

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA  
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E DE TECNOLOGIA  
CURSO DE MESTRADO EM AGRONOMIA

JOSIANE BÜRKNER DOS SANTOS

ALTERAÇÕES NO ESTOQUE E TAXA DE SEQÜESTRO DE CARBONO EM UM  
LATOSSOLO VERMELHO SUBMETIDO A SISTEMAS DE MANEJO

PONTA GROSSA  
2006

JOSIANE BÜRKNER DOS SANTOS

ALTERAÇÕES NO ESTOQUE E TAXA DE SEQÜESTRO DE CARBONO EM UM  
LATOSSOLO VERMELHO SUBMETIDO A SISTEMAS DE MANEJO

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de  
Ponta Grossa para a obtenção do título de Mestre em  
Agronomia - Área de concentração em Agricultura.

Orientador: Prof. Dr. João Carlos de Moraes Sá.

PONTA GROSSA  
2006

## DEDICO

Ao meu Senhor que sempre  
seja para Sua glória e para o  
cumprimento de Sua vontade.

## **AGRADECIMENTOS**

### **AGRADEÇO**

A meu esposo e companheiro dedicado por sua compreensão, mãos e ouvidos amigos das horas difíceis pela oportunidade e apoio e amor irrestrito.

A minhas filhas por serem fonte de inspiração, por serem a mola propulsora de nossas vidas, por existirem e serem fonte de muitas bênçãos em nossas vidas.

A meus pais pelo apoio e incentivo, por sempre terem acreditado em mim, por me ajudarem em tudo não perguntando por quanto tempo, mas sim como, já hoje usufruo a herança do aprendizado que me proporcionaram e espero nunca decepcioná-los.

A Universidade Estadual de Ponta Grossa de onde tenho toda minha formação acadêmica, pela estrutura e oportunidade de formação e de levar o nome da instituição à frente, muito me orgulho por ser formada em uma Universidade Pública e gratuita, por isso também agradeço ao governo do Estado do Paraná pela manutenção da UEPG e dos cursos por ela oferecido. A CAPES pelo apoio financeiro.

Aos amigos que estiveram presentes e ajudaram muito tornando possível a execução deste trabalho: Eduardo, Fernando, etc; aos alunos da graduação de Agronomia da UEPG: Ângela, Carla, Aline, Darci, Edeimar, Khetlen. Aos funcionários da UEPG: Nilcéia, Eunice, Jonilda, Wilson, Dirce, Verônica e Sergio. Aos professores Ricardo Ayub, por sua compreensão e disponibilização de seu laboratório para as minhas análises, e também ao professor Eduardo Caíres pela disponibilização de seu laboratório para as análises. Em especial ao professor, orientador e amigo João Carlos de Moraes Sá, o Juca, por ter me ensinado muitas coisas e acreditado em mim. Agradeço de coração a todos que ajudaram na realização deste trabalho e espero que tenhamos outras oportunidades juntos.

SANTOS, Josiane Bürkner dos. **Alterações no Estoque e taxa de seqüestro de carbono em um latossolo vermelho submetido a sistemas de manejo.** 2006. Dissertação de Mestrado em Agronomia – Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG).

## RESUMO

Este estudo teve por objetivo quantificar as alterações provocadas pela adoção de sistemas de manejo do solo sobre o estoque total de carbono (C) e nitrogênio (N), a variação do estoque do C nas épocas de coleta, o balanço de C e as taxas de seqüestro de C. As coletas do solo foram realizadas em um experimento de longa duração, implantado em 1988, na estação experimental da Fundação ABC em Ponta Grossa, Meso Região Centro-Oriental do Estado do Paraná. Os sistemas de manejo do solo foram avaliados: a) Preparo convencional (PC), Preparo mínimo (PM), plantio direto escarificado (PDE) e plantio direto permanente (PDP). As amostras foram coletadas em 12 épocas com intervalos mensais e nas profundidades de 0,0-2,5; 2,5-5,0 e 5,0-10 cm de profundidade. As amostras deformadas foram coletadas em mini-trincheiras nas camadas de 0,0-2,5 e 2,5-5,0 cm e na camada de 5,0-10,0 cm com o auxílio do trado. Nas amostras coletadas em outubro de 2003, maio de 2004 e novembro de 2004 foi determinado o carbono orgânico total (COT) e o nitrogênio total (NT) em todas as profundidades amostradas. Nas amostras coletadas mensalmente foi realizado o fracionamento granulométrico da matéria orgânica, separando o solo em frações no tamanho 2000 – 210  $\mu\text{m}$ , 210 – 53  $\mu\text{m}$  e < 53  $\mu\text{m}$ . Em todas estas frações foi determinado o COT. O estoque total de C e N no PDP foi superior aos demais sistemas de manejo demonstrando maior manutenção do C no solo. O estoque de C nas frações granulométricas apresentaram diferenças significativas entre as camadas amostradas, observando-se maior concentração de C na fração 210 a 53  $\mu\text{m}$  do PDP. Na fração 2000 – 210  $\mu\text{m}$  da camada de 0,0-2,5 cm observaram-se maior alteração no estoque de C devido aos sistemas de manejo durante as épocas de coleta, sendo a maior amplitude de variação atribuída ao PC. No PDP, o estoque de C foi maior em todas as épocas de coleta indicando que a manutenção dos resíduos culturais na superfície associada à proteção dos agregados permite maior acúmulo de C. Embora o estoque de C na fração < 53  $\mu\text{m}$  não apresentar diferenças significativas entre os sistemas de manejo, observou-se uma migração do C das frações mais grosseiras (210-53 e 2000-210  $\mu\text{m}$ ) para esta fração mais recalcitrante, indicando um fluxo contínuo de C. O modelo de balanço de C proposto por Henin e Dupuis (1945) e ajustado para as condições locais revelou que a taxa de oxidação representada pelo  $K_2$  é inferior às simulações realizadas por outros autores, demonstrando a importância das condições locais. Com este modelo, a quantidade mínima de resíduos culturais para manter sistema PDP em equilíbrio foi de 8,05  $\text{Mg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$  enquanto no PC não será possível atingir o equilíbrio com a quantidade de resíduos culturais aportada, sendo um sistema deficitário.

Palavras-chave: Estoque de C e N, Balanço de C, Taxas de seqüestro de C, Sistemas de Manejo do solo, Frações granulométricas da matéria orgânica do solo.

SANTOS, Josiane Bürkner dos. **Alterações no Estoque e taxa de seqüestro de carbono em um latossolo vermelho submetido a sistemas de manejo**. 2006. Dissertação de Mestrado em Agronomia – Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG).

