

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA - UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS - CAV
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
MESTRADO EM MANEJO DO SOLO

LEANDRA FACHINI

FRAÇÕES E ESTOQUES DE CARBONO ORGÂNICO EM SOLO DO
PLANALTO CATARINENSE CULTIVADO COM PINUS

LAGES – SC

2012

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA - UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS - CAV
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
MESTRADO EM MANEJO DO SOLO

LEANDRA FACHINI

FRAÇÕES E ESTOQUES DE CARBONO ORGÂNICO EM SOLO DO
PLANALTO CATARINENSE CULTIVADO COM PINUS

Dissertação apresentada como requisito parcial
para obtenção do título de mestre no Curso de
Pós-Graduação em Manejo do Solo da
Universidade do Estado de Santa Catarina –
UDESC.

Orientador: Dr. Paulo Cezar Cassol
Co-orientador: Dr. Álvaro Luiz Mafra

LAGES – SC

2012

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

Fachini, Leandra
Frações e estoques de carbono orgânico em solo do planalto catarinense
cultivado com pinus / Leandra Fachini ; orientador: Paulo Cezar Cassol .
– Lages, 2012.
49f.

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

1. Matéria orgânica. 2. Reflorestamento. 3. Qualidade do solo . 4. *Pinus taeda*. I. Título.

CDD – 631.4

LEANDRA FACHINI

**FRAÇÕES E ESTOQUES DE CARBONO ORGÂNICO EM SOLO DO
PLANALTO CATARINENSE CULTIVADO COM PINUS**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de mestre no Curso de Pós-Graduação em Manejo do Solo da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC.

Aprovado em: / /2012

Homologado em: / /2012

Banca Examinadora:

Orientador/presidente: Dr. Paulo Cezar Cassol
(UDESC/Lages - SC)

Dr. Luciano Colpo Gatiboni
Coordenador Técnico do Curso de Mestrado em Manejo do Solo – UDESC/Lages – SC

Membro: Dr. Álvaro Luiz Mafra
UDESC/Lages - SC

Dr. Leo Rufato
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias – UDESC/Lages – SC

Membro: Dr. Martha Andreia Brand
UDESC/Lages - SC

Membro: Dr. Márcia Simonete
(Klabin S.A)

Dr. Cleimon Eduardo do Amaral Dias
Diretor Geral do Centro de Ciências Agroveterinárias – UDESC/Lages – SC

Lages, Santa Catarina
13 de Fevereiro de 2012

A meus Pais que me ensinaram o prazer pelos estudos e me guiaram em caminhos de honestidade e simplicidade
Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus.

À minha família que se fez presente em todos os momentos que precisei, e que também entenderam minha ausência.

Aos meus amigos de longa data que sempre torceram por mim e aos que tive oportunidade de conhecer e conviver durante esses dois anos. Em especial meus 'irmãos' de pesquisa, Andréia, Jovani, Sueli, Priscylla, Marco e Jonas, por todo auxílio nas coletas e laboratório, pelos longos períodos de estudos, pelos ensinamentos, pelo companheirismo e amizade.

Aos doutorandos, mestrandos, bolsistas e colegas em especial dos laboratórios de Química e Fertilidade do Solo e de Física e Manejo do Solo, pela troca de experiências, pela convivência e por toda a aprendizagem.

À UDESC - CAV, pelo ensino de qualidade desde a graduação e ao Programa de Pós – Graduação em Ciências Agrárias, Curso de Manejo do Solo pela oportunidade de desenvolver este projeto e a todos os docentes, pela disposição de transmitir inúmeros ensinamentos. Em especial ao professor Paulo Cassol, por ter aceitado me orientar, e pelos incentivos durante todo o mestrado, mesmo quando ausente. Agradecimento especial também ao professor Álvaro Mafra, que como co-orientador me auxiliou no período em que meu orientador esteve ausente.

A CAPES pela bolsa concedida.

À empresa Klabin, em especial ao Leonardo e a Márcia.

Aos funcionários de todos os setores do CAV-UDESC, em especial aos da secretaria de Pós Graduação.

Por fim, agradeço a todos que de certa forma contribuíram para que este trabalho fosse realizado.

RESUMO

A mudança da vegetação geralmente modifica a dinâmica da matéria orgânica, alterando as quantidades e formas orgânicas acumuladas no solo. O objetivo deste trabalho foi avaliar as modificações nos estoques totais e na fração particulada do C orgânico de um Cambissolo Húmico distrófico da região do Planalto Catarinense, provocadas pelo cultivo sucessivo de pinus (*Pinus sp.*). Para isto, foram realizadas amostragens de solo e serrapilheira em quatro áreas do município de Ponte Alta sob uso com vegetação de campo natural ou plantios de pinus com idades de 5, 16 e 21 anos em segunda sucessão. As amostras de solo foram compostas de sete subamostras coletadas em sete pontos de cada área nas camadas de 0-5, 5-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm de profundidade do solo. Em cada ponto, também se amostrou a serrapilheira e, com anéis de Kopecky, o solo indeformado. Nas amostras de solo, foram determinados os teores de C orgânico total (COT), de C orgânico particulado (COP), de carbono associado aos minerais (CAM) e de nitrogênio total (NT), estimando-se o estoque de C nestas formas nas cinco camadas de solo de cada uma das quatro situações de uso avaliadas. Na serrapilheira determinaram-se a massa seca e os teores de Carbono e Nitrogênio totais. Os teores de COT e COP em geral diminuíram com a profundidade do solo, variando nas faixas de 15 a 45 g kg⁻¹ e de 2 a 23 g kg⁻¹, respectivamente, sendo que o pinus 21 anos apresentou os maiores teores de COT e a maior proporção de COP nas cinco camadas. Observou-se aumento de serrapilheira acumulada com o tempo de plantio de pinus, com valores de massa seca variando de 1,8 Mg ha⁻¹ no campo a 53 Mg ha⁻¹ no pinus 21 anos.

Palavras-chave: Matéria orgânica. Reflorestamento. Qualidade do solo. *Pinus taeda*.

ABSTRACT

Stocks and fractions of soil organic carbon in southern Brazilian highlands cultivated with pine

The soil use affects the dynamics of soil organic matter changing its content of different forms. The objective of this study was to evaluate the changes in the total stocks and particulate fraction of organic C of a Cambissol in the Santa Catarina highland, induced by continuous cultivation of pine (*Pinus* sp). Samples of soil and litter were taken in rural areas of Ponte Alta city in four different situations of land use characterized by natural grassland, or pine forest in three stages of development, corresponding to 5, 16 and 21 years old on second rotation. Soil samples were composed by seven sub-samples from seven sites of each area in five soil layers corresponding to 0-5, 5-10, 10-20, 20-30 and 30-40 cm of the soil depth. At each of the selected sites it also was sampled the litter and the undisturbed soil. The soil samples were analyzed to determine the contents of total soil organic C (COT), particulate organic carbon (COP), carbon associated with minerals (CAM) and total nitrogen (NT). It was also estimated the C stocks in these forms in the five layers of soil. In the litter were determined the dry mass and the total carbon and nitrogen contents. The COT ranged from 15 to 45 g kg⁻¹, while the COP ranged from 2 to 23 g kg⁻¹, and in general, that contents were decreased with depth increase. The 21 years old pine had the highest COT and the higher proportion of COP in all layers. The litter accumulated rose with the increase in pine age, with dry mass values ranging from 1.8 Mg ha⁻¹ in the grassland to 53 Mg ha⁻¹ in 21 years old pine.

Keywords: Soil organic matter. Reforestation. Soil quality. *Pinus taeda*.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Localização e características das situações de uso amostradas sobre Cambissolo Húmico no município de Ponte Alta.....	20
Tabela 2 - Teores de areia, silte e argila em cinco profundidades de Cambissolos do Planalto Catarinense em situações de uso com campo natural e com plantios de pinus com 5, 16 e 21 anos (CN, P05, P16, P21).....	24
Tabela 3 - Densidade de Cambissolos do Planalto Catarinense sob quatro diferentes condições de uso por camada de solo.....	25
Tabela 4 - Teores de carbono orgânico total (COT) em cinco camadas de um Cambissolo Húmico distrófico do Planalto Sul de Santa Catarina sob cobertura de campo natural (CN), pinus em segunda rotação com cinco anos (P05), 16 anos (P16) e 21 anos (P21). Médias de sete amostras por tipo de uso.....	27
Tabela 5 - Teores de carbono orgânico particulado (COP) e carbono associado aos minerais (CAM) em cinco camadas de um Cambissolo Húmico distrófico do Planalto Sul de Santa Catarina sob cobertura de campo natural (CN), pinus em segunda rotação com cinco anos (P05), 16 anos (P16) e 21 anos (P21). Médias de sete amostras por tipo de uso.	30
Tabela 6 - Teores de nitrogênio total (NT) e Relação C/N em cinco camadas de um Cambissolo Húmico Distrófico do Planalto Sul de Santa Catarina sob cobertura de campo natural (CN), pinus em segunda rotação com cinco anos (P05), 16 anos (P16) e 21 anos (P21). Médias de sete amostras por tipo de uso.....	32
Tabela 7 - Massa seca, estoque de carbono (COT) e nitrogênio total (NT) e relação C/N em serrapilheira de campo natural (CN), pinus em segunda rotação com cinco anos (P05), 16 anos (P16) e 21 anos (P21) no Planalto Sul de Santa Catarina. Médias de sete amostras por tipo de uso.	34
Tabela 8 - Estoques de carbono orgânico total (COT) em quatro camadas de um Cambissolo Húmico Distrófico do Planalto Sul de Santa Catarina sob cobertura de campo natural (CN), pinus em segunda rotação com cinco anos (P05), 16 anos (P16) e 21 anos (P21). Médias de sete amostras por tipo de uso.....	36
Tabela 9 - Estoques de carbono orgânico particulado (COP) e carbono associado aos mineirais (CAM) em quatro camadas de um Cambissolo Húmico Distrófico do Planalto Sul de Santa Catarina sob cobertura de campo natural (CN), pinus em segunda rotação com cinco anos (P05), 16 anos (P16) e 21 anos (P21). Médias de sete amostras por tipo de uso.	37
Tabela 10 - Proporções de carbono orgânico particulado (COP) e carbono associado aos minerais (CAM) em percentagem em quatro camadas de um Cambissolo Húmico Distrófico do Planalto Sul de Santa Catarina sob cobertura de campo natural (CN), pinus em segunda rotação com cinco anos (P05), 16 anos (P16) e 21 anos (P21). Médias de sete amostras por tipo de uso.	38

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Desenho esquemático dos pontos de coletas realizados em cada uma das áreas amostradas.....	21
---	----

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
2 REFERENCIAL TEÓRICO	11
2.1 Ambientes naturais e acúmulo de matéria orgânica no solo	11
2.2 Processos de incorporação e estabilização da matéria orgânica no solo (MOS).....	13
2.3 Compartimentos da MOS.....	16
3 MATERIAL E MÉTODOS	19
3.1 Localização e caracterização das áreas amostradas	19
3.2 Metodologias de coleta e análises de laboratório	21
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	23
4.1 Textura e densidade dos solos	23
4.2 Teores de carbono e nitrogênio totais	25
4.3 Estoques de carbono na serrapilheira e solo.....	32
4.3.1 Serrapilheira.....	32
4.3.2 Solo.....	35
5 CONCLUSÕES.....	40
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41
7 ANEXOS	47

1 INTRODUÇÃO

A ocupação de áreas de campos e matas naturais pelo plantio de espécies florestais exóticas, principalmente *Pinus* sp., após o chamado primeiro ciclo da madeira, transformou a paisagem, com modificações do ecossistema em grandes extensões de terras no Planalto Catarinense. Entre as principais modificações desta ocupação, encontram-se as que acontecem no solo, especialmente na matéria orgânica que geralmente se modifica quantitativamente e qualitativamente, aumentando ou diminuindo o estoque de carbono orgânico no solo. O solo é considerado um reservatório de carbono (C) e possui grande potencial para armazenar quantidades significativas deste elemento, podendo ser utilizado para mitigação da emissão de gases do efeito estufa, principalmente CO₂, desde que sejam adotados manejos adequados.

