego: Academic press, 1997. 588p.

SIQUEIRA, J.O.; FRANCO, A.A. *Biotecnologia do solo: fundamentos e perspectivas*. Brasília: Ministério da Educação e Cultura, 1988. 236p.

SILVA, L.F. Alterações edáficas provocadas por essências florestais implantadas em solos de tabuleiro no Sul da Bahia. *Revista Theobroma*, v.18, p.259-267, 1988.

SILVA, L.F. *Solos tropicais: aspectos pedológicos, ecológicos e de manejo*. São Paulo: Terra Brasilis, 1996. 137p.

SILVA JÚNIOR, M.C.; BARROS, N.F.; PINHEIRO, A.L. Concentração de nutrientes e efeito sobre a fertilidade do solo de três espécies florestais na região de Viçosa, MG. *Brasil Florestal*, v.19, p.43-48, 1987.

SHANG, C.; TIESSEN, H. Organic matter lability in tropical oxisol: evidence from shifting cultivation, chemical oxidation, particle size, density, and magnetic fractionations. *Soil Science*, v.162, p.795-807, 1997.

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*, v.164, p.257-263, 2002.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. Comissão de Química e Fertilidade do Solo. *Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina*. 10.ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Comissão de Química e Fertilidade do Solo, 2004. 400p.

TATE, K.R.; SALCEDO, I.H. Phosphorus control of soil organic matter accumulation and cycling. *Biogeochemistry*, v.5, p.99-107, 1988.

- TEDESCO, M. J.; VOLKWEISS, S.J.; BOHNEN, H. Análises de solo, plantas e outros materiais. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p.
- TREVISAN, E.; REISSMANN, C.B.; KOEHLER, C.W.; LIMA, J.M.J.C. Morfologia dos horizontes orgânicos acumulados sob povoamento de *Pinus taeda* L., em três sítios distintos. Revista do Setor de Ciências Agrárias, v.9, p.59-62, 1987.
- VALERI, S.V.; REISSMANN, C.B.; SANTOS FILHO, A. Exportação de nutrientes de povoamentos de *Pinus taeda* L. desbastados em diferentes idades. Revista Floresta, v.19, p.62-68, 1989.
- VALVERDE, S.R.; MATTOS, A.D.M.; JACOVINE, L.A.G.; SILVA, M.L.; NEIVA, S.A. Oportunidades do Mercado de CO₂. Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.29, n.3, p.34-37, 2004.
- VEZZANI, F.M.; TEDESCO, M.J.; BARROS, N.F. Alterações dos nutrientes no solo e nas plantas em consórcio de eucalipto e acácia negra. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.25, n.225-231, 2001.
- VOGT, K.A.; GRIER, C.C.; VOGT, D.J. Production, turnover and nutrient dynamics of above and belowground detritus of world forests. Advances in Ecological Research, v.15, p.303-317. 1986.
- WANDER, M.M.; TRAINA, B.R.; STINNER, B.R.; PETERS, S.E. Organic and conventional management effects on biologically active soil organic matter pools. Soil Science Society of America Journal, v.58, p.1130-1139, 1994.
- WIGLEY, T.M.L.; SCHIMMEL, D.S. The carbon cycle. Cambridge: Cambridge University Press, 2000. 292p.
- WISNIEWSKI, C.; REISSMANN, C.B. Deposição de serapilheira e de nutrientes em plantios de *Pinus taeda* L. na região de Ponta Grossa, PR. Arquivos de Biologia e Tecnologia, v.39, p.435-442, 1996.