## SUMMARY

The objective of this study was to quantify the changes of the total carbon (C) and total nitrogen (N) stock, and the variation of the C pool's in monthly soil samples, and the C balance and C sequestration rates provoked by the soil tillage systems. The soil samples were accomplished in a long term experiment implanted in 1988, in the experimental station of Fundação ABC located in Ponta Grossa city, Center-South area of the Paraná State. The soil tillage systems were comprised: a) Conventional Tillage (CT); b) Minimum Tillage (MT); c) No-tillage with chisel plow (NTCP) each three years; and d) No-tillage – Continuous (NTC). Soil samples for each treatments were obtained by digging 3 profiles of 20-cm x 50-cm (surface area) x 50-cm deep for each replicate, and collected from three depths (0,0- to 2.5-cm, 2.5- to 5-cm, 5- to 10-cm). In the samples collected in October of 2003, May of 2004 and November of 2004, the total organic carbon (TOC) and the total nitrogen in all of the depths was measured. The particle size fractionation was accomplished, separating the soil in fractions in the size of 2000 - 210  $\mu\text{m}$ , 210 - 53  $\mu\text{m}$  and <53  $\mu\text{m}$ . In all these fractions TOC was determined. The treatments had significant effects on TOC and TN contents and pools. The total C and N stock in NTC was superior to the other systems demonstrating larger maintenance of C in the soil. The larger concentration of C was observed in the 210 to 53  $\mu\text{m}$  particle size fraction in the NTC. In the 2000 - 210  $\mu\text{m}$  fraction of the 0,0-2,5 cm layer were observed larger changes in the C stock due to the management systems in the samples at all long year. The greatest change was accomplished to CT. In NTP, the stock of C was larger in all soil samples, indicating that the maintenance of the cultural residues in the associated surface protection of the aggregates allows larger accumulation of C. Although the C stock in the particle size fraction <53  $\mu\text{m}$  not to present significant differences among the management systems, and was observed the C migration of the coarse fractions (210-53 and 2000-210  $\mu\text{m}$ ) to the recalcitrant particle size fraction, indicating a continuous C flow. The C balance model adjusted for the local conditions revealed that the oxidation rate acted by  $K_2$  is inferior to the simulations accomplished by other authors, demonstrating the importance of the local conditions. With this model, the minimum amount of crop residues to maintain NTC system in steady-state was 8,05  $\text{Mg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$  while in the PC treatment it won't be possible to reach the balance with the amount of crop residues placed in this long term experiment, being a deficient system.

Key-words: Carbon pool's, Soil tillage systems, C and N stock, Carbon balance, Carbon sequestration rates, particle size fractions

## LISTA DE TABELAS

	Página
TABELA 1 - Reservatório de C no Mundo.....	18
TABELA 2 - Estimativa do estoque de C na camada de 0-30 cm para os solos no território brasileiro em Tg C <sup>-1</sup> .....	22
TABELA 3 - Taxa de seqüestro de C no Brasil nas regiões tropicais e subtropicais, em solos sob o plantio direto em relação ao preparo convencional.....	28
TABELA 4 - Histórico da ocupação agrícola e uso de fertilizantes desde a safra de 1988 na área experimental .....	44
TABELA 5 - Histórico dos principais eventos agrícolas: data de coleta de amostras de solo, tipo de resíduo cultural existente, práticas culturais e data do evento, intervalo entre o evento e a amostragem do solo e condição climática no momento da coleta.....	47
TABELA 6 - Densidade do solo dos sistemas de manejo determinadas em cinco camadas de todas as unidades experimentais.....	50
TABELA 7 - Caracterização química do solo nos tratamentos preparo convencional PC, preparo mínimo PM, plantio direto permanente PDP e plantio direto escarificado PDE.....	52
TABELA 8 - Análise de variância comparação das frações dentro dos tratamentos e dos tratamentos dentro das frações.....	60
TABELA 9 - Relação C:N nas frações granulométricas da MOS em função da época de amostragem e sistemas de manejo do solo.....	73
TABELA 10 - Índices de colheita, massa seca de raiz e porcentagem de C na palhada.....	83
TABELA 11 - Produção de grãos, massa seca de parte aérea (MS-PA), massa seca de raiz (MS-RZ) e massa seca total (MS, PA + RZ) nos sistemas de manejo do solo (SMS) no período de 2001 a 2004/05.	85
TABELA 12 - Estoque de C orgânico total (COT) em função do tempo (E <sub>1</sub> , E <sub>7</sub> , E <sub>12</sub> ) <sup>‡</sup> provocadas por sistemas de manejo do solo profundidade de 0 -10 cm.....	86

TABELA 13-	Alterações no estoque de N total (NT) em função do tempo ( $E_1$ , $E_7$ , $E_{12}$ ) <sup>‡</sup> provocadas por sistemas de manejo do solo.....	87
TABELA 14 -	Alterações na relação C:N dos estoques de C orgânico total (COT) e N-total em função das épocas de amostragem ( $E_1$ , $E_7$ , $E_{12}$ ) <sup>‡</sup> e provocadas por sistemas de manejo do solo.....	89
TABELA 15 -	Comparação entre os parâmetros entre as regiões.....	91
TABELA 16 -	Balanço de C nos sistemas de manejo utilizando o modelo unicompartmental proposto por Henin e Dupuis (1945) e adaptado por Bayer (1996).....	93
TABELA 17 -	Coeficientes $K_2$ ajustado para os sistemas de manejo do solo.....	95
TABELA 18 -	Quantidade mínima de palhada - Equivalente em palhada – para os atributos do balanço de C para os SMS em um experimento de longa duração.....	96



## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01 -	Localização da Estação Experimental da Fundação ABC em Ponta Grossa.....	Página 41
FIGURA 02 -	Distribuição mensal da precipitação pluviométrica (barras) relacionada com média da temperatura máxima (■ Tmax.) e temperatura mínima (● Tmin.) em Ponta Grossa.....	43
FIGURA 3 -	Disposição dos blocos e dos sistemas de manejo de solo no delineamento experimental .....	49
FIGURA 4 -	Seqüência do fracionamento granulométrico da matéria orgânica do solo .....	55
FIGURA 5 -	Alterações no estoque de C em Mg ha <sup>-1</sup> nas frações granulométricas da MOS provocadas pelos sistemas de manejo do solo em função da época de amostragem E <sub>1</sub> a E <sub>12</sub> na camada de 0,0-2,5 cm. Na fração 210 – 2000 µm.....	61
FIGURA 6 -	Alterações no estoque de C em Mg ha <sup>-1</sup> nas frações granulométricas da MOS provocadas pelos sistemas de manejo do solo em função da época de amostragem E <sub>1</sub> a E <sub>12</sub> na camada de 2,5-5,0 cm fração 2000- 210 µm.....	62
FIGURA 7 -	Alterações no estoque de C em Mg ha <sup>-1</sup> nas frações granulométricas da MOS provocadas pelos sistemas de manejo do solo em função da época de amostragem E <sub>1</sub> a E <sub>12</sub> na camada de 5,0 – 10,0 cm. fração 2000 – 210 µm.....	65
FIGURA 8-	Alterações no estoque de C em Mg ha <sup>-1</sup> nas frações granulométricas da MOS provocadas pelos sistemas de manejo do solo em função da época de amostragem E <sub>1</sub> a E <sub>12</sub> na camada de 0-2,5 cm. Na fração 210 – 53 µm.....	65
FIGURA 9 -	Alterações no estoque de C em Mg ha <sup>-1</sup> nas frações granulométricas da MOS provocadas pelos sistemas de manejo do solo em função da época de amostragem E <sub>1</sub> a E <sub>12</sub> na camada de 2,5-5,0 cm fração 210 - 53 µm.....	66
FIGURA 10 -	Alterações no estoque de C em Mg ha <sup>-1</sup> nas frações granulométricas da MOS provocadas pelos sistemas de manejo do solo em função da época de amostragem E <sub>1</sub> a E <sub>12</sub> na camada de 5,0 – 10,0 cm. fração 210 - 53 µm.....	67