As alterações na dinâmica da matéria orgânica no solo ocorrem devido às diferentes quantidades e tipos de elementos constituintes do tecido vegetal depositado no solo pela nova espécie cultivada. O conhecimento da magnitude destas alterações ainda é deficiente, necessitando-se de estudos e avaliações a campo para seu equacionamento. Assim, considera-se necessário avaliar as conseqüências da substituição de campos naturais por *Pinus* sp. em plantios extensivos ou mesmo em pequenas propriedades, nos diferentes compartimentos do carbono orgânico do solo, avaliando-se o potencial desta cultura para, de alguma forma, aumentar a fixação ou seqüestro de CO₂ atmosférico. Isto poderá proporcionar um benefício adicional à atividade, através da comercialização de créditos de carbono provenientes do armazenamento deste elemento no solo.

Realizou-se este estudo com o objetivo de avaliar as modificações decorrentes da implantação de florestas de pinus em áreas de campo nativo no teor e estoque de carbono orgânico total do solo e da serrapilheira e na proporção das frações do carbono orgânico particulado e associado aos minerais, avaliando diferentes idades de crescimento da floresta, em áreas próximas e homogêneas quanto ao tipo de solo e relevo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Ambientes naturais e acúmulo de matéria orgânica no solo

Os campos de altitude do sul do Brasil vêm sofrendo grandes alterações decorrentes de ações antropogênicas, principalmente pela contínua e rápida substituição, descaracterização e fragmentação dos diferentes ambientes que os compõem. A introdução e avanço de espécies exóticas em extensas monoculturas, como por exemplo, pinus e outras culturas agrícolas, o corte seletivo em remanescentes florestais, a construção de hidrelétricas e a drenagem ou o represamento de banhados, além da introdução de espécies de peixes exóticas representam as principais ameaças para a conservação desse ecossistema natural (BOLDRINI, 2009).

Os solos dos Campos de Altitude apresentam como características comuns altos conteúdos de matéria orgânica nos horizontes superficiais; baixas quantidades de cálcio, magnésio e potássio, pH baixo e altos níveis de Al trocável (ALMEIDA, 2009). Estas características resultam principalmente do clima frio e úmido predominante na região, que favorece o acúmulo de matéria orgânica, mas ao mesmo tempo promovem alta taxa de lixiviação, tornando esses solos excessivamente ácidos e pobres em nutrientes. Tal pobreza química talvez seja um dos fatores mais restritivos ao estabelecimento de floresta nessas áreas, com o favorecimento de vegetação campestre (ALMEIDA, 2009).

A perturbação antrópica do sistema originalmente em homeostase, nas condições de solo e cobertura vegetal, normalmente causa mais perdas do que ganhos de carbono, implicando redução do seu teor ao longo do tempo e a degradação da qualidade do solo no desempenho de suas funções básicas (DORAN, 1997).

O compartimento formado pela serrapilheira e pelo solo é o sítio onde geralmente ocorrem todas as etapas da decomposição da matéria orgânica e da ciclagem de nutrientes, notadamente em ecossistemas de florestas. O conjunto serrapilheira e solo não representa somente fonte de carbono e energia para os organismos do solo, pois é o próprio habitat onde todos os processos relacionados aos organismos ocorrem, garantindo a sua sobrevivência e reprodução. A serrapilheira é a porção mais dinâmica desse conjunto e, possivelmente, a mais variável não só entre ecossistemas, mas também dentro de um mesmo ecossistema (CORREIA e ANDRADE, 2008).

A capacidade de produção e deposição de resíduos da parte aérea de cada espécie é outro aspecto importante. A taxa de deposição modifica-se de acordo com a fase de

desenvolvimento da planta ou do ecossistema florestal. Supõe-se que ocorram aumentos na produção desse material em função do aumento da idade da floresta, até que atinja a maturidade ou clímax (GONZALEZ e GALLARDO, 1982). As práticas de manejo também afetam o fluxo de matéria orgânica e nutrientes através da deposição de serrapilheira. Estudos da deposição de N e P, por meio da queda de acículas senescentes de *Pinus elliottii* e *Pinus taeda* com seis anos de idade, na Flórida, mostraram que o tratamento que recebeu adubação anual e controle de invasoras aumentou em cerca de 6,3 vezes a deposição anual de N, passando de 2,5 para 15,8 kg ha⁻¹, para a primeira espécie e em 13,3 vezes, passando de 1,5 para 19,9 kg ha⁻¹, para a segunda, em relação aos tratamentos testemunhas (TEA e JOKELA, 1994).

Segundo Brun (2008) o teor total de carbono orgânico no solo pode não ser a melhor variável indicadora para avaliação da dinâmica da matéria orgânica em solos florestais. Para o autor, o estudo com foco em frações da mesma pode expor indicações de interpretação mais rápidas e nítidas dos efeitos do manejo aplicado no solo, e das tendências a que esse manejo poderá estar promovendo, ou seja, levar a sua degradação ou a um condicionamento de qualidade superior ao estágio anterior.

Outros estudos sobre sistemas de manejo do solo também evidenciaram a pouca sensibilidade da medida do carbono orgânico total isoladamente. De acordo com Leite et al. (2003), entre as alternativas mais adequadas de indicadores da dinâmica da matéria orgânica do solo tem-se apontado o teor de carbono orgânico particulado ou da fração leve, que tem melhor sensibilidade, refletindo em curto período as ações antrópicas sobre o solo.

Assim, para uma boa avaliação da qualidade do solo, devem ser utilizadas variáveis que apresentem boa precisão e sensibilidade aos efeitos das práticas de silvicultura e manejo. Entre essas variáveis, destacam-se algumas frações da matéria orgânica do solo, dentre as quais se podem citar os teores de carbono orgânico particulado (COP) e de carbono associado aos minerais (CAM) (CONCEIÇÃO et al., 2003).

Em ecossistemas naturais a matéria orgânica do solo (MOS) encontra-se em estado de equilíbrio e sua concentração geralmente é mais alta na camada superior e diminui com o aumento da profundidade. Por isso, na quantificação do estoque de carbono orgânico do solo, indica-se que o seu teor seja determinado até profundidades de pelo menos 30 cm, dividindo esta em três camadas (0-10, 10-20, 20-30cm) (RÜGNITZ et al., 2009).

Em estudo realizado no perfil de um Latossolo Vermelho sob vegetação natural na região dos Campos Gerais do estado do Paraná, confirmou-se que o conteúdo de C decresceu com o aumento da profundidade do solo. A concentração de C na camada superficial de 0-5

cm foi 1,90 vezes superior ao encontrado na camada de 20-40 cm, enquanto o estoque de C na camada de 0-20 cm foi 1,5 vezes superior ao da camada de 20-40 cm. De acordo com Sá et al. (2008), essa redução na concentração e no estoque de C em profundidade gera uma estratificação entre as camadas superficial e a sub-superficial do solo, sendo que na primeira a adição continuada de C é maior em decorrência do aporte de resíduos da parte aérea, além das raízes. A conversão destes resíduos em compostos humificados é responsável pelo enriquecimento da camada superficial do solo em MOS.

2.2 Processos de incorporação e estabilização da matéria orgânica no solo (MOS)

Globalmente a vegetação florestal e o solo contêm cerca de 1240 Pg de carbono, sendo que 2/3 do carbono terrestre está contido no solo (LAL, 2005). O reservatório de carbono orgânico no solo reflete um equilíbrio dinâmico entre ganhos e perdas de carbono no ecossistema e uma variedade de fatores podem afetar esse equilíbrio, especialmente em solos florestais (BHATI e PRESTON, 2006).

O carbono presente na matéria orgânica do solo, em todo o planeta, representa um dos principais componentes do ciclo do carbono. Estimativas dizem que o solo é o principal compartimento terrestre do elemento, podendo armazenar de duas a cinco vezes mais do que o carbono da atmosfera (KERN e JOHNSON, 1993; STEVENSEON, 1994; ESWARAN et al., 1993 *apud* BRUN 2008).

Mudanças nos estoques de C da vegetação ou do solo podem causar impactos significativos nas concentrações de dióxido de carbono e de outros gases de efeito estufa (GEE) (CERRI et al., 2008). Variações nos estoques de C do solo são controladas por uma variedade de fatores climáticos e biogeoquímicos que são diretamente influenciados por mudanças no uso da terra, em particular pela conversão de ecossistemas nativos em áreas cultivadas para agricultura e pecuária. Em ecossistemas nativos a MOS está em equilíbrio dinâmico, ou seja, as entradas e saídas se compensam. Quando o sistema nativo é alterado por atividades antrópicas, o equilíbrio dinâmico é rompido e normalmente, as entradas são menores do que as saídas, conduzindo a uma redução da quantidade e modificando a qualidade da MOS (CERRI et al., 2008).

As florestas contribuem significativamente para o equilíbrio geral de carbono na atmosfera em nível mundial. Nos ecossistemas florestais o C é estocado tanto na biomassa vegetal como no interior do solo, destacando-se que o total de carbono estocado nestes

ecossistemas é maior em relação ao encontrado na atmosfera. Isso é justificado em função das florestas cobrirem cerca de 30% da superfície da terra (FAO, 2010) e estocarem em torno de 85% do carbono orgânico terrestre (HOUGHTON, 1994).

Os solos também têm um papel decisivo no ciclo do carbono na terra. Isso é devido à capacidade de ser o compartimento de maior alocação de estoque deste elemento em ecossistemas terrestres. Em uma escala global, a camada superficial de solos minerais, até 1,0 m de profundidade, possuem de 1300 a 1500 Gt C, ou seja, duas vezes mais que o estoque de carbono na biomassa de plantas terrestres (SCHLESINGER, 1986).

Em ecossistemas de vegetação rasteira, como as pastagens, a morte de raízes representa a principal fonte de carbono para o solo (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006). O uso de gramíneas perenes possui alta capacidade de acumular e redistribuir o C na subsuperfície do solo (PAUSTIAN et al., 2000; CERRI et al., 2008). Segundo estes autores, a alta produção e ciclagem de biomassa, principalmente de raízes, e a ausência de revolvimento do solo são as principais razões para esta maior quantidade de carbono seqüestrado no solo.

Ao contrário do que acontece em sistemas agrícolas, onde os resíduos culturais geralmente apresentam condições para uma decomposição relativamente mais rápida, as condições em áreas de plantios florestais, com rotações mais longas, e também em áreas próximas a uma condição natural, fazem com que os resíduos apresentem restrições à decomposição, principalmente pela sua constituição, destacando-se altos teores de lignina e alta relação C/N nas acículas de pinus (BRUN, 2008).

Segundo O'connel e Sankaran (1997) em muitos casos a decomposição da serrapilheira de espécies exóticas é menor do que em florestas tropicais nativas, especialmente quando foram introduzidas espécies como *Eucalyptus*, *Pinus* e *Casuarina*. Muitas vezes em locais dentro da mesma região, a serrapilheira de diferentes espécies varia na taxa de decomposição, provavelmente devido à diferença na qualidade da serrapilheira. A decomposição lenta da serrapilheira e a imobilização dos nutrientes são a principal causa do alto teor de nutrientes e carbono orgânico no solo florestal.

O dióxido de carbono (CO₂) é assimilado pelas plantas no processo de fotossíntese que transforma esse gás, na presença de água e de minerais, em biomassa vegetal. Em geral, entre 40 e 50% dessa biomassa em base seca é carbono que compõe as folhas, caules, frutos e raízes (LAL, 2003). A composição média da matéria orgânica do solo é de aproximadamente, 50% de carbono, 5% de nitrogênio, 0,5% de fósforo, 0,5% de enxofre, 39% de oxigênio e 5% de hidrogênio (BARBER, 1995). Os resíduos de plantas e de animais constituem os precursores da MOS e sua decomposição no solo constitui o processo biológico básico, no qual o C é

reciclado para a atmosfera como CO₂, o nitrogênio torna-se disponível como amônio (NH₄⁺) e nitrato (NO₃⁻), e outros elementos associados como o P, S e vários micronutrientes são mineralizados, ficando em formas assimiláveis pelas plantas superiores. Nesse processo, parte dos 4% do carbono orgânico total que constitui o componente vivo da MOS é incorporado à biomassa microbiana do solo, sendo que de 2,4% a 3,2% do C orgânico total do substrato pode ser utilizado pelos microorganismos para a síntese de novas células, e parte é convertida em húmus estável (RESCK, 2005). Ao mesmo tempo, parte do húmus nativo é mineralizado. Em consequência, o conteúdo total da MOS é mantido em estado de equilíbrio característico do solo e do ecossistema de manejo aplicado (SILVA & RESCK, 1997; RESCK, 2005). Esse é o processo básico de seqüestro de C no solo que consiste, portanto, na remoção líquida do CO₂ da atmosfera para os reservatórios tais como vegetação e solo (LAL, 2003).