ANEXO 1 – Resultados analíticos obtenidos

Trat	Prof	Rep	COT	eCOT	tCOP	COP	COM	pHa	pHs	SMP	P	K	Ca	Mg	Al
CN	0-5	1	53,30	43,93	57,65	4,35	48,95	5,30	4,11	5,67	3,61	0,574	1,92	1,54	5,25
CN	0-5	2	52,23	50,02	54,90	4,09	48,14	4,94	4,15	5,84	2,90	0,397	2,04	1,90	5,50
CN	0-5	3	44,36	41,71	39,80	2,60	41,76	5,08	4,20	5,82	12,41	0,433	2,16	1,72	3,63
CN	0-5	4	52,23	47,98	42,91	1,64	50,59	5,23	4,90	5,78	13,07	0,369	1,08	1,19	5,63
CN	0-5	5	45,87	43,57	49,74	3,05	42,82	4,99	4,09	5,66	3,93	0,241	1,32	0,89	6,63
CN	0-5	6	47,55	45,83	31,50	1,67	45,88	5,27	4,10	5,56	11,25	0,256	1,20	0,89	7,38
CN	0-5	7	53,03	43,11	90,12	6,04	46,99	5,05	4,18	5,75	16,10	0,513	1,68	1,60	5,50
CN	0-5	8	49,58	40,98	47,22	4,04	45,54	5,11	4,08	5,74	8,58	0,413	1,56	1,66	6,00
CN	5-10	1	37,65	38,30	24,87	1,51	36,14	5,13	4,10	5,72	2,98	0,177	0,84	0,24	7,63
CN	5-10	2	39,51	33,60	38,68	2,04	37,47	4,95	3,96	5,68	1,29	0,256	0,84	0,06	7,63
CN	5-10	3	32,52	35,59	20,87	1,13	31,40	5,17	4,07	5,66	11,04	0,136	0,72	0,18	6,75
CN	5-10	4	35,91	36,02	23,08	1,51	34,40	5,22	4,00	5,59	9,21	0,203	0,60	0,18	8,00
CN	5-10	5	39,77	38,65	27,45	2,02	37,76	5,07	4,06	5,60	10,21	0,182	0,72	0,12	8,00
CN	5-10	6	38,44	36,44	42,34	2,46	35,98	5,11	4,08	5,59	2,70	0,128	0,60	0,12	7,38
CN	5-10	7	35,00	34,95	22,24	1,79	33,21	5,00	4,06	5,75	9,85	0,185	0,84	0,18	7,50
CN	5-10	8	38,98	37,98	38,68	1,75	37,22	5,08	4,05	5,55	3,80	0,231	1,20	0,12	7,13
CN	10-20	1	26,57	26,99	17,67	0,89	25,67	5,15	4,10	5,70	7,70	0,113	0,36	0,65	7,38
CN	10-20	2	29,59	29,43	26,90	1,72	27,87	4,91	4,01	5,73	1,83	0,138	0,36	0,95	9,88
CN	10-20	3	30,48	32,15	18,91	1,07	29,41	5,01	4,08	5,62	1,61	0,108	0,48	0,83	9,25
CN	10-20	4	33,17	36,48	20,28	1,18	31,99	5,19	4,07	5,56	1,65	0,115	0,48	0,65	8,75
CN	10-20	5	32,77	34,07	23,33	1,27	31,50	4,99	4,02	5,59	1,83	0,113	0,24	0,53	8,13
CN	10-20	6	33,98	36,82	44,20	3,16	30,82	5,17	4,06	5,74	5,81	0,110	0,36	0,41	8,75
CN	10-20	7	34,20	33,92	16,47	1,22	32,98	5,02	4,04	5,62	3,06	0,123	0,36	0,71	9,25
CN	10-20	8	35,95	36,31	23,61	1,82	34,13	5,24	4,07	5,58	1,01	0,164	0,60	1,01	8,38
CN	20-40	1	25,93	29,78	20,98	1,03	24,90	5,15	4,09	5,78	1,70	0,079	0,24	0,18	8,38
CN	20-40	2	24,66	26,33	24,71	1,43	23,22	4,96	4,01	5,72	8,04	0,092	0,24	0,30	8,00