FIGURA 11 -	Alterações no estoque de C em $\text{Mg ha}^{-1}$ nas frações granulométricas da MOS provocadas pelos sistemas de manejo do solo em função da época de amostragem $E_1$ a $E_{12}$ na camada de 0-2,5 cm. Na fração $< 53 \mu\text{m}$ .....	68
FIGURA 12-	Alterações no estoque de C em $\text{Mg ha}^{-1}$ nas frações granulométricas da MOS provocadas pelos sistemas de manejo do solo em função da época de amostragem $E_1$ a $E_{12}$ na camada de 2,5-5,0 cm fração $< 53 \mu\text{m}$ .....	69
FIGURA 13 -	Alterações no estoque de C em $\text{Mg ha}^{-1}$ nas frações granulométricas da MOS provocadas pelos sistemas de manejo do solo em função da época de amostragem $E_1$ a $E_{12}$ na camada de 5,0 – 10,0 cm. fração $< 53 \mu\text{m}$ .....	70
FIGURA 14 -	Correlação entre o Estoque de C ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) e o Estoque de N em ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) e entre a Concentração de C ( $\text{g Kg}^{-1}$ ) e a Concentração N em ( $\text{g Kg}^{-1}$ ).....	74
FIGURA 15 -	Balanço de C – média do $dC/dt$ considerando dois valores de $K_2$ : (a) Bayer, 1996 e (b) ajustado para as condições locais....	92
FIGURA 16 -	Mitigação de $\text{CO}_2$ em função dos sistemas de manejo do solo em função do balanço de C.....	94

## LISTA DE ANEXOS

	Página
ANEXO A	Estoque de C Orgânico Total em Mg ha <sup>-1</sup> ..... 101
ANEXO B	Texturas do solo do experimento da estação Experimental da F. ABC..... 102
ANEXO C	Análises de variância do COT do solo de 2003 a 2004 em diferentes sistemas de preparo (PDP) plantio direto permanente, (PDE) plantio direto escarificado, ( PM) preparo mínimo, (PC) preparo convencional em diferentes profundidades em Ponta Grossa – PR amostrado após o manejo da cultura de inverno outubro 2003, após a colheita da soja maio de 2004 e em novembro de 2004, profundidade de 0 a 2,5 cm..... 103
ANEXO D	Análises de variância do COT do solo de 2003 a 2004 em diferentes sistemas de preparo (PDP) plantio direto permanente, (PDE) plantio direto escarificado, ( PM) preparo mínimo, (PC) preparo convencional em diferentes profundidades em Ponta Grossa – PR amostrado após o manejo da cultura de inverno outubro 2003, após a colheita da soja maio de 2004 e em novembro de 2004, profundidade de 2,5 – 5,0 cm..... 104
ANEXO E	Análises de variância do COT do solo de 2003 a 2004 em diferentes sistemas de preparo (PDP) plantio direto permanente, (PDE) plantio direto escarificado, ( PM) preparo mínimo, (PC) preparo convencional em diferentes profundidades em Ponta Grossa – PR amostrado após o manejo da cultura de inverno outubro 2003, após a colheita da soja maio de 2004 e em novembro de 2004, profundidade de 2,5 – 5,0 cm..... 105
ANEXO F	Comparação da variação das frações no tempo e do dentro das frações..... 106
ANEXO G	Estoque de C e N nas frações granulométricas da MOS em função da época de amostragem e sistemas de manejo do solo ..... 107
ANEXO H	Alterações no estoque de C em Mg ha <sup>-1</sup> nas frações granulométricas da MOS provocadas pelos sistemas de manejo do solo em função da época de amostragem na camada de 0-2,5 cm. Na fração 210 – 2000 µm; E <sub>1</sub> a E <sub>12</sub> representando as datas de amostragem..... 108

ANEXO I	Alterações no estoque de C em $\text{Mg ha}^{-1}$ nas frações granulométricas da MOS provocadas pelos sistemas de manejo do solo em função da época de amostragem na camada de 2,5-5,0 cm fração 2000- 210 $\mu\text{m}$ . $E_1$ a $E_{12}$ representa os representando as datas de amostragem.....	108
ANEXO J	Alterações no estoque de C em $\text{Mg ha}^{-1}$ nas frações granulométricas da MOS provocadas pelos sistemas de manejo do solo em função da época de amostragem na camada de 5,0 – 10,0 cm. fração 2000 – 210 $\mu\text{m}$ . $E_1$ a $E_{12}$ representando as datas de amostragem.....	109
ANEXO K	Alterações no estoque de C em $\text{Mg ha}^{-1}$ nas frações granulométricas da MOS provocadas pelos sistemas de manejo do solo em função da época de amostragem na camada de 0 - 2,5 cm fração 53 a 210 $\mu\text{m}$ . $E_1$ a $E_{12}$ representa as datas de amostragem. ....	109
ANEXO L	Alterações no estoque de C em $\text{Mg ha}^{-1}$ em $\text{Mg ha}^{-1}$ nas frações granulométricas da MOS provocadas pelos sistemas de manejo do solo em função da época de amostragem na camada de 2,5-5 cm. fração 210 - 53 $\mu\text{m}$ . $E_1$ a $E_{12}$ representa as datas de amostragem.....	110
ANEXO M	Alterações no estoque de C nas frações granulométricas da MOS provocadas pelos sistemas de manejo do solo em função da época de amostragem na camada de 5,0 – 10,0 cm fração 53 -210 $\mu\text{m}$ . $E_1$ a $E_{12}$ representa as datas de amostragem.....	110
ANEXO N	Figura 11. Alterações no estoque de C em $\text{Mg ha}^{-1}$ nas frações granulométricas da MOS provocadas pelos sistemas de manejo do solo em função da época de amostragem na camada de 0 – 2,5 cm. fração <53 $\mu\text{m}$ $E_1$ a $E_{12}$ representa as datas de amostragem. ....	111
ANEXO O	Figura 12. Alterações no estoque de C em $\text{Mg ha}^{-1}$ nas frações granulométricas da MOS provocadas pelos sistemas de manejo do solo em função da época de amostragem na camada de 2,5 – 5,0 cm fração < 53 $\mu\text{m}$ . $E_1$ a $E_{12}$ representa as datas de amostragem. ....	111
ANEXO P	Figura 13. Alterações no estoque de C em $\text{Mg ha}^{-1}$ nas frações granulométricas da MOS provocadas pelos sistemas de manejo do solo em função da época de amostragem na camada de 5 - 10 cm. fração < 53 $\mu\text{m}$ . $E_1$ a $E_{12}$ representa as datas de amostragem.....	112

**SUMÁRIO**

	Página
RESUMO.....	05
SUMMARY.....	06
LISTA DE TABELAS .....	07
LISTA DE FIGURAS.....	09
LISTA DE ANEXOS.....	11
SUMÁRIO.....	13
1 INTRODUÇÃO.....	16
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	18
2.1 Os reservatórios de C, o efeito estufa e o conteúdo de C nos solos .....	18
2.2 O estoque de C e nitrogênio nos solos brasileiros.....	21
2.3 Impacto dos sistemas de manejo e o carbono orgânico do solo .....	24
2.4 Alterações no estoque de C pelos sistemas de manejo do solo.....	29
2.5 Alterações do N do solo em diferentes sistemas de manejo.....	32
3 ALTERAÇÕES NO FLUXO DE C E N NAS FRAÇÕES GRANULOMÉTRICAS DA MATÉRIA ORGÂNICA AFETADA POR SISTEMAS DE MANEJO DO SOLO	35
3.1 RESUMO.....	35
3.2 SUMMARY.....	36
3.3 INTRODUÇÃO.....	37
3.4 MATERIAL E MÉTODOS.....	41
3.4.1 Localização e descrição da área de estudo.....	41
3.4.2 Manejo do solo, rotação de culturas e práticas culturais.....	44
3.4.2.1 Safra de Verão 2003/04 – Cultivo da soja.....	45
3.4.2.2 Safra de Inverno 2004 – Cultivo do trigo.....	45
3.4.3 Delineamento experimental.....	48
3.4.4 Amostragem do solo e análises gerais.....	49