A estabilização do C no solo depende de vários fatores incluindo clima, quantidade e a qualidade de resíduos de plantas, fatores que afetam a atividade microbiana, como pH, disponibilidade de N, saturação por bases, e ainda atributos do solo que protegem a MOS contra o ataque dos microorganismos, em especial a estrutura, a textura e a composição mineralógica do solo. Apesar do amplo conhecimento atual sobre a participação desses fatores na estabilização da MOS, informações quantitativas sobre o tamanho dos vários reservatórios e taxas de ciclagem são ainda necessárias para estimar o potencial de seqüestro de C no solo em ecossistemas florestais (LUDWIG et al., 2003).

Segundo Christensen (2000), a formação de complexos organo-minerais primários pela associação entre moléculas orgânicas e argilas silicatadas e/ou óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio promove eficiente proteção contra a decomposição. Mecanismos de adsorção e ligações químicas diversas na superfície das argilas tornam os resíduos orgânicos resistentes ao ataque microbiano, sendo apontados como uma das razões para o relativo acúmulo de matéria orgânica em solos argilosos (HASSINK e WHITMORE, 1997; SCHULTEN e LEINWEBER, 2000 *apud* ROSCOE e MACHADO, 2002). Neste caso, para todos os complexos organo-minerais primários estariam atuando dois mecanismos: a recalitrância e a ligação/complexação. Entretanto, alguns destes complexos organo-minerais primários poderiam ainda ser aprisionados dentro dos complexos organo-minerais secundários em locais de difícil acesso à microbiota, o que adicionaria um terceiro mecanismo de proteção, a oclusão (ROSCOE e MACHADO, 2002).

A proteção física da matéria orgânica no interior de agregados de solo (FELLER e BEARE, 1997) bem como a estabilidade química da matéria orgânica associada a superfícies oxídicas em solos de carga variável (PARFITT et al., 1997) também são importantes fatores

determinantes dos estoques de matéria orgânica, especialmente em solos tropicais e subtropicais.

2.3 Compartimentos da MOS

Duxbury et al. (1989) apresentaram um modelo com quatro compartimentos, para descrever a localização da MOS no solo, denominados reservatórios BIO, LAB, POM e COM. Segundo estes autores, o reservatório BIO é representado pela biomassa microbiana, e como o próprio nome indica, é constituído pela fauna e flora microbiana do solo, sendo sua persistência em solos tropicais mais curta do que em solos de regiões temperadas, correspondentes aos tempos de 0,25 e 2,5 anos, respectivamente. O reservatório LAB é formado de materiais lábeis, ou seja, aqueles prontamente disponíveis para a decomposição por ataque microbiano, como folhas, caules, raízes, frutos, restos de animais, cujos tempos de residência correspondem a cerca de 5 anos nos trópicos e 20 anos na região temperada (DUXBURY et al., 1989). Os mesmos autores estimaram que os reservatórios POM e COM que correspondem às formas fisicamente protegidas pela estrutura do solo e quimicamente protegida por ligações com minerais, respectivamente, são dotados de algum mecanismo de proteção contra a decomposição microbiana e têm um tempo de residência no solo, entre 25 e 100 anos e 100 e 3500 anos, respectivamente. Ainda segundo os autores supracitados, as interações estruturais ou intra-agregados como, por exemplo, o alojamento dos constituintes orgânicos dentro dos microporos dos agregados do solo, produz uma estabilidade intermediária, criando as condições para o estabelecimento da fração física ou estruturalmente protegida (POM). Ao mesmo tempo, a natureza dos compostos orgânicos e as interações coloidais ou moleculares entre compostos orgânicos e minerais estabilizam os componentes orgânicos mais antigos, tornando-os mais protegidos. Assim, essa fração é identificada como a MOS quimicamente protegida (COM).

O tamanho e a proporção desses reservatórios são influenciados por diferentes fatores. O POM é afetado pela ação mecânica de preparo e perturbação do solo, enquanto o COM pela adsorção às argilas do solo, o que lhe confere proteção relativamente alta em escala de tempo. A elevada estabilidade química de certas frações orgânicas resulta da combinação de fatores, destacando-se a alta recalcitrância das substâncias que as compõem, o que implica em reduzida velocidade das transformações que sofrem, e os mecanismos de proteção contra a decomposição, especialmente a formação de complexos com argilominerais no solo. Isso

explica, pelo menos em parte, os teores mais altos de MOS observados em solos mais argilosos em relação aos arenosos (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006).

As técnicas de fracionamento de matéria orgânica baseiam-se em métodos químicos e físicos. O interesse no fracionamento físico da MOS veio da observação de que o tempo de reciclagem dos nutrientes depende não apenas do tipo e da quantidade da matéria orgânica no solo, mas da sua localização dentro do perfil do solo (STEVENSON E COLE, 1999 *apud* FIGUEIREDO, 2009).

Roscoe e Machado (2002), após ampla revisão sobre os fracionamentos físicos da MOS, agruparam os métodos em dois tipos: o densimétrico e o granulométrico. Cambardella e Elliott (1992) separaram a matéria orgânica por fracionamento físico granulométrico e consideraram duas frações básicas da MOS. Após dispersão e passagem em peneira de 0,053 mm, separou-se a MOP (>0,053mm). Esta fração particulada é constituída por materiais que ainda apresentam tecidos intactos, como pedaços de folhas e raízes, apresentando tempo de reciclagem mais rápido do que as partículas orgânicas menores que 0,053mm. Estas partículas, correspondentes à fração do tamanho silte e argila foram denominadas associadas aos minerais e, portanto, apresentam formas de proteção que proporcionam tempo de reciclagem muito lento.

Tanto o fracionamento químico quanto o físico foram desenvolvidos para identificação e estabelecimento de diferentes compartimentos da MOS e suas participações nos mecanismos químicos, físicos e biológicos do solo. A partir dessa identificação, é possível avaliar, por exemplo, os impactos do manejo nas propriedades do solo (FIGUEIREDO, 2009). Alguns estudos têm procurado, através do fracionamento da matéria orgânica, identificar as reais contribuições dos diferentes sistemas de manejo nos estoques de carbono do solo. Há um consenso de que a contribuição do COS associado aos minerais é maior do que a contribuição da MOP (BAYER et al., 2004; MARCHETTI, 2005). A MOP contém restos de raízes finas e tecido foliar mais prontamente decomponíveis e, portanto, é considerada como uma fonte de matéria orgânica lábil derivada de planta. Assim, nos solos de textura média, mais MOS pode ser facilmente mineralizada em relação aos solos de textura argilosa devido à maior proporção de MOP (FIGUEIREDO, 2009).

O preparo do solo e cultivo contínuos reduz a MOP, e portanto, mostra maiores efeitos em solos com menores teores de argila onde a proporção de MOP é mais alta (RESCK et al., 2008). Assim, as perdas de MOS sob cultivo são maiores em solos arenosos, mesmo sob cultivos de menor impacto, como o plantio direto e pastagens. Solos brasileiros com menos de 20% de argila podem perder em média 20% do seu estoque total de C considerando uma

camada de profundidade de 0-40 cm, enquanto solos de textura mais fina conservam ou mesmo seqüestram C (ZINN et al., 2005).

Devido à dificuldade em distinguir entre sorção e oclusão de MOS coloidal, tornou-se comum na literatura a preferência pela fração orgânica de tamanho areia, ou matéria orgânica particulada (MOP), para avaliar a oclusão de MOS dentro de agregados. Análises de C na fração areia de solos sob diferentes climas mostram que a maior parte da MOP, na realidade se encontra livre (fora dos agregados) e não oclusa (ROSCOE et al., 2000). A estrutura exerce um controle sobre a retenção de MOS, porém é dependente da mineralogia, e especialmente, da textura.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e caracterização das áreas amostradas

As áreas amostradas pertencem ao Planalto Sul Catarinense e estão localizadas no município de Ponte Alta. O clima da região, segundo a classificação de Köppen é Cfb, mesotérmico úmido com verões amenos, com altitude variando de 950m a 1000m, temperatura média anual de 16°C e precipitação pluviométrica anual em torno de 1400mm.

Foram amostradas quatro diferentes situações de uso do solo, selecionadas buscando-se similaridade de tipo e classificação de solo, que nestas áreas é classificado como Cambissolo Húmico distrófico. As situações de uso amostradas foram Campo Natural (CN), e povoamentos de *Pinus taeda* em segunda rotação com as três seguintes idades: cinco (P5), dezesseis (P16), e vinte e um (P21) anos.

Os povoamentos de pinus não recebem interferência de podas e desbastes, apenas corte raso, já que a madeira é utilizada para fins de produção de celulose. O corte raso é realizado aos 17 anos, atualmente, e os resíduos da colheita ficam no local, visando à cobertura do solo.

Tabela 1 – Localização e características das situações de uso amostradas sobre Cambissolo Húmico no município de Ponte Alta.

Situação de uso	Coordenadas	Características
Campo Natural	27°29'09,02''S 50°19'21,69''O	Área originalmente sob floresta em situação de campo pastejado por bovinos há cerca de 20 anos. Além do pastejo, recebe roçada anualmente.
Pinus 5 anos	27°29'05,43''S 50°17'57,14''O	Árvores com 5 anos, em segunda rotação, tendo o plantio anterior um ciclo de 28 anos. O plantio teve preparo por meio de ripagem com trator de esteira com haste de 40 cm de profundidade e conjunto de dois discos acoplados.
Pinus 16 anos	27°24'53,64''S 50°10'08,27''O	Árvores com 16 anos, em segunda rotação, tendo o plantio anterior um ciclo de 28 anos. O plantio teve preparo por meio de ripagem com trator de esteira com haste de 40 cm de profundidade e conjunto de dois discos acoplados.
Pinus 21 anos	27°23'38,94''S 50°11'32,76''O	Árvores com 21 anos, segunda rotação, tendo o plantio anterior um ciclo de 28 anos. O plantio teve preparo por meio de ripagem com trator de esteira com haste de 40 cm de profundidade e conjunto de dois discos acoplados.

3.2 Metodologias de coleta e análises de laboratório

Em cada situação de uso foram coletadas, com trado tipo holandês, amostras de solo nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm em sete pontos, considerados amostras. Cada amostra foi composta de sete subamostras, tomadas em pontos distantes entre si em um raio de 10 metros (Figura 1). Em cada ponto central das amostras, nas cinco profundidades foram coletadas amostras indeformadas para determinação da densidade do solo. Nos pontos de cada área também foram feitas coletas da serrapilheira acumulada, em área de 0,25 m² na superfície do solo, utilizando-se um quadrado de metal de 0,50m x 0,50m, todo material vegetal morto encontrado dentro do quadrado de metal foi coletado. As coletas de solo e serrapilheira foram feitas em dezembro de 2010 na área de pinus com 5 anos e em março de 2011 nas áreas de campo natural, pinus 16 e 21 anos.

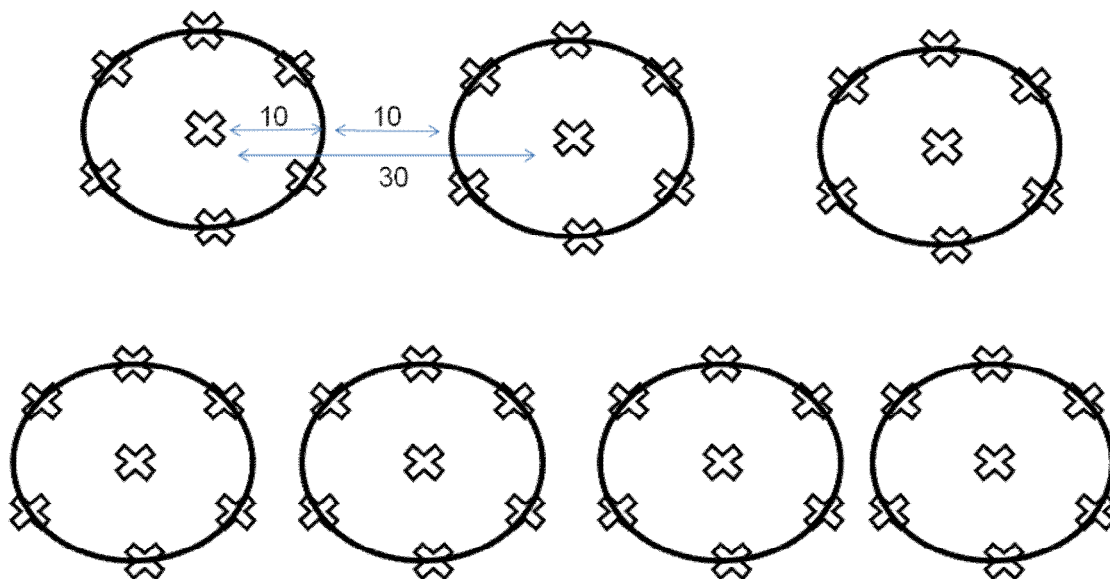


Figura 1 - Desenho esquemático dos pontos de coletas realizados em cada uma das áreas amostradas.