CN	20-40	3	29,64	32,43	15,73	0,81	28,82	5,00	4,03	5,78	0,76	0,095	0,36	0,36	9,25
CN	20-40	4	27,48	30,08	11,01	0,54	26,94	5,00	4,09	5,57	5,97	0,074	0,24	0,36	8,63
CN	20-40	5	29,11	31,33	18,67	1,22	27,89	5,00	4,02	5,56	3,10	0,072	0,24	0,12	10,50
CN	20-40	6	27,58	31,14	15,94	1,13	26,46	5,13	4,07	5,79	0,60	0,103	0,36	0,12	8,00
CN	20-40	7	31,18	34,82	13,73	0,96	30,22	5,01	4,05	5,84	6,50	0,110	0,24	0,24	9,25
CN	20-40	8	26,41	28,78	17,29	0,92	25,49	5,10	4,07	5,66	0,78	0,108	0,24	0,41	7,75
P12	0-5	1	40,04	28,80	48,59	4,91	35,13	4,65	3,82	5,62	2,38	0,092	0,36	0,18	10,50
P12	0-5	2	42,69	34,61	59,02	7,20	35,49	4,55	3,87	5,10	2,97	0,095	0,24	0,12	9,63
P12	0-5	3	38,19	28,58	29,27	2,31	35,89	4,68	3,93	5,40	6,55	0,113	1,92	0,18	7,25
P12	0-5	4	47,20	38,88	42,00	4,42	42,77	4,44	3,94	5,02	5,05	0,095	0,12	0,18	9,13
P12	0-5	5	46,93	37,06	54,08	5,44	41,49	4,65	3,89	5,34	4,84	0,077	0,84	0,12	8,63
P12	0-5	6	45,73	36,30	32,00	3,04	42,69	4,79	4,02	5,42	4,82	0,077	1,08	0,18	8,63
P12	0-5	7	45,87	40,88	70,57	7,88	38,00	4,58	3,82	5,23	4,95	0,074	0,60	0,12	8,38
P12	0-5	8	52,23	39,13	62,31	5,49	46,75	4,87	3,86	5,61	2,09	0,059	1,68	0,12	8,88
P12	5-10	1	36,33	36,58	30,14	2,74	33,59	4,95	3,96	5,24	9,01	0,090	0,36	0,18	8,63
P12	5-10	2	32,08	30,68	21,25	1,70	30,39	4,69	3,96	5,39	8,17	0,087	0,72	0,12	10,38
P12	5-10	3	36,30	30,53	21,09	2,06	34,25	4,77	4,10	5,80	2,61	0,074	0,36	0,47	7,25
P12	5-10	4	43,22	40,89	18,47	1,80	41,42	4,75	4,10	5,51	2,13	0,062	0,36	0,06	7,88
P12	5-10	5	44,02	37,76	35,71	3,43	40,59	4,81	4,10	5,60	3,56	0,056	0,48	0,12	8,38
P12	5-10	6	42,19	41,85	18,67	1,57	40,62	4,81	4,05	5,25	1,44	0,059	0,24	1,13	9,13
P12	5-10	7	39,77	40,92	16,80	1,32	38,46	4,75	3,93	5,36	3,41	0,082	0,36	0,65	9,88
P12	5-10	8	35,80	34,43	28,99	2,58	33,22	4,84	3,90	5,42	1,36	0,059	0,24	0,65	13,63
P12	10-20	1	33,25	35,11	24,09	1,89	31,36	4,91	3,99	4,96	7,19	0,087	0,36	0,18	8,75
P12	10-20	2	31,98	33,95	21,41	1,71	30,27	4,73	4,02	5,36	1,70	0,059	0,12	0,83	10,88
P12	10-20	3	29,44	28,59	13,44	1,25	28,19	4,86	4,30	5,95	0,01	0,028	0,12	0,06	6,38
P12	10-20	4	33,09	33,03	11,04	1,14	31,95	4,83	4,16	5,58	0,98	0,054	0,24	0,36	7,00
P12	10-20	5	34,84	37,98	19,11	1,50	33,34	4,90	4,18	5,54	1,42	0,044	0,24	0,36	8,00
P12	10-20	6	34,24	36,87	13,44	1,07	33,17	4,75	4,02	5,22	1,67	0,046	0,36	0,36	9,63