3.4.4.1	Amostragem para determinação da densidade do solo.....	49
3.4.4.2	Amostragem para caracterização da fertilidade do solo.....	51
3.4.4.3	Amostragem para o Fracionamento granulométrico da MOS e procedimento de separação das frações.....	53
3.4.4.4	Análises de C e N nas frações granulométricas do solo.....	56
3.4.4.5	Cálculo do estoque de C e N nas frações granulométricas das camadas amostradas.....	57
3.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	59
3.5.1	Fluxo de C e N nas frações granulométricas da MOS em função das épocas de amostragem.....	59
3.5.2	Fluxo de C e N nas frações granulométrica e relação C:N nas diferentes épocas de amostragens.....	71
3.6	CONCLUSÕES.....	75
4.	BALANÇO DE CARBONO E TAXAS DE SEQUESTRO EM DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO DO SOLO.....	77
4.1	RESUMO.....	77
4.2	SUMMARY.....	78
4.3	INTRODUÇÃO.....	79
4.4	MATERIAL E MÉTODOS.....	81
4.4.1	Cálculo do balanço de C.....	81
4.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	86
4.5.1	Alterações no estoque de C e N provocados por sistemas de manejo do solo (SMS).....	86
4.5.2	Balanço de C nos SMS: Seqüestro de C e mitigação de CO <sub>2</sub> .....	90
4.6	CONCLUSÕES.....	98
5	CONCLUSÕES GERAIS.....	100
5	ANEXOS.....	101
5.1	Anexo A.....	101

5.2 Anexo B.....	102
5.3 Anexo C.....	103
5.4 Anexo D.....	104
5.5 Anexo E .....	105
5.5 Anexo F .....	106
5.2 Anexo G.....	107
5.3 Anexo H.....	108
5.4 Anexo I.....	108
5.5 Anexo J .....	109
5.2 Anexo K.....	109
5.3 Anexo L.....	110
5.4 Anexo M.....	110
5.5 Anexo N.....	111
5.5 Anexo O.....	111
5.5 Anexo P.....	112
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	113

## 1 INTRODUÇÃO

O solo, além de suporte para vida vegetal, é um importante reservatório de matéria orgânica, componente chave dos ecossistemas terrestres que afeta os processos que ocorrem dentro do “bioma Planeta Terra”. A matéria orgânica do solo (MOS) se origina da conversão do CO<sub>2</sub> atmosférico, através da fotossíntese, em compostos orgânicos responsáveis pela manutenção da vida no Planeta. O solo atua como um reservatório natural do CO<sub>2</sub>, transformado pelo processo de decomposição em matéria orgânica, e pode atuar como fonte ou dreno do CO<sub>2</sub> para a atmosfera. Em sistemas com perdas da matéria orgânica maiores que as entradas, o solo se comporta como fonte de CO<sub>2</sub> para a atmosfera, aumentando a emissão do CO<sub>2</sub> e conseqüentemente aumentando o efeito estufa.

O aumento constante da população mundial tem aumentado a exploração do meio ambiente pelo homem e, concomitantemente, a preocupação com os impactos desta exploração. Em resposta a esta preocupação, vem crescendo a adoção de sistemas conservacionistas de uso e manejo do solo.

O manejo do solo com técnicas conservacionistas, busca o equilíbrio entre a manutenção da vida do homem, o uso racional do solo como meio de produção e a manutenção dos recursos naturais, em um contexto economicamente viável de produção. Além disso, proporciona a minimização dos riscos, aliado à preservação dos recursos naturais como fonte de riqueza renovável se explorada racionalmente. As práticas inadequadas de



manejo do solo, por vezes, chegam inviabilizar os meios de produção são responsáveis pelas perdas do conteúdo de C dos solos, causando o seu empobrecimento físico e químico. Pela degradação do solo perde-se sua riqueza natural e o caminho para a restauração deste recurso é, por vezes, inviável.

Manejado corretamente, o solo se mantém como meio econômico de produção e as práticas de preparo conservacionistas como o Plantio Direto Permanente (PDP) reduzem as perdas de solo por erosão e dos conteúdos de C e fertilidade dos solos (KERN & JOHNSON, 1993).

Nas últimas décadas, o Plantio Direto vem se destacando como sistema conservacionista de uso do solo, cujo princípio básico é o aporte contínuo de material orgânico através da rotação de culturas. A rotação, além de aumentar a produção de massa seca por área e favorecer a diversidade da microfauna do solo, é o caminho para a manutenção da saúde das culturas (menos doenças, pela diversidade de espécies) além dos tipos variados de sistemas radiculares que favorecem a diminuição de possíveis compactações por trânsito de maquinário.

Neste trabalho o objetivo geral foi avaliar o impacto dos sistemas de manejo do solo no potencial de seqüestro de C em um Latossolo Vermelho sob plantio direto na região dos Campos Gerais do Estado do Paraná. Os objetivos específicos foram quantificar os efeitos dos sistemas de manejo sobre o estoque de C e N do solo, a flutuação do estoque do C e N nas frações granulométricas da MOS em amostras coletadas mensalmente durante o ciclo cultural da aveia preta e da soja, o balanço e as taxas de seqüestro de C.

Hipótese:

A redução ou eliminação do revolvimento do solo associada ao aporte contínuo de resíduos culturais aumenta o estoque total de C e N e a migração de C e N das frações da matéria orgânica do solo lábeis para as mais recalcitrantes.

## REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Os reservatórios de C, o efeito estufa e o conteúdo nos solos

O planeta Terra funciona como um sistema global interligando ciclos, que compõe a MOS, fluxos de entrada e saída nos diversos reservatórios de C aos inúmeros sistemas de uso da terra. Existem cinco grandes reservatórios de C que interagem entre si: o oceânico, as reservas fósseis, os solos, a biomassa e a atmosfera. A soma desses reservatórios totaliza 52.700 a 53.685 Gt de C. Dentre estes, o oceânico é o maior (tabela 1) e foi estimado em 40.000 Gt (ESWARAN *et al.*, 1993; BATJES, 1996).

Tabela 1. – Reservatórios de C no Mundo

Reservatórios	Gt ( $10^{15}$ g) ‡
Oceânico	40.000
Reservas fósseis	10.000
Solos	1500 – 2300
Biomassa	470 – 655
Atmosfera	730
Total	52.700 – 53.685

‡1 Gigatonelada (Gt) =  $10^{15}$  g = 1 bilhão de toneladas métricas)

Fonte: IPCC 2000, Cerri *et al.* 2005.

O conteúdo de C estimado no solo é quase quatro vezes superior à quantidade estimada para a biomassa vegetal e animal, e quase três vezes superior ao da atmosfera (ESWARAN *et al.*, 1993; BATJES, 1996). Todavia, o reservatório atmosférico continua aumentando devido à

queima de combustíveis fósseis, à emissão de gases oriundos da atividade industrial, ao desmatamento e a queima da biomassa vegetal e a oxidação do C orgânico resultante do preparo do solo para produção de alimentos cujas emissões anuais totalizam cerca de 3,3 Gt de C ano<sup>-1</sup> (LAL *et al.*, 2004).