As amostras coletadas no campo foram acondicionadas em sacos plásticos e levadas para secagem em estufa e posterior análise. O solo para densidade foi seco a temperatura de 105°C, já o solo para as análises de C e N e a serrapilheira foram secos a 65°C, até atingir peso constante.

Na serrapilheira, quantificou-se a massa seca, e determinou-se os teores de carbono e nitrogênio totais segundo metodologia descrita por Tedesco et al. (1995). No solo foram avaliados Carbono Orgânico Total (COT), Carbono Orgânico Particulado (COP), Nitrogênio

Total (NT) e, a partir dos valores de COT e COP, estimou-se o Carbono Associado aos Minerais (CAM), por meio da diferença entre COT e COP. Considerando-se os valores de Densidade do solo foi também estimado o Estoque de Carbono no Solo (EstC). As análises de Carbono e Nitrogênio foram feitas seguindo metodologias descritas em Tedesco et al. (1995), determinando-se o carbono pelo método Walkley Black e o nitrogênio pelo método Kjeldhal. Para a determinação do COP foi feita agitação de 20 gramas de solo com hexametáfosfato de sódio por 16 horas, seguida de lavagem e separação em peneira de 0,053mm conforme metodologia descrita por Cambardella e Elliott (1992) e modificações de Costa et al (2004). Nesta fração particulada foi realizada análise de carbono pelo método já descrito.

A densidade do solo foi determinada utilizando-se anéis de Kopecky, na coleta de amostras indeformadas com 68 cm^3 de volume. Para análise de granulometria foi utilizado método da pipeta descrito por Day (1965) e Gee & Bauder (1986), detalhados na Apostila de Física do Solo (LUCIANO et al., 2009), onde foram adicionados às amostras 10mL de NaOH e 70 mL de água destilada, estas foram agitadas por 3h em agitador horizontal e posteriormente as amostras foram transferidas para provetas de 1000mL passando por peneira de 0,053mm, o material retido na peneira foi levado para secagem em estufa a 105°C e o material contido na proveta foi deixado em repouso por aproximadamente 4 horas, quando foi retirada uma alíquota de 50 mL e levada para secagem. Os valores de argila e areia são obtidos por diferenças de peso. Para obtenção do valor de Matéria Orgânica do Solo foi feito uso da multiplicação do valor de COT pelo fator 1,72, já que se considera que 58% da matéria orgânica do solo seja composta por carbono. O estoque de carbono foi calculado através da expressão de Veldkamp (FERNANDES e FERNANDES, 2009), na qual o EstC é estimado pela fórmula: $(\text{COT} \times \text{DS} \times e) / 10$,

onde: EstC: Estoque de Carbono em Mg ha^{-1} ;

COT: Carbono Orgânico Total em g kg^{-1} ;

DS: Densidade do Solo em kg dm^{-3} ;

e: Espessura da Camada considerada em cm.

Os dados foram submetidos à análise estatística pelo software SAS® (STATISTICAL INSTITUT INC®, 2003), utilizando-se um modelo misto, considerando os tratamentos como efeito de fator fixo e as profundidades como uma medida repetida, utilizando o procedimento PROC MIXED existente no programa SAS. Foram consideradas como tratamentos as quatro situações amostradas, com cinco profundidades de coleta e sete repetições. As médias foram comparadas utilizando teste de diferença mínima significativa (dms) de Fisher.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Textura e densidade dos solos

Na tabela 2 são apresentados os teores de areia, silte e argila por situação de uso e profundidade dos solos amostrados. A textura dos solos variou entre Franco Argilo Arenoso nas áreas de campo natural e pinus 5 anos, Franco Argiloso na área de pinus 16 anos e Franca na área de pinus 21 anos.

Os teores de argila não diferiram estatisticamente entre profundidades com exceção do pinus 21 anos. Foi encontrado menor teor de areia no pinus 16 anos, e maior teor de argila no pinus 21 anos. Os minerais da fração argila contribuem na proteção da matéria orgânica no solo, o que pode influenciar os teores e estoques de carbono nos solos avaliados.

Na tabela 3 estão apresentados os valores de densidade do solo das áreas avaliadas, por profundidade. O solo sob campo natural apresentou maior densidade na primeira camada quando comparado às outras situações, isso pode ser causado pelo pisoteio animal, já que este campo vem sendo pastejado. A compactação do solo, como aproxima as partículas sólidas, diminui o espaço poroso, aumentando assim a densidade do solo (KLEIN, 2008). Pode-se notar menor densidade no solo de pinus 21 anos, isto pode ter ocorrido devido à influência da textura na densidade ou também pelo maior conteúdo de material orgânico presente neste solo. A matéria orgânica por apresentar menores densidades acarreta na diminuição da densidade do solo (KELIN, 2008).

Tabela 2 - Teores de areia, silte e argila em cinco profundidades de Cambissolos do Planalto Catarinense em situações de uso com campo natural e com plantios de pinus com 5, 16 e 21 anos (CN, P05, P16, P21).

Camadas (cm)	CN	P05	P16	P21
----- Areia % -----				
0 a 5	47,3 A	48,5 A	32,3 B	51,7 A
5 a 10	46,5 A	47,7 A	32,1 B	50,0 A
10 a 20	47,0 A	45,7 A	32,3 B	51,5 A
20 a 30	45,7 A	47,1 A	33,0 B	49,3 A
30 a 40	44,6 A	44,7 A	32,6 B	47,8 A
----- Silte % -----				
0 a 5	23,6 C	26,6 BC	30,0 AB	31,9 A
5 a 10	23,7 B	25,7 B	29,7 A	33,1 A
10 a 20	22,0 C	25,8 B	28,7 AB	32,2 A
20 a 30	21,6 B	24,3 B	29,2 A	32,4 A
30 a 40	20,7 C	24,7 B	28,5 A	31,9 A
----- Argila % -----				
0 a 5	29,1 B	24,9 B	37,6 A	16,4 b C
5 a 10	29,8 B	26,6 B	38,2 A	16,9 b C
10 a 20	31,0 B	28,4 B	38,1 A	16,3 b C
20 a 30	32,7 AB	28,7 B	37,8 A	18,2 ab C
30 a 40	34,6 AB	30,7 B	39,0 A	20,2 a C

Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas na horizontal e minúsculas na vertical não diferem estatisticamente a 5% de significância pelo teste de Fisher. Médias não seguidas de letras minúsculas não diferem estatisticamente a 5% de significância pelo teste de Fisher.

CN: Campo natural

P05: Pinus 5 anos em segunda rotação

P16: Pinus 16 anos em segunda rotação

P21: Pinus 21 anos em segunda rotação

Tabela 3 - Densidade de Cambissolos do Planalto Catarinense sob quatro diferentes condições de uso por camada de solo.

Uso do solo	CN	P05	P16	P21
Camadas	----- Densidade g dm ⁻³ -----			
0 a 5	1,2 b A	0,9 b B	1,0 c B	0,8 b C
5 a 10	1,4 a A	1,4 a A	1,1 b B	0,9 a C
10 a 20	1,5 a A	1,4 a A	1,2 a B	0,9 a C
20 a 30	1,4 a A	1,4 a A	1,2 ab B	0,9 a C
30 a 40	1,4 a A	1,4 a A	1,2 ab A	1,0 a B

Médias seguidas de mesmas letras minúsculas na vertical e maiúsculas na horizontal não diferem estatisticamente a 5% de significância, pelo teste de Fisher.

CN: Campo natural

P05: Pinus 5 anos em segunda rotação

P16: Pinus 16 anos em segunda rotação

P21: Pinus 21 anos em segunda rotação

4.2 Teores de carbono e nitrogênio totais

Conforme apresentado na Tabela 3, em geral os maiores teores de COT foram encontrados na situação de uso do solo com plantio de pinus aos 21 anos, seguido do campo natural e pelos plantios de 16 e 5 anos. Exceto no pinus com 16 anos, os teores de COT tenderam a diminuir com a profundidade do solo. O pinus 21 anos apresentou valores entre 44,5 g kg⁻¹ na camada mais superficial (0-5) e 34,0 g kg⁻¹ na camada mais profunda (30-40). Já no campo natural foram encontrados valores entre 27,2 g kg⁻¹ e 15,2 g kg⁻¹ nas camadas de 0-5 e 30-40 cm, respectivamente. Na situação de uso pinus 5 anos, foram encontradas menores diferenças entre as camadas de solo, e no pinus 16 anos não houve diferença estatística entre profundidades. Na média ponderada das cinco profundidades os maiores teores de COT também foram encontrados no pinus 21 anos seguido do pinus 16 anos, campo natural e pinus 5.

Os maiores teores de COT nas camadas superiores podem ser explicados pela deposição de matéria orgânica na superfície do solo, principalmente no pinus 21 anos que tem intensa deposição de serrapilheira, apresentando na área estudada valor médio calculado de 53 Mg ha⁻¹ de massa seca acumulada na superfície do solo (Tabela 7). Guedes (2005) estudando áreas de campo nativo e pinus com 12 e 20 anos sobre Nitossolo Háplico, em Campo Belo do Sul, SC verificou as mesmas tendências de diminuição de carbono em profundidade e maior

teor de COT no pinus 20 anos na média das profundidades. Entretanto, observou-se alto teor de COT no campo nativo o que pode ser explicado pelo grande aporte de materiais orgânicos no solo devido à renovação periódica das raízes das gramíneas e também pelas características intrínsecas do solo.

Balbinot et al. (2003), em Cambará do Sul RS, encontraram teores de carbono de 45,2 g kg⁻¹ e 30,2 g kg⁻¹ nas camadas de 0-20 e 20-40 cm, respectivamente, em Cambissolo Húmico alumínico típico cultivado com pinus de 5 anos. Brun (2008) também avaliou o teor de COT de solos dos Campos de Cima da Serra no Rio Grande do Sul e em plantios de pinus implantados neste ecossistema, sobre Cambissolo Húmico, constatou que o potencial de acúmulo de carbono sobre o solo foi maior nas áreas com plantios florestais em relação às áreas de campo. O estoque de COT encontrado por este autor na serrapilheira foi maior nas áreas com *Pinus taeda* e com floresta nativa, sendo inferiores no campo, mostrando que os ecossistemas florestais têm maior capacidade de fornecer carbono ao solo proveniente da constante deposição de porções da parte aérea das plantas sobre a superfície do solo. Além disso, nas regiões de clima mais frio os teores de MOS são normalmente altos, principalmente nas camadas superficiais, devido principalmente à taxa de decomposição dos resíduos orgânicos ser mais lenta nesses ambientes (BALBINOT et al. 2003).

Por outro lado, Caldeira et al. (2002), em Cambará do Sul, RS e em General Carneiro, PR encontraram valores de COT menores em florestas de *Pinus taeda* do que os observados neste trabalho. Na primeira situação os autores encontraram valores médios de 24,4 g kg⁻¹ de COT nos primeiros 20 cm de solo e 19,6 g kg⁻¹ na camada de 21-40 cm em florestas de pinus com 16 e 32 anos. Na segunda situação os valores foram 7,0 e 20,0 g kg⁻¹ nas camadas 0-20 cm e 21-40 cm, respectivamente em florestas da mesma espécie com 21 anos.