Continuação

Trat	Prof	Rep	COT	eCOT	tCOP	COP	COM	pHa	pHs	SMP	P	K	Ca	Mg	Al
P12	10-20	7	33,57	35,43	13,32	1,32	32,25	4,72	3,99	5,34	1,43	0,051	0,24	0,36	9,50
P12	10-20	8	31,50	34,75	15,15	1,04	30,46	4,74	3,94	5,51	2,40	0,054	0,24	0,18	8,75
P12	20-40	1	31,98	34,66	9,39	0,79	31,18	4,85	3,94	5,21	1,00	0,062	0,12	0,12	9,88
P12	20-40	2	23,23	25,43	10,05	0,74	22,48	4,93	4,06	5,30	0,01	0,031	0,12	0,12	8,13
P12	20-40	3	26,49	28,97	4,93	0,55	25,94	4,98	4,21	5,89	0,17	0,031	0,12	0,12	5,50
P12	20-40	4	21,16	23,82	11,86	0,97	20,18	4,95	4,20	5,75	0,03	0,023	0,12	0,12	6,13
P12	20-40	5	28,48	30,36	9,88	0,87	27,61	4,93	4,18	5,71	0,16	0,031	0,12	0,12	6,38
P12	20-40	6	26,29	28,09	7,54	0,67	25,62	4,74	4,03	5,33	0,02	0,028	0,12	0,12	9,00
P12	20-40	7	27,36	29,92	8,22	0,52	26,84	4,90	4,02	5,40	0,48	0,051	0,12	0,12	10,25
P12	20-40	8	26,73	29,98	9,55	0,66	26,07	4,75	4,00	5,74	0,14	0,046	0,12	0,12	10,50
P20	0-5	1	47,73	44,74	31,46	2,95	44,78	4,41	3,81	4,66	12,67	0,095	0,72	0,36	10,38
P20	0-5	2	49,52	49,95	46,94	3,95	45,57	4,65	3,83	4,80	7,71	0,092	1,08	0,36	8,13
P20	0-5	3	53,56	47,27	39,20	4,42	49,14	4,82	4,02	5,11	10,09	0,087	0,12	0,06	7,50
P20	0-5	4	37,12	37,69	28,29	1,54	35,58	4,57	3,86	5,15	12,03	0,097	0,48	0,30	9,88
P20	0-5	5	48,79	37,15	39,53	3,24	45,55	4,66	3,90	5,18	10,24	0,136	1,92	0,30	9,88
P20	0-5	6	39,69	32,98	22,30	1,40	38,30	4,44	3,87	5,05	14,95	0,108	1,56	0,30	9,00
P20	0-5	7	48,54	39,02	43,65	3,57	44,97	4,37	3,71	4,87	12,36	0,108	0,72	0,24	10,13
P20	0-5	8	43,75	38,52	54,13	3,94	39,81	4,54	3,86	5,00	9,55	0,113	1,20	0,24	10,25
P20	5-10	1	32,08	35,45	26,68	1,96	30,12	4,46	3,84	4,94	11,91	0,090	0,24	0,41	9,25
P20	5-10	2	35,00	36,03	17,53	1,33	33,67	4,68	3,93	5,11	7,72	0,092	0,24	0,30	10,50
P20	5-10	3	36,59	36,16	18,94	1,30	35,29	4,94	3,98	4,92	6,02	0,097	1,08	0,47	7,63
P20	5-10	4	38,70	39,28	17,54	1,58	37,12	4,40	3,86	5,19	10,49	0,087	0,60	0,30	10,25
P20	5-10	5	41,36	41,20	21,45	1,66	39,71	4,54	3,89	5,07	12,42	0,105	0,48	0,24	9,50
P20	5-10	6	37,94	35,16	14,97	0,92	37,02	4,66	3,88	4,77	11,63	0,095	0,36	0,18	10,88
P20	5-10	7	36,86	36,18	22,82	1,64	35,21	4,57	3,87	4,90	11,79	0,087	0,24	0,18	9,25
P20	5-10	8	38,18	35,91	22,96	1,27	36,91	4,56	4,09	5,57	9,35	0,095	0,12	0,36	9,13
P20	10-20	1	30,26	34,83	34,29	1,98	28,28	4,37	3,90	5,14	3,93	0,097	0,36	0,53	10,25