O efeito estufa é um processo natural que ocorre devido ao acúmulo de gases (dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>3</sub>), óxido de nitroso e clorofluorcarbonetos), os quais formam uma barreira de forma a impedir a saída de radiação de comprimento de onda longa. Esse fenômeno regula a temperatura e mantém o planeta aquecido, possibilitando a vida na Terra. Entretanto, quando a concentração desses gases é excessiva, mais calor fica retido na atmosfera, ou seja, partes dos raios luminosos oriundos do sol absorvidos e transformados em calor, que deveriam retornar ao espaço, ficam retidos na atmosfera, causando o aquecimento global.

O IPCC publicou, em julho de 2001, três volumes de relatórios sobre as mudanças climáticas. O primeiro volume, *Mudança do Clima 2001: a base científica*, informa que a concentração do CO<sub>2</sub> na atmosfera está em seu nível mais elevado em quatrocentos mil anos. A partir da Revolução Industrial, o nível de CO<sub>2</sub> aumentou 31%, ou seja, estava em 280 ppm, em 1850, e aumentou para 365 ppm, no ano 2000. As projeções indicam concentração de CO<sub>2</sub> na ordem de 700 ppm ao final deste século. Esse aumento expressivo na concentração de gases contribui expressivamente para o Aquecimento Global (IPCC, 2000). Entre os gases causadores do efeito estufa, o volume de CO<sub>2</sub> emitido para a atmosfera contribui com 50% do forçamento radiativo, enquanto o CH<sub>4</sub> contribui com 19%. Já o N<sub>2</sub>O contribui com 5%; os CFC's, com 15% e outros, com 11%. Embora o metano e o óxido nitroso tenham menor participação percentual no quadro geral dos gases causadores do efeito estufa, seu forçamento radiativo é de 64 e 290 vezes o CO<sub>2</sub>, respectivamente. O segundo volume do relatório do IPCC (*Mudança do Clima 2001: impactos, adaptação e vulnerabilidade*) avalia como os

sistemas naturais e humanos são sensíveis à mudança do clima. No relatório, ressaltaram-se algumas conseqüências das mudanças climáticas, tais como freqüência de seca ou de inundação, em algumas áreas; desaparecimento de algumas espécies de animais e aumento no nível do mar. Sendo assim, é fundamental o entendimento da aceleração do efeito estufa para se desenvolverem políticas públicas de redimensionamento dos fatores causadores desse desbalanço.

Segundo (IPCC, 2000) no século XX, a temperatura global aumentou em torno de 0,6°C, a década de 90 foi considerada a mais morna. Já o ano de 1998, o mais quente, desde que se iniciou, em 1861, o registro instrumental da temperatura. A previsão é que a temperatura global aumente, em média, 3°C até o final do século XXI, principalmente na região tropical e nos pólos um aumento da ordem de 7° C.

O retorno de resíduos da produção vegetal e animal para o solo são à base de inúmeros processos biológicos. A matéria orgânica do solo (MOS) resultante dos processos bioquímicos nos solos é sensivelmente afetada pela forma de uso e manejo do solo. A conversão de ecossistemas naturais em áreas agrícolas através do desmatamento, da queima de biomassa e da oxidação da MOS, devido ao preparo do solo, contribuem com aproximadamente 34 % da emissão global líquida de CO<sub>2</sub> (FLACH *et al.*, 1997; IPCC, 2000). Embora a emissão de CO<sub>2</sub> pela queima de combustíveis fósseis seja duas vezes superior à quantidade de CO<sub>2</sub> emitida pelos sistemas agropecuários, o papel da agricultura é relevante no balanço de CO<sub>2</sub> na atmosfera.

A perda histórica de C orgânico do solo por ação antropogênica durante toda a evolução da espécie humana no planeta terra foi estimada em 66 a 90 bilhões de toneladas, dos quais 19 a 32 bilhões se devem à erosão dos solos e 44 a 58 bilhões, ao desmatamento e queima da vegetação natural, além da oxidação microbiana estimulada pelo preparo do solo (LAL, 1999).

## 2.2 O estoque de C e N nos solos brasileiros

Os solos cultivados no território brasileiro são constituídos principalmente por argilas de baixa atividade. Apresentam elevada acidez natural, presença de alumínio tóxico e baixa fertilidade natural. Além disso, a contribuição da MOS na capacidade de troca catiônica (CTC) é expressiva e varia de 70 a 90% (PAVAN *et al.*, 1985). O conteúdo de C nos solos brasileiros corresponde a aproximadamente 5% do estoque de C do mundo (BATJES, 1996). A tabela 2 ilustra o estoque de C para os solos do território brasileiro na camada de 0-30 cm (BERNOUX *et al.*, 2001).

Tabela 2. Estimativa do estoque de C na camada de 0-30 cm para os solos no território brasileiro em Tg C<sup>-1</sup>

Estado	Superfície de área (km <sup>2</sup> )	Estoque de C na superfície total 0-30 cm (Tg C <sup>-1</sup> )	Estoque de em t C ha <sup>-1</sup>
Acre	148 859	726 ± 135	48.8 ± 9.0
Amapá	137 618	673 ± 61	48.9 ± 4.5
Amazonas	1564 144	7477 ± 843	47.8 ± 5.4
Pará	1237 687	5703 ± 444	46.1 ± 3.6
Rondônia	235 465	1067 ± 112	45.3 ± 4.7
Roraima	221 155	1017 ± 125	46.0 ± 5.7
Tocantins	277 606	1124 ± 103	40.5 ± 3.7
<b>Região Norte</b>	<b>3822 534</b>	<b>17 789 ± 1824</b>	<b>46.5 ± 4.8</b>
Alagoas	27 701	99 ± 9	35.8 ± 3.8
Bahia	559 598	1836 ± 142	32.8 ± 2.5
Ceará	146 517	362 ± 24	24.7 ± 1.6
Maranhão	324 289	1268 ± 114	39.1 ± 3.5
Paraíba	56 434	143 ± 9	24.4 ± 1.6
Pernambuco	98 511	262 ± 17	26.6 ± 1.7
Piauí	254 858	727 ± 45	28.5 ± 1.8
Rio Grande do Norte	52 365	128 ± 10	24.4 ± 1.9
Sergipe	20 470	60 ± 6	29.5 ± 2.7
<b>Região Nordeste</b>	<b>1540 743</b>	<b>4886 ± 375</b>	<b>31.7 ± 2.4</b>
Distrito Federal	5 884	24 ± 1	41.3 ± 1.4
Goiás	344 417	1415 ± 68	41.1 ± 2.0
Mato Grosso	905 533	3876 ± 388	42.8 ± 4.3
Mato Grosso do Sul	355 054	1275 ± 125	35.9 ± 3.5
<b>Região Centro-Oeste</b>	<b>1610 888</b>	<b>6591 ± 582</b>	<b>40.9 ± 3.6</b>
Espírito Santo	45 309	215 ± 12	47.4 ± 2.8
Minas Gerais	588 627	2290 ± 107	38.9 ± 1.8
Rio de Janeiro	41 978	225 ± 38	53.5 ± 9.1
São Paulo	247 191	995 ± 46	40.3 ± 1.9
<b>Região Sudeste</b>	<b>923 105</b>	<b>3725 ± 204</b>	<b>40.3 ± 2.2</b>
Paraná	196 983	1149 ± 124	58.3 ± 6.3
Rio Grande do Sul	269 076	1641 ± 232	61.0 ± 8.6
Santa Catarina	93 603	598 ± 74	63.9 ± 7.9
<b>Região Sul</b>	<b>559 661</b>	<b>3388 ± 430</b>	<b>60.5 ± 7.7</b>
<b>Brasil</b>	<b>8456 931</b>	<b>36 378 ± 3414</b>	<b>43.0 ± 4.0</b>