Os maiores teores de carbono geralmente ocorrem nos primeiros 20 cm de profundidade, em função de que é nesta camada que ocorre a maior ciclagem de raízes, além do aporte de resíduos da parte aérea vegetal na superfície, determinando mais acumulação de matéria orgânica nesta camada, conforme também relatado por Caldeira et al., (2002). Estes autores destacam a contribuição da decomposição da serrapilheira nos ecossistemas florestais.

Tabela 4 - Teores de carbono orgânico total (COT) em cinco camadas de um Cambissolo Húmico distrófico do Planalto Sul de Santa Catarina sob cobertura de campo natural (CN), pinus em segunda rotação com cinco anos (P05), 16 anos (P16) e 21 anos (P21). Médias de sete amostras por tipo de uso.

Camadas (cm)	CN	P05	P16	P21
	----- g kg ⁻¹ -----			
0 a 5	27,2 a B	23,8 a B	23,7 a B	44,5 a A
5 a 10	24,3 a B	17,9 b C	24,0 a B	44,2 a A
10 a 20	20,2 b B	15,1 b C	22,2 a B	40,0 b A
20 a 30	18,3 b BC	15,0 b C	21,3 a B	40,9 ab A
30 a 40	15,2 c C	16,2 b C	20,8 a B	34,0 c A
Média ponderada de 0 a 40	19,86	16,78	22,03	39,81

Médias seguidas de mesmas letras minúsculas na vertical e maiúsculas na horizontal não diferem estatisticamente a 5% de significância pelo teste de Fisher.

Caldeira et al. (2002) observaram que a maior contribuição no teor de COT no solo, de 0 a 60 cm, nos povoamentos de General Carneiro, PR ocorreu com 21 anos de idade (71,6 g kg⁻¹) e 14 anos (100,3 g kg⁻¹), não seguindo assim uma tendência em função da idade. Outros fatores além da idade podem influenciar no teor de COT como baixo nível de nutrientes na serrapilheira e no solo; condições desfavoráveis para a decomposição como déficit de água no solo e serrapilheira, temperaturas muito baixas ou muito elevadas, pH alto ou baixo, propriedades físico-químicas da serrapilheira, como conteúdo de substâncias presentes (O'CONNEL e SANKARAN, 1997), além da estação do ano em que é feita a coleta da serrapilheira acumulada.

A acumulação e estabilidade do teor de carbono orgânico do solo dependem da continuada entrada de material orgânico através da senescência de certos componentes da biomassa acima e abaixo do solo, queda das folhas, resíduos de raízes e animais mortos, com suas respectivas taxas de decomposição (CALDEIRA et al., 2002). Estes processos geralmente se intensificam conforme aumenta a idade da floresta, até atingir um máximo, o que explica os maiores teores de COT observados no Pinus com 21 anos.

Os dados apresentados na Tabela 5 mostram que os teores de COP também foram maiores no pinus com 21 anos e, em geral, decresceram com o aumento da profundidade, sendo observada maior diferença entre as profundidades no pinus de 21 anos. O teor de COP é a fração mais afetada pela deposição de serrapilheira e material vegetal na superfície do solo e às interferências de manejo. Os valores de COP de 23,2 g kg⁻¹ na primeira camada e 13,0 g kg⁻¹ na camada mais profunda, no pinus 21 anos, podem ser explicados pelo tempo de cultivo

nesse solo, já que essa área se encontra com idade mais avançada e em segunda rotação. O aumento no aporte de material orgânico pode resultar em maiores valores de COP, como pode se observar na seqüência de cultivos de pinus, em média o pinus 5 anos apresentou menores valores do que o pinus 16 anos e este consecutivamente menores valores que o pinus 21 anos.

Os maiores valores de COP em superfície e a estabilidade deste atributo em profundidade concordam com Guedes, (2005), e podem ser explicados pela maior deposição de serrapilheira que proporciona maior teor de COP em superfície, e menor revolvimento do solo em profundidade o que causa maior estabilidade da matéria orgânica particulada, principalmente pela proteção física no interior de microagregados do solo, teores altos de COP nestes solos podem ser explicados pela textura mais arenosa encontrada, que acarreta menor proteção química.

Segundo Roscoe e Machado (2002), 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 adição de resíduos e os processos de persistência ou decomposição, dependentes do ambiente do solo.

O teor de COP nas camadas até 20 cm de profundidade do CN foi semelhante ao encontrado nas florestas de pinus de 5 e 16 anos (Tabela 5). Isto pode ser explicado pela taxa de renovação de raízes no campo natural ser muito alta, deste modo, grande biomassa de raízes mortas é incorporada como matéria orgânica do solo todo ano, estando já incorporada ao solo e não na superfície. Essa quantidade pode ser tão significativa quanto à de serrapilheira que é depositada pelas florestas (BRUN, 2008). Considerando-se todas as camadas, o teor de COP em campo nativo e pinus 5 anos apresentaram valores próximos, o que pode ser explicado pela deposição de matéria orgânica de raízes em camadas mais superficiais e também pela intensa decomposição de matéria orgânica, que provavelmente ocorreu pela remoção da cobertura vegetal e pelas intervenções no solo, quando da colheita e implantação desta floresta.

O CAM, calculado pela diferença entre os teores de carbono orgânico total e particulado (CAMBARDELLA e ELLIOT, 1992), mostrou-se menos afetado na média ponderada pelas diferentes situações de uso do solo e entre profundidades dentro de cada sistema, do que observado no COP (Tabela 5). Isto se explica por esta ser uma fração de carbono mais protegida por interações químicas como os argilominerais do solo e, conseqüentemente, mais estável. Já entre situações de uso houve maiores diferenças entre pinus 21 anos e pinus 5 anos, onde o primeiro apresentou os maiores valores de CAM,

variando entre 20,4 e 23,7g kg⁻¹ em profundidade e no segundo variando de 12,2 e 14,1 g kg⁻¹ em profundidade.

Normalmente, esta fração de carbono no solo é em grande parte influenciada pela textura do solo, que é um atributo intrínseco de cada solo e, portanto menos afetado pelo manejo e cultivos. Entretanto, este não parece ter sido o fator preponderante neste estudo, já que o solo do pinus 21 anos, que teve os maiores teores de carbono orgânico, apresentou os menores teores de argila. Assim, considerou-se que além de outras características intrínsecas do solo não controladas no estudo, as variações no aporte de carbono orgânico no solo tiveram influência na quantidade de CAM após os anos de cultivo com pinus e também outros aspectos que ocasionam proteção da matéria orgânica.

O pinus 21 anos não apresentou diferença significativa em relação ao campo natural, no teor de CAM, na profundidade de 0 a 5 cm, provavelmente pela estabilidade alcançada nesta última situação de uso. Já o pinus 5 e 16 anos apresentaram maior diferença significativa principalmente nas camadas superficiais pois esses solos passaram por distúrbios de colheita e plantio há menos tempo, o que pode ter acarretado em perda de proteção, principalmente física, favorecendo a diminuição dos teores de CAM. Esta afirmativa pode ser explicada, segundo Meurer (2004), a interação dos compostos orgânicos com os argilominerais preserva-os da biodegradação, que é um dos principais mecanismos que regula a taxa de decomposição da matéria orgânica humificada e seu teor nos solos.

Guedes (2005) também encontrou maiores teores de CAM em área de pinus com 20 anos comparados a campo nativo. Tal comportamento pode ser devido à incorporação de matéria orgânica, principalmente pela ciclagem do sistema radicular, matéria orgânica esta que se torna protegida, quimicamente pela interação com as superfícies dos minerais (estabilidade química), ou fisicamente pela inacessibilidade à decomposição microbiana por sua localização no interior dos agregados (proteção física).

Tabela 5 - Teores de carbono orgânico particulado (COP) e carbono associado aos minerais (CAM) em cinco camadas de um Cambissolo Húmico distrófico do Planalto Sul de Santa Catarina sob cobertura de campo natural (CN), pinus em segunda rotação com cinco anos (P05), 16 anos (P16) e 21 anos (P21). Médias de sete amostras por tipo de uso.

Camadas (cm)	CN	P05	P16	P21
----- COP g kg ⁻¹ -----				
0 a 5	9,1 a B	10,7 a B	9,2 a B	23,2 a A
5 a 10	6,2 b B	4,8 b B	7,6 ab B	20,5 b A
10 a 20	3,8 c B	2,9 b B	6,0 b B	19,6 b A
20 a 30	2,6 c C	2,3 b C	6,5 ab B	17,5 c A
30 a 40	2,1 c B	2,1 b B	5,0 b B	13,0 d A
Média ponderada de 0 a 40	4,03	3,76	6,47	17,98
----- CAM g kg ⁻¹ -----				
0 a 5	18,2 a A	13,1 a B	14,5 a B	21,3 ab A
5 a 10	18,0 a B	13,1 a C	16,3 a BC	23,7 a A
10 a 20	16,4 ab B	12,2 a C	16,3 a B	20,4 b A
20 a 30	15,8 ab B	12,7 a B	14,9 a B	23,4 ab A
30 a 40	13,1 b B	14,1 a B	15,8 a B	21,0 ab A
Média ponderada de 0 a 40	15,85	13,02	15,6	21,82

Médias seguidas de mesmas letras minúsculas na vertical e maiúsculas na horizontal não diferem estatisticamente a 5% de significância, pelo teste de Fisher.

Os menores teores de CAM nas camadas até 20 cm de profundidades na situação de pinus com 5 anos também podem ser explicados pela intensa decomposição de matéria orgânica, que provavelmente ocorreu nestas áreas em função da exposição e mobilização do solo (BAYER e MIELNICZUK, 2008), nos processos de colheita e plantio, que ocorreram há menos tempo nessa área. Brun (2008) sugere que na fase inicial de uso do solo com cultivo florestal, a perda de carbono e nutrientes da matéria orgânica é maior do que o retorno deste via deposição de resíduos, o que poderá ser revertido após o desenvolvimento da floresta e nas novas rotações, caso se mantenha um manejo adequado do solo. Isto pode ser observado no presente estudo onde o pinus 21 anos apresentou maiores teores de CAM.

Na Tabela 5 são apresentados os teores de nitrogênio total (NT) e relação C/N dos solos estudados. Os teores de NT decresceram em profundidade nas quatro situações amostradas, acompanhando a redução dos teores de C discutidas anteriormente. Isto já era

esperado, pois a MOS geralmente possui uma proporção relativamente constante destes nutrientes de aproximadamente 10:1, conforme cita Ernani (2008). Segundo este, na fração húmica, a concentração de C varia de 40 a 50%, enquanto a de N é de aproximadamente 5% da massa seca total, embora a composição química dos compostos orgânicos em fases iniciais de decomposição seja muito variável e depende da origem do material e estágio de decomposição. Os maiores teores de NT encontrados foram no pinus 21 anos, variando entre 2,7 e 1,9 g kg⁻¹ na primeira e última camada, respectivamente, seguidos das áreas de pinus 5 anos, pinus 16 anos e campo natural que apresentou os menores teores de NT variando de 2,0 a 1,3 g kg⁻¹ na primeira e última camada, respectivamente. Os teores de NT das áreas de pinus foram bastante semelhantes aos encontrados por Brun (2008), em Cambará do Sul RS, em áreas de pinus implantados em campo natural, já na área de campo os teores de N foram maiores comparados a este estudo.

A relação C/N não diferiu entre profundidades, com exceção do campo natural que apresentou maior relação C/N significativa apenas para profundidade de 30 – 40 cm (Tabela 6). Entre situações de uso, houve maior diferença nas primeiras camadas, o que se considera ser devido à influência da diferente deposição de serrapilheira e atividade da biota do solo nestas camadas. Na média ponderada das profundidades a relação C/N foi maior no pinus 21 anos, seguido do campo natural, pinus 16 anos e pinus 05 anos. Brun (2008) encontrou valores de relação C/N em torno de 15 para áreas de campo natural e pinus na região da Depressão Central no RS.

Tabela 6 - Teores de nitrogênio total (NT) e Relação C/N em cinco camadas de um Cambissolo Húmico Distrófico do Planalto Sul de Santa Catarina sob cobertura de campo natural (CN), pinus em segunda rotação com cinco anos (P05), 16 anos (P16) e 21 anos (P21). Médias de sete amostras por tipo de uso.