P20	10-20	2	36,10	37,69	20,82	1,41	34,69	4,66	3,90	4,98	8,84	0,074	0,24	0,24	8,88
P20	10-20	3	35,95	35,64	16,96	1,29	34,67	4,75	3,93	4,83	9,38	0,105	0,72	0,24	9,00
P20	10-20	4	39,41	44,93	11,51	0,75	38,65	4,43	3,89	4,88	3,27	0,059	0,36	0,77	10,25
P20	10-20	5	35,95	37,41	16,15	1,07	34,89	4,73	3,91	5,00	5,81	0,090	0,12	0,71	9,00
P20	10-20	6	37,23	37,85	7,64	0,54	36,69	4,62	3,88	5,10	10,04	0,090	0,24	0,30	10,50
P20	10-20	7	34,68	33,67	13,53	0,97	33,71	4,43	3,93	4,98	2,20	0,074	0,12	0,47	10,25
P20	10-20	8	32,30	31,18	18,00	1,05	31,25	4,54	3,88	4,92	3,57	0,090	0,36	0,36	11,00
P20	20-40	1	29,95	31,00	12,32	0,77	29,18	4,58	3,83	4,84	10,40	0,087	0,12	0,41	11,13
P20	20-40	2	29,43	31,44	14,45	0,33	29,10	4,56	3,89	5,02	7,59	0,064	0,24	0,24	10,50
P20	20-40	3	35,00	35,87	10,05	0,67	34,33	4,47	3,93	5,02	1,75	0,056	0,36	0,36	9,25
P20	20-40	4	28,12	28,02	5,85	0,44	27,68	4,53	3,90	4,99	7,49	0,077	0,24	0,36	12,38
P20	20-40	5	34,68	34,34	7,69	0,60	34,09	4,46	3,92	5,24	7,03	0,072	0,24	0,30	10,13
P20	20-40	6	32,61	35,38	5,35	0,36	32,24	4,42	3,94	5,28	1,87	0,056	0,12	0,24	8,00
P20	20-40	7	29,95	31,06	12,68	0,85	29,09	4,57	3,96	5,21	8,69	0,059	0,24	0,24	9,50
P20	20-40	8	36,75	36,21	15,32	1,04	35,71	4,55	3,92	5,16	7,37	0,077	0,36	0,65	10,00
A18	0-5	1	38,45	39,85	24,66	0,80	37,65	5,22	4,37	5,84	7,02	0,313	3,24	1,30	4,00
A18	0-5	2	38,91	37,60	31,30	1,88	37,02	5,36	4,46	5,84	6,41	0,169	1,56	1,78	6,00
A18	0-5	3	43,22	42,65	71,98	3,60	39,62	5,36	4,41	6,02	8,82	0,162	8,04	1,60	2,25
A18	0-5	4	39,77	41,84	56,82	2,92	36,85	4,81	3,81	5,30	4,21	0,115	7,32	1,66	1,75
A18	0-5	5	31,60	32,71	16,43	0,48	31,12	5,38	4,05	5,79	6,41	0,164	1,92	1,42	6,13
A18	0-5	6	40,57	43,60	45,29	2,68	37,88	5,36	4,19	5,74	10,17	0,141	9,48	1,01	2,38
A18	0-5	7	38,49	41,46	53,53	3,00	35,49	5,63	4,51	6,08	4,20	0,121	7,20	2,19	0,50
A18	0-5	8	45,61	46,38	62,86	4,09	41,52	5,49	4,44	5,94	4,09	0,128	4,08	2,13	5,50
A18	5-10	1	32,35	35,93	16,15	0,79	31,56	5,08	4,14	5,64	4,01	0,190	2,76	0,59	6,38
A18	5-10	2	40,22	43,53	27,81	1,33	38,88	5,30	4,15	5,68	2,57	0,110	0,72	0,41	9,63
A18	5-10	3	31,55	35,48	36,51	1,57	29,98	5,21	4,04	5,47	1,68	0,097	3,24	1,60	4,13
A18	5-10	4	31,29	32,83	26,08	1,42	29,87	4,73	3,87	5,48	2,58	0,092	2,16	0,95	5,50
A18	5-10	5	28,60	30,43	6,26	0,23	28,36	5,22	4,23	5,76	2,07	0,090	3,72	0,41	2,75