Na região sul, há maior estoque de C situando-se em  $60.5 \pm 7.7 \text{ Mg ha}^{-1}$ , enquanto na região norte os estoques são menores de  $40.5 \pm 3.7 \text{ Mg ha}^{-1}$ . Entre as décadas de 70 e 90, o uso da terra e a transformação de florestas em áreas de cultivos foram os principais causadores das elevadas emissões de C para atmosfera no último século e no início deste. As emissões dos solos brasileiros estimadas por Bernoux *et al.* (2001) foram da ordem de  $93,3 \text{ Tg CO}_2 \text{ ano}^{-1}$  para este período. Entretanto, este valor decresceu no período de 1975 a 1995 para aproximadamente  $46,4 \text{ Tg CO}_2 \text{ ano}^{-1}$ . Estas tendências de redução nas emissões demonstram a mudança no manejo da terra com impacto para a adoção de sistemas conservacionistas de cultivo. As regiões com as maiores emissões são a Centro-Oeste, devido à conversão do Cerrado em áreas agrícolas e a região Norte, pela conversão da floresta amazônica em pastagens. Vários estados apresentaram emissões negativas e todas as regiões apresentaram emissões menores que as de 1970 a 1990. No entanto, apenas a região Sul apresentou emissões negativas nos Estados que a compõem, ou seja, emitiu menos C de 1975 a 1995 que o estimado de 1970 a 1990 (BERNOUX *et al.*, 2001).

No Paraná, o estoque de C dos solos diminuiu significativamente na profundidade de até 30 cm entre 1970 e 1990 (BERNOUX *et al.*, 2001), com a emissão de  $\text{CO}_2$  de  $6910 \text{ Tg CO}_2 \text{ ano}^{-1}$ . Nos últimos anos, o Paraná apresentou uma taxa de emissão de  $\text{CO}_2$  negativa de  $-425 \text{ Tg CO}_2 \text{ ano}^{-1}$  entre 1975 e 1995, provavelmente devido à conversão de PC em PDP. Embora as estimativas tenham sido realizadas para a camada de 0-30 cm de profundidade, as perdas de C com a conversão da vegetação natural (floresta ou campo nativo) em lavoura ocorrem principalmente na camada superficial de 0-10 cm. Essas perdas foram estimadas entre 35 a 70% do conteúdo original do C do solo (SÁ *et al.*, 2001). Estes autores constataram que a classe textural quando associada à intensidade de preparo possui enorme impacto nas perdas de C, como é o caso citado por Resk *et al.* (1998), em Neossolos Quartzarenicos do sudoeste baiano, comparados a Latossolos Vermelhos, argilosos de Goiás.

Assim, como o sistema de manejo do solo pode reduzir o conteúdo do C, outros autores observaram a recuperação de COT em sistemas como o plantio direto (SPD) associado a aporte de elevadas quantidades de resíduos culturais. Observaram em experimentos de longa duração a recuperação do conteúdo de C para os níveis iguais ou superiores aos encontrados originalmente sob vegetação natural de campo nativo (SÁ, 2001; DIECKOW, *et al.* 2004). Dessa forma, dependendo das práticas de manejo adotadas, o solo poderá atuar como fonte (emissão), contribuindo diretamente com o efeito estufa ou dreno (mitigação e/ou sumidouro) do CO<sub>2</sub> atmosférico.

### **2.3 Impacto dos sistemas de manejo e o C**

Do ponto de vista agrônomico, o solo torna-se uma fonte de CO<sub>2</sub> para a atmosfera quando as perdas por oxidação são maiores do que as adições de C através dos resíduos culturais. Os sistemas de manejo que usam o preparo do solo para a produção vegetal constituem-se principal fator dessas perdas (BRUCE *et al.*, 1999). Embora consideradas importantes fontes de C para a atmosfera, atualmente possuem um potencial de seqüestrar 0,4-0,9 Mg C ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, para um período de 20 a 50 anos (LAL, 2004, BAYER *et al.*, 2005; DIECKOW, *et al.* 2005). A ausência de preparo, associada à manutenção dos resíduos culturais na superfície do solo constituindo SPD, proporciona que o solo atue como um dreno do CO<sub>2</sub>, através da absorção de CO<sub>2</sub> pelo processo de fotossíntese e a sua transformação em C orgânico do solo. A decomposição dos resíduos culturais e a futura estabilização do C no solo irá depender da quantidade e qualidade do resíduo cultural depositado.

Atualmente, estima-se que há 23,5 milhões de hectares do território brasileiro cultivados sob o SPD, representando cerca de 50 a 52% da área cultivada com grãos do país. (FEBRAPDP, 2006). O fato de requerer menor número de operações mecanizadas que



provocam a emissão de CO<sub>2</sub> para atmosfera, para o mesmo nível de produção que o preparo convencional (PC), provocará perdas menores de C orgânico do solo e redução das emissões de CO<sub>2</sub> dos combustíveis fósseis para a atmosfera (KERN & JOHNSON, 1993, DIEKCOW, 2005).

A adoção de sistemas conservacionistas torna viável a recuperação dos teores de MOS degradados, mesmo em condições climáticas altamente favoráveis à decomposição microbiana e em solos com baixo teor de argila, nos quais a proteção física da matéria orgânica é frágil (AMADO *et al.*, 2001). A proteção física da matéria orgânica do solo durante o processo de agregação das partículas tem sido um processo fundamental para o aumento do estoque de C e N do solo, principalmente em solos de textura média a arenosa (SIX *et al.*, 1999).

Embora a oxidação da MOS seja superior nas regiões tropicais e subtropicais, os ganhos de C devido à adoção do PDP associado à elevada quantidade anual de resíduos culturais tem sido superior aos solos sob clima temperado. Segundo Corazza *et al.*, (1999) a região dos cerrados brasileiros com a taxa de 2,18 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> mostra o potencial das regiões tropicais. Por outro lado, em casos cujas entradas de resíduos culturais são menores, as taxas de seqüestro se reduzem expressivamente. Segundo Lal (1997), na região oeste da Nigéria a redução foi de 0,17 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. No entanto, a grande diferença estabeleceu-se pelo maior aporte de resíduos culturais no experimento conduzido por Corazza *et al.* (1999), através da introdução de espécies com alta capacidade de produção de fitomassa, como a *Brachiaria decumbens*. Taxas de seqüestro da ordem de 0,9 a 1,6 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (AMADO *et al.*, 1999; BAYER *et al.*, 2000; SÁ *et al.*, 2001; DIEKOW *et al.*, 2005) também se constata em solos sob clima subtropical na região Sul do Brasil.