Camadas (cm)	CN	P05	P16	P21
----- NT g kg ⁻¹ -----				
0 a 5	2,0 a B	2,6 a A	2,1 a B	2,7 a A
5 a 10	1,7 b B	2,4 b A	1,9 ab B	2,4 b A
10 a 20	1,5 c C	2,1 c B	1,9 ab B	2,4 ab A
20 a 30	1,4 bc C	2,1 c AB	1,9 ab B	2,4 b A
30 a 40	1,3 c C	1,5 d BC	1,7 b B	1,9 c A
Média ponderada de 0 a 40	1,51	2,05	1,87	2,31
----- Relação C/N -----				
0 a 5	15,1 a A	9,8 a B	11,5 a B	16,7 a A
5 a 10	15,1 a AB	7,9 a C	12,5 a B	18,2 a A
10 a 20	14,1 ab AB	7,9 a C	11,7 a B	16,6 a A
20 a 30	13,0 ab B	7,7 a C	11,3 a B	17,4 a A
30 a 40	11,7 b B	11,0 a B	12,3 a B	17,7 a A
Média ponderada de 0 a 40	13,47	9,88	11,82	17,28

Médias seguidas de mesmas letras minúsculas na vertical e maiúsculas na horizontal não diferem estatisticamente a 5% de significância, pelo teste de Fisher.

4.3 Estoques de carbono na serrapilheira e solo

4.3.1 Serrapilheira

O estoque de massa seca de serrapilheira teve valores significativamente maiores na área de pinus com 21 anos em relação ao CN e P05 (Tabela 7). Fato que se explica pela produção e deposição de material vegetal na superfície do solo em maior quantidade e durante mais tempo naquela floresta. A queda da serrapilheira, de acordo com Reis et al. (1994), somente se estabiliza quando o povoamento atinge a maturidade. Portanto, no início do estabelecimento de florestas naturais e plantações florestais, a produção de serrapilheira é baixa, aumentando com a idade, podendo posteriormente ocorrer redução.

A variação na quantidade de serrapilheira acumulada nos solos florestais entre as diferentes plantações tropicais expressa a influencia dominante das características das espécies, idades dos povoamentos, taxa de incremento, condições climáticas, e propriedades do solo. Segundo O'connell e Sankaran (1997), taxas de acumulação de serrapilheira nos solos de plantações florestais podem variar significativamente entre diferentes espécies no mesmo sítio, conseqüentemente ocorre uma variação do teor e da quantidade de COT do solo.

O campo nativo apresentou pequeno acúmulo de serrapilheira comparado a relatos de outros autores que estudaram campos naturais na região de Campos de Cima da Serra, RS, onde é comum encontrar de 2,5 a 6,0 Mg ha⁻¹ de serrapilheira em pastagens nativas não melhoradas (MOOJEN, 1991).

Os estoques de carbono e nitrogênio na serrapilheira também foram maiores no pinus 21 anos. O estoque de carbono na serrapilheira deste sistema atingiu 18 Mg ha⁻¹, seguido do pinus 16 anos e pinus 5 anos com 15 e 6 Mg ha⁻¹, respectivamente. Os valores de massa seca de serrapilheira de pinus 21 anos mostram-se consoantes com valores encontrados por Hendges et al. (1998), em florestas de *Pinus* sp. de 27 e 28 anos, que foi de 23 Mg ha⁻¹, sendo que neste caso houve o tempo adicional de 5 a 6 anos de deposição e acúmulo de material em relação ao presente trabalho. Watzlavick et al. (2005), encontraram valores menores de massa seca e carbono de serrapilheira, em torno de 20 Mg ha⁻¹ e 7 Mg ha⁻¹, respectivamente, em áreas de *Pinus taeda* de 21 anos em General Carneiro, PR. Ainda, Watzlavick e Caldeira, (2004) encontraram para *Pinus taeda* de 14 anos valores de 20 Mg ha⁻¹ de massa seca e de 8 Mg ha⁻¹ de carbono. Schumacher (2000) encontrou para *Pinus taeda* em Cambará do Sul, RS valores de 17 Mg ha⁻¹ aos 15 anos e 36 Mg ha⁻¹ aos 20 anos, e os valores de carbono foram de 7 e 14 Mg ha⁻¹, respectivamente. Moreira et al. (2009), encontraram para *Pinus taeda* de 16 anos no município de Otacílio Costa, SC em dois diferentes sítios valores de serrapilheira de 27 e 38 Mg ha⁻¹ de massa seca, os quais são inferiores aos encontrados no presente estudo na floresta de 16 anos.

O estoque de NT acumulado na serrapilheira na floresta de pinus com 16 anos foi de 0,52 Mg ha⁻¹, enquanto nos dois sítios avaliados por Moreira et al. (2009), foram de 0,29 Mg ha⁻¹ e 0,49 Mg ha⁻¹. Entretanto, o estoque de NT na serrapilheira do campo natural concorda com dados encontrados por Brun (2008) em campos nativos na região de Cambará do Sul, RS, embora os valores de relação C/N encontrados por este autor situaram-se em torno de 44, sendo maiores que os do presente trabalho.

Não houve diferença significativa nos teores de carbono orgânico encontrados na serrapilheira de campo nativo e florestas de pinus, os quais variaram de 326 a 348 g kg⁻¹. Os

valores situaram-se em faixa abaixo dos resultados relatados por Balbinot et al. (2000) que, em área de *Pinus taeda* com 5 anos de idade, em Cambará do Sul, RS, observaram teor de carbono orgânico na serrapilheira igual a 442,5 g kg⁻¹, assim como ao encontrado por Watzlavick et al. (2005) de 370 g kg⁻¹. Estes resultados somados aos do atual trabalho mostram que independente da região de plantio ou da espécie, a serrapilheira de *Pinus* sp. apresenta relativamente altos teores de carbono orgânico, entre 320 e 450 g kg⁻¹ em sua constituição.

Trevisan et al. (1987) observaram, em florestas de *Pinus taeda* da região Sul do Brasil, maior acúmulo de resíduos orgânicos na superfície do solo em relação às florestas nativas, o que foi justificado em razão, principalmente, da maior dificuldade de decomposição da fitomassa daquele gênero de planta.

A relação C/N da serrapilheira, nos diferentes sistemas variou de 27 a 35, sendo que para esta variável não foi encontrada diferença significativa entre as situações de uso. Estes valores concordam com os encontrados por Brun (2008), que foram próximos a 25. Já, para os teores de NT na serrapilheira mostraram decréscimo de acordo com a seqüência pinus 21 anos, campo natural, pinus 16 anos e pinus 5 anos, sendo eles respectivamente 12,5; 12,2; 11,7; e 9,1 g kg⁻¹. Brun (2008) encontrou resultados semelhantes em áreas de pinus e campo nativo na região da Depressão Central no RS, onde os valores variaram entre 10 e 15,9 g kg⁻¹.

Tabela 7 - Massa seca, estoque de carbono (COT) e nitrogênio total (NT) e relação C/N em serrapilheira de campo natural (CN), pinus em segunda rotação com cinco anos (P05), 16 anos (P16) e 21 anos (P21) no Planalto Sul de Santa Catarina. Médias de sete amostras por tipo de uso.

Uso do Solo	Massa seca	COT	NT	C/N*
	----- Mg ha ⁻¹ -----			
CN	1,86 C	0,61 C	0,02 B	27,01 A
P05	19,90 B	6,40 B	0,18 B	35,86 A
P16	43,65 A	15,05 A	0,52 A	32,91 A
P21	53,47 A	18,70 A	0,67 A	28,21 A

Médias seguidas de mesmas letras não diferem estatisticamente a 5% de significância, pelo teste de Fisher.

*Cálculo baseado nos teores de COT e NT em g kg⁻¹.

4.3.2 Solo

Com relação ao estoque de carbono total no solo, observaram-se em geral maiores estoques no solo sob cultivo de pinus 21 anos em todas as camadas, exceto na camada 0 a 10 cm onde apresentou estoque semelhante ao do CN (Tabela 8). O estoque total de carbono, considerando-se de 0 a 40 cm, chegou a 144 Mg ha⁻¹ no pinus 21 anos, valor superior às demais situações de uso, enquanto no campo natural o estoque foi 109,1 Mg ha⁻¹, seguido das áreas com cultivos de pinus 16 e 5 anos.

Os estoques de carbono encontrados concordam com resultados de Guedes (2005), que encontrou valores em solo sob pinus de 20 anos de 142 Mg ha⁻¹ e valores muito próximos a este no campo nativo avaliado, vale ressaltar que os solos avaliados por Guedes (2005) apresentaram teor de argila mais elevado que o presente estudo, variando no campo nativo de 53 a 61 g kg⁻¹ e no pinus 20 anos de 51 a 55 g kg⁻¹ em profundidade. O fato de o estoque de carbono não diferir entre pinus e campo nativo mostra a capacidade de armazenagem de carbono no solo nesta situação, já que o estoque se aproxima de um campo nativo onde ocorre intensa renovação de raízes e conseqüente aporte de MO (BALDOCK e NELSON, 2000) e não há interferências pelo revolvimento do solo.

Balbinot et al. (2003), estudando solos cultivados com *Pinus taeda* de 5 anos em Cambará do Sul, RS, encontraram estoques de carbono de 83,9 e 63,9 Mg ha⁻¹ nas camadas 0-20 e 20-40, respectivamente, valores maiores do que nesse estudo, que podem ser explicados pelas peculiaridades de cada solo, principalmente a intensidade da proteção física e química da MO no solo e a densidade do solo que influenciam no estoque.

As diferenças de densidade do solo entre as situações de uso podem ter diminuído as diferenças nos estoques de carbono, tanto em profundidade, quanto por situação de uso, conforme observado também em Portugal et al. (2008), onde foram avaliados teores e estoques de C e N em solos sob diferentes usos. As diferenças encontradas entre os teores de C e N (Tabelas 5 e 6) em cada compartimento foram diminuídas quando considerados os estoques, possivelmente pela influência da densidade do solo. Estes resultados chamam a atenção para a interpretação dos estoques de C em diferentes sistemas de uso, sobretudo, naqueles mais degradados, pois um solo degradado tende a apresentar-se mais compactado, com conseqüente maior densidade. Assim, ao se fazer equivalência dos teores de C e seus compartimentos para massa de solo, em se tratando do cálculo do estoque de C, podem-se não observar diferenças entre sistemas degradados e aqueles mais conservacionistas por efeito da

diferença de densidade do solo considerada no cálculo e não pela capacidade do sistema de manter os teores de C no solo (PORTUGAL et al., 2008).

Tabela 8 - Estoques de carbono orgânico total (COT) em quatro camadas de um Cambissolo Húmico Distrófico do Planalto Sul de Santa Catarina sob cobertura de campo natural (CN), pinus em segunda rotação com cinco anos (P05), 16 anos (P16) e 21 anos (P21). Médias de sete amostras por tipo de uso.

Camadas (cm)	CN	P05	P16	P21
	----- COT Mg ha ⁻¹ -----			
0 a 10	33,2 a A	22,7 a B	24,6 a B	36,5 ab A
10 a 20	29,4 ab B	20,9 a C	27,6 a B	36,5 ab A
20 a 30	26,0 b B	20,8 a C	26,2 a B	38,4 ab A
30 a 40	20,5 c C	21,9 a BC	25,4 a B	32,7 b A
Soma 0 a 40	109,1 B	86,4 C	103,8 BC	144,0 A

Médias seguidas de mesmas letras minúsculas na vertical e maiúsculas na horizontal não diferem estatisticamente a 5% de significância, pelo teste de Fisher.

Observou-se que os estoques de COP (Tabela 9) foram maiores nas camadas superficiais em todos os usos, com exceção do pinus 16 anos onde o estoque não variou em profundidade. O pinus 21 anos apresentou os maiores valores de COP em relação aos demais usos, nas diversas camadas. Na soma de 0 a 40 cm o estoque decresceu conforme a seqüência pinus 21 anos > pinus 16 anos > pinus 5 anos > campo natural. Isto se explica pelo maior aporte de serrapilheira na superfície do solo na situação de uso com pinus que aumenta com o crescimento das plantas. Com relação ao estoque total de 0 a 40 cm o pinus 21 anos com valor de 21,8 Mg ha⁻¹ de COP também se destacou, diferindo estatisticamente dos demais, que não diferiram entre si.