Continuação

Trat	Prof	Rep	COT	eCOT	tCOP	COP	COM	pHa	pHs	SMP	P	K	Ca	Mg	Al
A18	5-10	6	34,47	34,75	32,45	1,47	33,00	5,25	4,04	5,40	1,61	0,105	3,48	1,84	4,25
A18	5-10	7	35,80	40,16	30,19	1,75	34,05	4,66	4,30	5,54	3,20	0,108	3,96	1,90	3,00
A18	5-10	8	31,29	34,82	27,18	1,52	29,76	5,23	4,03	5,30	2,75	0,095	0,12	0,59	6,75
A18	10-20	1	25,27	27,70	13,89	0,41	24,85	4,92	4,08	5,63	1,40	0,159	2,04	0,71	6,75
A18	10-20	2	35,14	37,05	29,86	1,54	33,60	4,85	4,06	5,60	3,24	0,079	0,36	0,24	9,25
A18	10-20	3	32,30	37,62	23,81	1,52	30,77	5,13	4,02	5,71	5,93	0,100	2,04	1,07	5,00
A18	10-20	4	29,75	32,59	18,61	0,83	28,92	4,96	3,91	5,63	1,58	0,156	2,16	0,71	6,00
A18	10-20	5	27,32	29,92	8,64	0,32	27,00	5,26	4,11	5,70	12,78	0,118	1,08	1,07	7,25
A18	10-20	6	26,09	28,18	19,38	0,72	25,37	5,26	4,06	5,48	0,94	0,059	2,40	0,83	6,38
A18	10-20	7	31,50	33,69	29,76	1,25	30,25	5,41	4,15	5,77	1,73	0,085	1,92	1,19	7,13
A18	10-20	8	26,25	28,66	16,47	0,76	25,49	5,01	4,01	5,50	1,95	0,095	1,32	0,83	7,13
A18	20-40	1	27,23	29,56	6,18	0,27	26,95	4,93	4,00	5,76	7,14	0,126	1,32	0,65	7,63
A18	20-40	2	24,88	28,19	10,52	0,42	24,46	5,00	3,94	5,89	0,63	0,059	0,24	0,18	9,75
A18	20-40	3	28,32	32,87	9,53	0,47	27,85	5,15	4,05	5,64	6,66	0,067	1,08	0,71	7,63
A18	20-40	4	21,80	23,65	12,49	0,32	21,47	5,07	3,90	5,53	0,14	0,051	1,80	0,77	6,75
A18	20-40	5	21,59	22,87	12,97	0,41	21,18	5,15	4,03	5,62	5,70	0,067	0,36	0,41	7,63
A18	20-40	6	24,50	25,54	22,39	0,97	23,53	5,01	4,04	5,47	0,13	0,054	1,56	0,89	7,75
A18	20-40	7	25,45	28,26	11,20	0,54	24,91	5,24	4,13	5,86	2,97	0,051	0,96	0,71	7,88
A18	20-40	8	26,89	27,76	14,41	0,56	26,33	5,13	4,02	5,80	0,45	0,051	1,08	0,24	8,75
MA	0-5	1	47,73	43,54	42,09	3,20	44,53	4,54	3,96	5,42	17,07	0,213	2,88	0,59	4,25
MA	0-5	2	57,27	46,05	32,39	2,64	54,64	3,99	3,77	5,20	5,41	0,105	4,44	0,59	3,25
MA	0-5	3	58,86	48,63	82,04	7,93	50,93	5,30	4,45	6,02	8,16	0,164	3,96	0,71	3,13
MA	0-5	4	51,97	57,38	56,27	6,32	45,65	5,39	4,45	6,10	3,58	0,156	0,60	1,24	11,75
MA	0-5	5	62,46	70,16	61,48	4,20	58,26	5,27	4,29	5,89	4,03	0,087	2,76	0,65	3,88
MA	0-5	6	66,29	55,22	77,79	6,02	60,27	5,11	4,26	5,53	1,84	0,192	2,28	0,71	6,63
MA	0-5	7	45,87	51,54	20,12	0,92	44,95	5,44	4,77	6,05	6,61	0,231	4,80	0,77	2,63
MA	0-5	8	55,95	48,84	31,17	2,04	53,91	4,60	4,00	5,32	8,56	0,121	4,80	0,47	4,88
MA	5-10	1	37,39	41,78	18,42	1,34	36,05	4,70	4,00	5,40	10,08	0,110	1,32	0,36	5,50
MA	5-10	2	40,04	40,93	21,96	2,58	37,45	4,60	3,80	5,19	2,94	0,100	1,80	0,41	8,38