O caminho do C oriundo dos resíduos culturais e o estoque nos diversos compartimentos da MOS têm sido estudados por alguns autores (PAUSTIAN *et al.*, 2000; SÁ *et al.*, 2001, SIX

*et al.*, 2000 b, 2002, 2004 e 2006). Revisando os processos e mecanismos, Six *et al.* (2002 b) definiram três reservatórios e mecanismos de proteção do C oriundo da decomposição da matéria orgânica: (1) pode estar estabilizada ou fisicamente protegida da decomposição; (2) intimamente associada com silte e partículas de argila; (3) e estabilizada quimicamente em compostos recalcitrantes, aparecendo nas frações leves e na matéria orgânica particulada (tamanho de partículas maiores que 53  $\mu\text{m}$ ), características resultantes do manejo e mudança de uso do solo. A proteção física da MOS durante a agregação do solo tem sido o processo mais discutido (TISDALL & OADES, 1982; ELLIOT, 1986; CARTER, 1992; CAMBARDELLA & ELLIOT, 1994; BEARE *et al.*, 1994a e b; JASTROW *et al.*, 1996; LAL, 1999; BALESSENT *et al.*, 2000; SÁ *et al.*, 2001; SIX *et al.*, 2000, 2002 e 2004). Dessa forma, a manutenção do plantio direto por longo período eleva o conteúdo da MOS através da proteção da MOS recente entre os microagregados e macroagregados, protegendo-a do ataque da biomassa microbiana (Sá, 2001, Six et al 2002). O fluxo contínuo de C oriundo dos restos culturais se armazena nas frações granulométricas mais grosseiras do solo e a manutenção desse aporte resultará na proteção física C entre os micro e macroagregados indicando que o C está em direção ao seqüestro (SÁ *et al.*, 2001, SIX *et al.*, 2002, DIEKOW, 2005).

A taxa de agregação é a responsável pelo maior acúmulo de C no PDP em clima tropical e subtropical, comparados aos solos sob clima temperado. Conforme Six *et al.* (2002), nos solos sob clima tropical e subtropical há maior produção de fitomassa o que, conseqüentemente, estimula os agentes de agregação, temporários e transientes, aumentando a quantidade de macroagregados, a qual resultando numa maior proteção física do C.

A combinação das culturas em rotação como base do PDP parece proporcionar um efeito intermitente na formação de macroagregados na camada superficial. Aceitando-se esta hipótese, admite-se que a contribuição do PDP em regiões subtropicais e tropicais na redução da emissão de CO<sub>2</sub> tem um papel de destaque no cenário global (SÁ *et al.*, 2001).

A exemplo disto, um experimento de longa duração sobre sistemas de uso da terra na região Sul do Brasil constatou o aumento no estoque de C e N no solo na camada de 0-10 cm, sob SPD superior ao solo ao encontrado sob vegetação natural. Todavia, o ganho de C nesta camada correspondeu a 82% do ganho total de C (SÁ *et al.*, 2001). Por outro lado, as perdas de C na camada de 0-10 cm sob PC representaram 97% da perda total de C (SÁ *et al.*, 2001). A tabela 3 ilustra as taxas de seqüestro de C obtidas por vários autores em várias regiões do território brasileiro.

**Tabela 3 – Taxa de seqüestro de C no Brasil nas regiões tropicais e subtropicais, em solos sob plantio direto em relação ao preparo convencional.**

Local	Solo	Prof. (cm)	Estoque de C, Mg ha <sup>-1</sup>		Tempo (anos)	Taxa, Mg há <sup>-1</sup>	Referência					
			PC	PD								
<b>TROPICAL</b>												
Planaltina DF	Latossolo	0- 20	37,34	47,35	16	0,63	Corazza et al. (1999)					
Luziânia GO	Latossolo	0- 20	38,60	41,00	8	0,30	Bayer et al. (2005)					
Coimbra MG	Acrisol	0- 20	31,23	38,54	15		Leite et al. (2004)					
Campinas SP	Latossolo	0- 20	78,00	80,80	12		De Maria et al. (1999)					
Costa Rica MS	Latossolo	0- 20	54,30	57,30	5		Bayer et al. (2005)					
<b>SUBTROPICAL</b>												
Londrina PR (1998)	Latossolo	0-20	29,00	32,30	14	0,24	Castro Filho et al. 1998					
Ponta Grossa PR	Latossolo	0-20	58,55	76,74	22	0,81	Sá et al. (2001)					
Tibagi a PR	Latossolo	0-20			10	1,6	Siqueira Neto (2003 a)					
Tibagi PR	Latossolo	0 – 40			10	- 0,5	Sá et al. (2001)					
Passo Fundo RS	Latossolo	0-20	44,80	46,7	13	0,15	Freixo et al.(2002)					
		0-20	48,34	50,36		0,16	Sisti et al. (2004)					
Eldorado do Sul MS	Latossolo		29,69	36,45	13	0,52	Lovato et al. (2004)					
<b>TEMPERADA</b>												
EUA	Ultissol	0 – 30			Faixa:	0,24 - 0,40	Lal et al. (1999)					
					Média:	0,34	West; Marland (2002)					
Fonte:	modificado	de	Bayer	et	al.,	2005;	Bernoux	et	al.,	2005;	Pavei,	2005.

## 2.4 Alterações no estoque de C pelos sistemas de manejo do solo

O conteúdo de MOS de vários sistemas agrícolas encontram-se abaixo dos níveis potenciais (BATJES, 1999) e os sistemas conservacionistas poderiam ser a alternativa para mitigar as emissões de CO<sub>2</sub> nos sistemas de produção agropecuário.

O estado de equilíbrio da MOS é dinâmico e vários modelos têm sido usados para descrever suas alterações ao longo do tempo. O conhecimento dos processos envolvidos no seqüestro de C torna-se importante no entendimento do potencial do solo como dreno para o CO<sub>2</sub> atmosférico.

A complexidade dos modelos varia desde uma abordagem simplificada e unicompartmental, proposta de Henin & Dupuis (1945), aos modelos multicompartimentais propostos por Jenkinson & Rainer (1977), Van Veen & Paul (1981), Janssen (1984) e Parton *et al.* (1987).

Inúmeros trabalhos realizados em diversas eco-regiões compararam o aumento da MOS no PDP em relação ao PC e constataram que esse aumento restringe-se principalmente à camada superficial; raramente ultrapassa os 15 cm de profundidade (LAL, 1997; DICK, 1983, 1998; KERN & JOHNSON, 1993; BAYER, 2000; SÁ, 1993, 2001). Em regiões tropicais e subtropicais, os ganhos significativos nos teores de COT no PDP em relação ao PC também ocorreram basicamente na camada 0-10 cm de profundidade (KERN & JOHNSON 1993; SIDIRAS & PAVAN, 1985).

Em solos sob clima temperado, Kern & Johnson (1993) constataram que o ganho médio de C no PDP em relação ao PC foi de 28,3% na camada de 0-8 cm, 16% na camada de 8-15 e nenhum ganho abaixo de 15 cm de profundidade. Em outra condição climática, Reicosky *et al.* (1995) constataram que os ganhos em MOS no PDP foram de 0 a 2300 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, equivalente à taxa anual de 0 a 1,15 Mg ha<sup>-1</sup> de C. Segundo esses autores, os valores mais

elevados relacionam-se às regiões mais frias ou que receberam expressivos aportes de resíduos culturais de inverno. Além disso, associa-se a formação geológica, a fração argila (SIX *et al.*, 1999) aos mecanismos de proteção física da matéria orgânica do solo. De modo geral, os sistemas de manejo afetam a fração lábil da matéria orgânica do solo e pouco ou quase nenhum efeito se observa sobre a fração humificada, (localizada no interior de microagregados), nem sobre a fração coloidal (DUXBURY *et al.*, 1989, SIX *et al.* 2002).