O maior estoque de CAM, considerando-se a soma das camadas até 40 cm do solo, também foi encontrado no pinus 21 anos (Tabela 9). O CAM é a fração que melhor representa o potencial de estoque de carbono no solo, pois é a fração mais estável. Nota-se aumento nos valores de estoque de CAM com o aumento da idade de Pinus, o que pode ser explicado pelo tempo que o solo se encontra protegido de revolvimento e pelo aporte de material orgânico crescente com a idade das plantas.

Na soma ponderada das camadas de 0 a 40 cm, o estoque decresceu conforme a seqüência pinus 21 anos, campo natural, pinus 16 anos e pinus 5 anos. Nas duas primeiras camadas não houve diferença entre campo natural e pinus 21 anos, enquanto nas duas últimas

camadas houve maior diferença sendo que os valores do campo natural se assemelharam mais as áreas de pinus 5 e 16 anos.

A implantação de florestas em áreas antes ocupadas por pastagens gera maior potencial de seqüestro de carbono atmosférico na biomassa (OLIVER et al., 2004), o que se refletirá no solo, a partir da deposição de serrapilheira, morte de raízes e resíduos de colheita florestal (SCHUMACHER e WITSCHORECK, 2004). Essa situação se evidencia quando se observa a fração particulada, o que destaca as florestas no acúmulo de carbono.

Tabela 9 - Estoques de carbono orgânico particulado (COP) e carbono associado aos minerais (CAM) em quatro camadas de um Cambissolo Húmico Distrófico do Planalto Sul de Santa Catarina sob cobertura de campo natural (CN), pinus em segunda rotação com cinco anos (P05), 16 anos (P16) e 21 anos (P21). Médias de sete amostras por tipo de uso.

Camadas (cm)	CN	P05	P16	P21
----- COP Mg ha ⁻¹ -----				
0 a 10	3,5 a B	3,5 a B	2,5 a C	6,2 a A
10 a 20	1,9 b B	1,7 b B	2,2 a B	6,2 a A
20 a 30	1,2 bc C	1,4 b C	2,4 a B	5,3 b A
30 a 40	0,8 c C	1,2 b BC	1,8 a B	4,1 c A
Soma 0 a 40	7,5 B	7,8 B	8,9 B	21,8 A
----- CAM Mg ha ⁻¹ -----				
0 a 10	29,6 a A	19,2 a B	22,1 a B	30,2 ab A
10 a 20	27,4 ab AB	19,2 a C	25,4 a B	30,4 ab A
20 a 30	24,8 b B	19,4 a C	23,8 a B	33,1 a A
30 a 40	19,7 c B	20,7 a B	23,7 a B	28,6 b A
Soma 0 a 40	101,6 B	78,6 C	94,9 BC	122,2 A

Médias seguidas de mesmas letras minúsculas na vertical e maiúsculas na horizontal não diferem estatisticamente a 5% de significância, pelo teste de Fisher

A proporção de COP e CAM demonstra quanto do carbono total encontrado nesses solos está contido em cada uma dessas frações (Tabela 10). Comparando os totais de 0 a 40 cm há maior proporção de COP no pinus 21 anos, e conseqüentemente menor proporção de CAM nesta situação de uso em relação às demais.

O campo natural apresentou apenas 6,8% de COP em relação ao COT. Uma explicação para este fato pode ser o pastejo intensivo por bovinos de corte a que vem sendo submetida à área avaliada, o que certamente reduz a deposição de resíduos vegetais no solo e,

em consequência, a presença de compostos orgânicos em estágios intermediários de decomposição que caracterizam esta fração. Por outro lado, a ausência de revolvimento nesse solo, provavelmente resultou em maior proteção física no interior de agregados (DUXBURY et al., 1989), bem como, maior proteção química pela presença de teor razoável de argila (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006), que conferiram maior estabilidade e, conseqüentemente, maior proporção da fração CAM neste solo.

Em condição oposta ao campo natural, o solo de pinus 21 anos apresentou maior teor de areia, o que pode explicar a menor proporção de CAM com relação ao COT encontrado nesta situação de uso.

Tabela 10 - Proporções de carbono orgânico particulado (COP) e carbono associado aos minerais (CAM) em percentagem em quatro camadas de um Cambissolo Húmico Distrófico do Planalto Sul de Santa Catarina sob cobertura de campo natural (CN), pinus em segunda rotação com cinco anos (P05), 16 anos (P16) e 21 anos (P21). Médias de sete amostras por tipo de uso.

Camadas (cm)	CN	P05	P16	P21
	----- Proporção COP/COT (%) -----			
0 a 10	10,4 a B	15,3 a A	10,3 a B	17,1 a A
10 a 20	6,5 b B	8,5 b B	7,8 ab B	17,1 a A
20 a 30	4,7 b C	7,0 bc BC	9,7 a B	13,7 b A
30 a 40	4,0 b C	5,6 c BC	7,2 b B	12,2 b A
Soma 0 a 40	6,8 B	9,0 B	8,5 B	15,2 A
	----- Proporção CAM/COT (%) -----			
0 a 10	89,6 b A	84,7 c B	89,7 b A	82,9 b B
10 a 20	93,5 a A	91,5 b A	92,2 ab A	82,9 b B
20 a 30	95,3 a A	93,0 ab AB	90,3 b B	86,3 a C
30 a 40	96,0 a A	94,4 a AB	92,9 a B	87,8 a C
Soma 0 a 40	93,2 A	91,0 A	91,5 A	84,8 B

Médias seguidas de mesmas letras minúsculas na vertical e maiúsculas na horizontal não diferem estatisticamente a 5% de significância, pelo teste de Fisher.

Considerando-se o conjunto de amostras analisadas, não houve correlação entre as frações de C determinadas e os teores de areia, silte e argila do solo (Anexo 3). Zinn et al. (2007) também observaram que o reservatório de C na fração areia não variou com a textura do solo, porém, isto foi constatado para o reservatório na fração argila que foi diretamente proporcional ao teor desta fração granulométrica do solo, enquanto o silte apresentou um

padrão intermediário. Isto sugere que a argila efetivamente estabiliza compostos coloidais ou húmicos da MOS, por adsorção e oclusão dentro de agregados, o que pode explicar em grande parte o mecanismo de ação do controle textural sobre a MOS.

Feller e Beare (1997) também observaram relação linear entre os teores de argila e MOS em solos dominados por argilas de baixa atividade. Ainda Zinn et al. (2007), avaliando solos de texturas argilosa, média e arenosa no cerrado brasileiro verificaram que as concentrações de COS nas frações de tamanho das partículas argila, silte e areia estão inversamente relacionadas aos respectivos teores dessas frações no solo, explicando este resultado pelo efeito de diluição do COS. As relações lineares positivas entre COS e as concentrações de argila + silte na amostra total de solo foram explicadas, na maioria das vezes, pelo maior tamanho dos reservatórios de C da fração argila existente. Assim, a partição do COS é mais precisamente determinada pelo COS nos reservatórios de C em cada tamanho de partícula, tomando como base a massa total do solo ao invés da concentração dessas frações.

5 CONCLUSÕES

O cultivo de Pinus por tempo prolongado em Cambissolo Húmico Distrófico do Planalto Catarinense provocou mudanças nos estoques e formas do carbono orgânico do solo, em geral aumentando o teor e o estoque de C orgânico com a idade da floresta.

O estoque de carbono nas frações particulado e associado aos minerais em Cambissolo Húmico do Planalto Catarinense sob campo natural e floresta de pinus correspondeu em média a 9,8% e 90% do total de C orgânico, respectivamente.

A floresta de pinus com 21 anos apresentou maior estoque de C na fração mais estável, identificada como carbono associado aos minerais, em relação à condição natural de campo nativo em Cambissolo Húmico do Planalto Catarinense.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, J. A. Fatores Abióticos. In: BOLDRINI I. I. **Biodiversidade dos campos do planalto das araucárias**. Brasília, Ministério do Meio Ambiente, 2009. 240p.

BALBINOT, R.; SCHUMACHER, M. V.; WATZALAVICK, L. F.; SANQUETTA, C. R. Inventário de carbono orgânico em um plantio de *Pinus taeda* aos 5 anos de idade no Rio Grande do Sul. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, vol. 5. Nº 1, Jan/Jun 2003.

BALBINTOT, R., SCHUMACHER, M. V., HERNANDES, J. I. Carbono orgânico em uma floresta de *Pinus taeda* na região de Cambará do Sul –RS. In: FOREST2000, Porto Seguro. **Anais...** Rio de Janeiro: Instituto Biosfera, 2000. p. 56-57.

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.

BARBER, S. A. **Soil Nutrient bioavailability: a mechanistic approach**. New York: John Wiley & Sons, 1995. 2 ed. 417p.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da material orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 7, p.677-683, jul. 2004.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e Função da Matéria orgânica. In: SANTOS G. A.; SILVA L. S.; CANELAS L. P.; CAMARGO F.A.O. (Eds) **Fundamentos da Matéria Orgânica do solo: Ecossistemas Tropicais e Subtropicais**. 2ªed. Revisada e atual. Porto alegre: metrópole, p. 447-461, 2008.

BHATTI, J. S.; PRESTON, C. M. Carbon dynamics in forest and peatland ecosystems. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 86, n. 2, p. 155-158. 2006.

BOLDRINI I, I. **Biodiversidade dos campos do planalto das araucárias**. Brasília, Ministério do Meio Ambiente, 2009. 240p.

BRUN, E. J. **Matéria orgânica do solo em plantios de *Pinus taeda* e *Pinus elliottii* em duas regiões do Rio Grande do Sul**. Programa de Pós Graduação em Engenharia Florestal. Universidade Federal de Santa Maria. 2008. (Tese de doutorado)

CALDEIRA, M. V. W.; WATZLAWICK L. F.; SCHUMACHER, M. V.; BALBINOT, R.; SANQUETTA, C. R. Carbono orgânico em Solos florestais. In: SANQUETTA, C. R.; WATZLAWICK L. F.; BALBINOT R.; ZILIOOTTO M. A. B.; GOMES, F. S. (Eds). **As florestas e o carbono**. Curitiba, p191-213. 265p. 2002.

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

CERRI, E. P.; FEIGL, J. B.; CERRI, C. C. Dinâmica da matéria orgânica do solo na Amazônia In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Eds) **Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas Tropicais e Subtropicais**. 2ªed. Revisada e atual. Porto alegre: Metrópole, p.325-353, 2008.

CHRISTENSEN, B. T. **Organic Matter in soil: structure, function and turnover**. Tjele: DIAS, 2000. 95 p. (DIAS Report. Plant Production, 30)

CONCEIÇÃO, P. C.; AMADO T. J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; SPAGNOLLO, E. Componentes da matéria orgânica como indicadores de qualidade do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29. 2003. Ribeirão Preto, SP. **Anais...** Viçosa: SBCS, 2003. p. 1-4.

CORREIA, M. E. F.; ANDRADE A. G.; Formação de Serapilheira e Ciclagem de Nutrientes In: SANTOS, G. A.; SILVA L. S.; CANELAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Eds) **Fundamentos da Matéria Orgânica do solo: Ecossistemas Tropicais e Subtropicais**. 2ªed. Revisada e atual. Porto alegre: metrópole, p.137-154, 2008.

COSTA, F.S.; BAYER, C.; ALBUQUERQUE, J.A.; FONTOURA, S.M.V. Aumento de matéria orgânica num Latossolo Bruno em plantio direto. **Ciência Rural**, v. 34, p. 587-589, 2004.

DAY, P.R. Particle fractionation and particle-size analysis. In: BLACK, C.A. Methods of soil analysis. **American Society of Agronomy**, 1: 545-566. 1965.

DORAN, J. W. Soil quality and sustainability. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIENCIA DO SOLO, 26., 1997, Rio de Janeiro. CDRom. Rio de Janeiro SBCS, 1997

DUXBURY, J. M.; SMITH, M. S.; DORAN, J. W. Soil organic matter as a source and a sink of plant nutrients. In: COLEMAN, D. C.; OADES, J. M.; UEHARA, G. (Eds). **Dynamics of Soil Organic Matter in Tropical Ecosystems**. University of Hawaii Press, Honolulu, 1989. p. 33-67.

ERNANI, P. R. **Química do solo e disponibilidade de nutrientes**. Lages, 2008. 230p.

FAO, Global Forest Resources Assessment (FRA), 2010.

FELLER C., BEARE M. H. **Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics**. Geoderma, 79. p. 69-117, 1997.