MA	5-10	3	37,13	41,06	14,66	1,36	35,76	5,21	4,25	5,78	2,61	0,103	1,08	0,24	7,13
MA	5-10	4	28,25	34,35	8,79	0,61	27,64	5,16	4,14	5,76	1,42	0,074	0,12	0,41	10,00
MA	5-10	5	28,26	34,07	9,15	0,82	27,44	5,16	4,12	5,83	10,69	0,146	1,20	0,36	7,13
MA	5-10	6	37,65	40,69	36,51	4,91	32,74	5,02	4,25	5,93	2,12	0,092	0,84	0,30	7,50
MA	5-10	7	30,54	35,95	5,67	0,56	29,98	5,07	4,25	5,70	1,81	0,121	2,88	0,36	5,50
MA	5-10	8	39,77	45,02	23,72	2,68	37,10	4,61	3,91	5,40	1,99	0,079	1,32	0,53	9,25
MA	10-20	1	27,52	31,83	12,35	1,42	26,11	4,79	3,98	5,61	0,97	0,074	1,20	0,65	7,75
MA	10-20	2	28,70	30,97	12,19	0,98	27,71	4,58	3,79	5,44	8,21	0,079	0,72	0,89	7,88
MA	10-20	3	31,02	34,37	9,06	0,87	30,15	5,24	4,13	5,55	1,31	0,069	0,84	0,59	9,25
MA	10-20	4	22,11	27,54	5,38	0,31	21,80	5,03	4,09	5,70	4,31	0,046	0,24	0,77	10,50
MA	10-20	5	27,13	32,44	2,90	0,27	26,86	5,03	4,00	5,82	8,80	0,087	2,16	0,71	6,13
MA	10-20	6	29,91	32,88	11,90	0,84	29,06	4,91	4,12	5,73	7,93	0,085	0,48	0,47	9,25
MA	10-20	7	24,82	31,48	7,41	0,55	24,27	4,62	4,09	5,77	0,85	0,082	1,56	1,66	5,88
MA	10-20	8	25,45	30,61	14,66	1,34	24,11	4,72	3,86	5,40	0,50	0,054	0,48	0,59	10,00
MA	20-40	1	21,95	25,70	8,89	0,77	21,18	4,77	4,00	5,66	0,55	0,046	0,72	0,59	8,50
MA	20-40	2	23,55	28,23	11,26	0,62	22,93	4,57	3,82	5,18	0,13	0,031	0,48	0,47	8,00
MA	20-40	3	20,28	24,02	8,51	0,54	19,74	5,01	4,00	5,48	6,57	0,067	0,48	0,53	9,25
MA	20-40	4	19,09	23,59	6,12	0,32	18,78	5,18	4,14	5,56	0,50	0,041	0,24	0,06	8,63
MA	20-40	5	21,36	26,27	5,36	0,22	21,14	4,81	4,04	5,62	2,02	0,038	0,36	1,19	8,63
MA	20-40	6	29,43	31,84	11,53	0,75	28,68	4,81	4,03	5,50	0,73	0,059	0,12	0,36	9,25
MA	20-40	7	18,61	23,47	8,24	0,66	17,96	4,77	4,00	5,82	0,54	0,054	0,60	1,07	8,00
MA	20-40	8	25,89	30,03	10,43	0,94	24,95	4,71	3,90	5,42	7,12	0,074	0,48	0,24	8,63

Trat = tratamento; **Prof** = profundidade; **Rep** = repetição; **COT** = teor de carbono orgânico total; **eCOT** = estoque de carbono orgânico total no solo; **tCOP** = teor de carbono orgânico na fração particulada; **COP** = teor de carbono orgânico particulado no solo; **COM** = teor de carbono orgânico associado aos minerais no solo; **pHa** = pH em água; **pHs** = pH em CaCl₂; **SMP** = pH_{Smp}; **P** = teor de P extraível; **K** = teor de K trocável; **Ca** = teor de Ca trocável; **Mg** = teor de Mg trocável; **Al** = teor de Al trocável; **DS** = densidade do solo.