FERNANDES, F. A.; FERNANDES, A. H. B. M. **Cálculo dos estoques de carbono do solo sob diferentes condições de manejo**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2009. 4 p. (Embrapa Pantanal. Comunicado Técnico, 69)

FIGUEIREDO, C. C. **Compartimentos da matéria orgânica do solo sob sistemas de manejo e vegetação natural de cerrado**. Programa de Pós Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Goiás, 2009. (Tese de doutorado)

GEE, G.W.; BAUDER, J.W. Particle-size analysis. In: KLUTE, A. Methods of soil analysis. **American Society of Agronomy**, 1: 383-411. 1986.

GONZALES, M. I. M.; GALLARDO, J. F. **El efecto hojarasca: una revisión.** Anales de Edafología y Agrobiología, Madrid, v. 41, p.1129-1157, 1982

GUEDES, S. de F. F. **Carbono orgânico e atributos químicos do solo em áreas florestais no Planalto dos Campos Gerais, SC.** Lages, 2005. Dissertação (Mestrado) – Centro de Ciências Agroveterinárias – UDESC.

HENDGES, M. K. et al. Quantificação da serrapilheira de *Pinus* sp., na região de Santa Maria-RS. In: Jornada acadêmica Integrada, 13. 1998, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 1998. 410 p.

HOUGHTON, R. A. As florestas e o ciclo de carbono global: armazenamento e emissões atuais. In: Emissão x Seqüestro de CO₂: Uma nova oportunidade de negócios para o Brasil, 1994. Rio de Janeiro. **Anais**, Rio de Janeiro: Companhia Vale do Rio Doce, p. 39-76, 1994.

KLEIN, V. A. **Física do solo.** Passo Fundo. Ed. Universidade de Passo Fundo. 212p, 2008.

LAL, R. Forest soils and carbon sequestration. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 220, p. 242-258, 2005.

LAL, R. Global potential of carbon sequestration to mitigate the greenhouse effect. **Critical Reviews in Plant Sciences**, Boca Raton, v. 22, n. 2, p. 151-184, 2003.

LEITE, L. F. C.; MENDONÇA, E. S.; NEVES, J. C. L.; MACHADO, P. L. O.; GALVÃO, J. C. C. Estoques de carbono orgânico e seus compartimentos em Argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica. **R. Bras. Ci. Solo**, n 27, p. 821-832, 2003.

LUCIANO R. V., ALBUQUERQUE J. A., PÉRTILE P. **Apostila de métodos de análises de solo. Física do Solo.** UDESC/CAV. Lages, 2009.

LUDWIG, B.; JOHN, B.; ELLERBROCK, R.; KAISER, M.; FLESSA, H. Stabilization of carbon from maize in a sandy soil in a long-term experiment. **European Journal of Soil Science**, v. 54, p. 117-126, 2003.

MARCHETTI, A. D. **Caracterização dos compartimentos orgânicos de carbono e atividade microbiológica nos sistemas de cultivo em plantio direto com cobertura vegetal no cerrado.** Faculdade de agronomia e medicina veterinária – FAV, Universidade de Brasília, UnB, Brasília. 96p. 2005. (Dissertação de mestrado)

MEURER, E. J. **Fundamentos de química do solo.** 2 ed. Porto Alegre: Gênese, 2004, 290p.

MOOJEN, E. L. **Dinâmica e potencial de uma pastagem natural do Rio Grande do Sul submetida a pressões de pastejo, épocas de diferimento e níveis de adubação.** 172p. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 1991.

MOREIRA, A. M.; STAHL, J.; PIRES, L. M.; GONÇALVES, J. L. M.; ARTHUR Jr, J. C.; SIXEL, R. M. M.; GOMEZ, F. M. **Sustentabilidade da produtividade de povoamento de *Pinus taeda* e *Eucalyptus grandis* com base na exportação e no estoque de nutrientes.** Programa temático de Silvicultura e Manejo. Piracicaba, 2009. Relatório Final.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo.** 2. Ed. Lavras: Editora UFLA, 2006. 729p.

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

OLIVER G. R.; BEETS P. N.; GARRETT, L. G.; PEARCE, S. H.; KIMBERLY, M. O.; FORD-ROBERTSON, J. B.; ROBERTSON, K. A. Variation in soil carbon in pine plantations and implications for monitoring soil carbon stocks in relation to land-use change and forest site management in New Zealand. **Forest Ecology and Management.** Amsterdam, v. 203, p. 283-295, 2004.

PARFIT R. L.; THENG B. K. G.; WHITTON J. S.; SHERPHERD T. G. **Effect of clay minerals and land use on organic matter pools.** *Geoderma*, 75. p. 1-12, 1997

PAUSTIAN, K.; SIX, J.; ELLIOTT, E. T.; HUNT, H. W. Management options for reducing CO₂ emissions from agricultural soils. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v.48, p.147-163, 2000.

PORTUGAL, A. F.; JUCKSCH, I.; SCHAEFER, C. E. G. R.; WENDLING B. Determinação de estoques totais de carbono e nitrogênio e suas frações em sistemas agrícolas implantados em Argissolo Vermelho-Amarelo. **Rev. Bras. Ci. Solo**, 32:2091-2100, 2008.

REIS, M. G. F et al. Seqüestro e armazenamento de carbono em florestas nativas e plantadas dos estados de Minas gerais e Espírito Santo. In: Emissão x Seqüestro de CO₂: Uma nova oportunidade de negócios para o Brasil, Rio de Janeiro. **Anais**, Rio de Janeiro: Companhia Vale do Rio Doce, p. 155-195, 1994.

RESCK, D. V. S. O potencial de seqüestro de carbono em sistemas de produção de grãos sob plantio direto no Cerrado. In: Simpósio sobre Plantio Direto e Meio Ambiente: Seqüestro de Carbono e Qualidade da Água, 1. Foz do Iguaçu. **Anais**. Foz do Iguaçu: FEBRAPDP/Itaipu Nacional. p. 72-80. 2005.

RESCK, D. V. S.; FERREIRA, E. A. B.; FIGUEIREDO, C. C.; ZINN, Y. L. Dinâmica da matéria orgânica no Cerrado. In: SANTOS G. A.; SILVA L. S.; CANELAS L. P.; CAMARGO F.A.O. (Eds) **Fundamentos da matéria orgânica do solo:** Ecossistemas tropicais e subtropicais. 2ªed. Revisada e atual. Porto alegre: metrópole, p. 447-461, 2008.

ROSCOE, R.; BUURMAN, P.; VELTHORST, E. J. Disruption of soil aggregates by

varied amounts of ultrasonic energy in fractions of organic matter of a clay Latosol: carbon, nitrogen and $\delta^{13}\text{C}$ distribution in particle-size fractions. **European Journal of Soil Science**, n. 51, p. 445-454, 2000.

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

RÜGNITZ, M. T.; CHACÓN, M. L.; PORRO R. **Guia para determinação de carbono em pequenas propriedades rurais** 1ªed. Belém, Brasil: Centro Mundial Agroflorestal (ICRAF) / Consórcio Iniciativa Amazônica (IA). 2009. 81 p.

SÁ J.C.de M.; SÁ M. F. M.; SANTOS J. B.; OLIVEIRA A.; Quantidade e qualidade da matéria orgânica do solo In: SANTOS G. A.; SILVA L. S.; CANELAS L. P.; CAMARGO F.A.O. (Eds) **Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2ªed. Revisada e atual. Porto alegre: metrópole, p. 447-461, 2008.

SAS INSTITUTE INC® 2003 SAS VER. 9.1.3 Sas Institute Inc.: Cary, Nc, Usa. LIC. UDESC.

SCHLESINGER, W. H. Changes in soil carbon storage and associated properties with disturbance and recovery. In: TRABALKA, J. R.; REICHLE (eds) **The changing carbon cycle**. Springer, New York, 1986. P. 194-220, 592p.

SCHUMACHER, M. V. **Quantificação do carbono orgânico em florestas de *Pinus taeda* L., com diferentes idades**. Santa Maria: UFSM, 2000. (Relatório de Pesquisa).

SCHUMACHER, M. V.; WITSCHORECK, R. Inventário de Carbono orgânico em povoamentos de *Eucalyptus* spp., nas propriedades fumageiras do Sul do Brasil: um estudo de caso. In: SANQUETTA, C. R.; BALBINOT, R.; ZILLOTTO, M. A. B. (Orgs.). **Fixação de carbono: atualidades, projetos e pesquisas**. Curitiba – PR: Imprensa Universitária – UFPR, p. 111-124, 2004.

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

TEA, D. F.; JOKELA, E. J. Needlefall returns and resorption rates of nutrients in young intensively managed slash and loblolly pine stands. **Forest Science**, Washington, v.40, n.4, p.650-652, 1994.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. **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 de 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.

WATZALAVICK, L. F.; CALDEIRA, M. V. W. Estimativa de Biomassa e Carbono Orgânico em Povoamentos de *Pinus taeda* L. com diferentes idades. **Biomassa e Energia**, v. 1, n. 4, p. 371-380, 2004.

WATZALAVICK, L. F.; SANQUETTA M. V. W. C.; CALDEIRA, M. V. W. Estoque de Carbono Orgânico e Biomassa em *Pinus taeda* L. **Biomassa e Energia**, v. 2, n. 1, p. 7-17, 2005.

ZINN, Y. L.; LAL, R.; BIGHAM, J. M.; RESC, D. V. S. Edaphic controls on Soil Organic Carbon Retention in the Brazilian Cerrado: texture and Mineralogy. **SSSAJ**, Volume 71, n. 4, p. 1204-1214, 2007.

ZINN, Y. L.; LAL, R.; RESCK, D. V. S. Texture and organic carbon relation described by a profile pedotransfer function in Brazilian Cerrado soils. **Geoderma**, v. 127, p. 168-173, 2005.

7 ANEXOS

Anexo 1. Descrição da Metodologia de Fracionamento Físico de Carbono (CAMBARDELLA & ELLIOT, 1992) modificado por Costa et al. (2004).

- 1) Pesar uma amostra de 20g de solo, seco ao ar e peneirado, em snap-caps de 150 mL;
- 2) Adicionar 60ml de hexametáfosfato de sódio (5g L^{-1}), e duas bolinhas de acrílico para auxiliar na dispersão da amostra;
- 3) Agitar por 16h em agitador horizontal a 200rpm;
- 4) Após agitação, retirar as amostras e proceder a lavagem em peneira de 0,053mm, com auxílio de jatos d'água;
- 5) Acondicionar o material restante na peneira em latas de alumínio pré-pesadas, com cuidado para não perder material e levar para secagem em estufa com circulação de ar a 60°;
- 6) Deixar secar por 72h (pode levar mais ou menos tempo conforme a quantidade de água que é deixada na lata);
- 7) Retirar o material seco da estufa, deixar esfriar em dessecador e pesar;
- 8) Moer o material restante em almofariz e proceder a análise de carbono, que neste trabalho foi realizado pelo método Walkley-Black descrito em Tedesco et al. (1995), utilizando 0,25 g da amostra;
- 9) A concentração de COP deve ser calculada de acordo com a quantidade de material particulado que restou em cada amostra.

Anexo 2: Teores de MO em cinco camadas de um Cambissolo Húmico distrófico do Planalto Sul de Santa Catarina sob cobertura de campo natural (CN), pinus em segunda rotação com cinco anos (P05), 16 anos (P16) e 21 anos (P21). Médias de sete amostras por tipo de uso.

Uso do solo	CN	P05	P16	P21
Camadas	----- MO % -----			
0 a 5	4,7	4,1	4,1	7,7
5 a 10	4,2	3,1	4,1	7,6
10 a 20	3,5	2,6	3,8	6,9
20 a 30	3,2	2,6	3,7	7,0
30 a 40	2,6	2,8	3,6	5,8

Anexo 3. Coeficiente de correlação de Pearson ($p < 0,5$) entre teores de areia, argila, silte e carbono orgânico total (COT), particulado (COP) e associado aos minerais (CAM) de solos do Planalto Catarinense sob campo natural e cultivado com Pinus em segunda rotação nas idades 5, 16 e 21 anos.

Fração granulométrica	COT	COP	CAM
Areia	0,150 ns ⁽¹⁾	0,077 ns	0,210 ns
Argila	-0,534 ns	-0,477 ns	-0,440 ns
Silte	0,600 ns	0,649 ns	0,325 ns

⁽¹⁾ não significativo a 5%