O modelo conceitual para a formação hierárquica de agregados no solo apresentado por Tisdall & Oades (1982) e posteriormente discutidos por Oades (1984), Elliot (1986), Dexter (1988) e outros, descreve a associação da MOS com três tipos de unidades físicas: as partículas primárias livres (areia, silte e argila), os microagregados e os macroagregados. Nesse modelo, os autores propuseram que a formação de agregados ocorre de uma forma hierárquica com a participação de três tipos de agentes cimentantes: a) transientes - são constituídos por polissacarídeos derivados da atividade microbial e de resíduos vegetais, os quais são rapidamente decompostos pelos microorganismos do solo; b) temporários - incluem raízes e hifas, especialmente de micorrizas; e c) persistentes – incluem as substâncias húmicas e aromáticas em associação com compostos amorfos de Fe, Al e cátions metálicos polivalentes.

As partículas primárias e microestruturas de argila são ligadas através de restos de bactérias e fungos em microagregados de 2-20  $\mu\text{m}$  de diâmetro, que, por sua vez, podem ser ligados aos restos e fragmentos de fungos e resíduos vegetais formando microagregados entre 20-250  $\mu\text{m}$  de diâmetro. Nesta fase, acredita-se que os agentes orgânicos de ligação envolvidos na estabilização dos microagregados sejam os classificados como persistentes. Por outro lado, os microagregados unem-se para a formação de macroagregados ( $> 250 \mu\text{m}$  de diâmetro) segundo Dexter (1988), através de agentes de ligação transientes e temporários. Conforme o diâmetro dos macroagregados aumenta, os agentes temporários tornam-se mais

importantes. O efeito direto de raízes vivas e hifas de fungos podem ser encarados dentro da visão tridimensional, que enlaça fisicamente microagregados e partículas primárias, criando macroagregados estáveis (OADES & WATERS, 1991). Ao mesmo tempo, a natureza dessas associações organo-minerais e a sua distribuição espacial dentro da hierarquia do agregado determina o grau em que o COT está fisicamente protegido da decomposição, assim como determina as diferentes entradas e taxas de retorno da MOS.

A biomassa microbiana representa aproximadamente 2 a 4 % do C total do solo, sendo responsável pela decomposição dos resíduos culturais e atuando nas frações lábeis da MOS. É considerado um indicador das mudanças ocorridas no solo, uma vez que representa parte da fração ativa. É mais sensível às alterações do meio que os estoques de C e N total do solo.

As diferentes frações da matéria orgânica do solo podem ser definidas segundo Duxbury *et al.* (1989) em:

- Compartimento ativo ou lábil – constituído por componentes facilmente oxidáveis, estando sujeito a alterações devido à influência do manejo do solo sobre a biomassa microbiana;
- Compartimento lentamente oxidável – ligado à formação dos macroagregados. O sistema de manejo afeta o tamanho deste compartimento;
- Compartimento muito lentamente oxidável – ligado à formação de microagregados, que são altamente estáveis em água. O sistema de manejo exerce baixa influência neste reservatório;
- Compartimento passivo ou recalcitrante – ligado ao C, o qual é associado às partículas primárias do solo, C que é reduzido a formas elementares. O sistema de manejo não influencia este reservatório.

As frações granulométricas da matéria orgânica refletem prontamente as alterações provocadas pelo sistema de manejo adotado (CARTER, 1992). Em estudos realizados em

solos sob diferentes tipos de manejos no Estado do Paraná, encontram-se aumentos significativos no C total do solo (0-10 cm) sob PDP, principalmente nas frações granulométricas mais grosseiras em comparação ao sistema convencional (SÁ *et al.*, 2001).

### **2.5 Alterações do N do solo em diferentes sistemas de manejo**

O uso de sistemas conservacionistas pode prolongar a permanência do N no solo, assim como aumentar, ao longo do tempo, os teores de N total, principalmente nas camadas mais superficiais (AMADO *et al.*, 1999; SÁ *et al.*, 2001). A redução de intensidade de mobilização do solo causa um efeito positivo do N total acumulado nos sistemas conservacionistas em relação ao PC na camada mais superficial do solo; e redução de perdas via imobilização por microorganismos e liberação gradual do nutriente (AMADO *et al.*, 1999; SÁ *et al.*, 1999).

No solo, a maior parte do N está ligada a MOS. A manutenção, o conteúdo, a variabilidade química e a distribuição no solo da MOS influenciam diretamente as reações que ali ocorrem, principalmente em solos altamente intemperizados e dependentes de carga. É importante compreender as transformações do N no solo para se obter uma maior eficiência no uso dos fertilizantes e manejo adequado da MOS.

O aporte contínuo de matéria seca (MS) proporcionado por sistemas como o PDP promove uma maior disponibilidade do N para as plantas, pois ao longo da decomposição da MS, os microorganismos promovem a mineralização MS e liberam o N; as taxas de mineralização do N são menores no PDP comparadas ao PC, conseqüência do menor fluxo de oxigênio no PDP pelo não revolvimento do solo. Normalmente, logo após a colheita tem-se um volume maior de palhada na superfície e grande quantidade de nutrientes associados às formas orgânicas do tecido vegetal não disponíveis para a próxima cultura. No SPD, conseqüentemente, haverá maior necessidade inicial de fertilizante nitrogenado, pois neste



sistema a taxa de decomposição do material orgânico é menor. A maior exigência de N-fertilizante na fase inicial do PDP está estreitamente relacionada à ocorrência de picos de imobilização, os quais coincidem com a demanda inicial de N pela planta (AMADO *et al.*, 1998; SÁ, 1999).

Por outro lado, a manutenção do PDP associado ao aporte de resíduos culturais irá promover a estabilização dos níveis de MOS em um novo equilíbrio, no qual uma menor taxa de decomposição da MOS é compensada pela quantidade de MOS adicionada (BAYER *et al.*, 2000; SÁ *et al.*, 2001). Quando estabilizada, a MOS, em seu novo ponto de equilíbrio, necessitará de menor quantidade de N fertilizante, pelo aumento da disponibilidade do elemento no solo. Em contrapartida, no PC a mineralização é alta, quando os resíduos culturais são incorporados ao solo. Além disso, uma grande quantidade de nutrientes é rapidamente liberada, a qual muitas vezes fica suscetível a perdas (SÁ, 1993). A mineralização é a conversão de N orgânico para a forma inorgânica ( $N-NH_4^+$ ), sendo exclusivamente microbiológicas. Vários fatores influenciam o processo, tais como manejo adotado, fontes de N disponível, o tipo de solo, mineralogia do solo, a aeração, a temperatura, a umidade e o pH. Este processo ocorre simultaneamente ao processo de imobilização, que consiste na remoção do N inorgânico do solo pelos microorganismos decompositores da matéria orgânica, durante a multiplicação, crescimento e manutenção da biomassa do solo e, dependendo da magnitude de cada fluxo, pode-se ter um resultado líquido de mineralização ou imobilização (CARDOSO, 2005). Nos sistemas de manejo do solo com a manutenção dos resíduos culturais e aportes contínuos de resíduos, a decomposição dos materiais orgânicos e a mineralização/imobilização do N são processos essenciais no ciclo interno do solo e no aumento do estoque de N (SÁ, 1993; BAYER & BERTOL, 1999; SÁ *et al.*, 2001; CARDOSO, 2005).

A MOS apresenta-se simultaneamente em diferentes estados de decomposição e por

isso sua composição é heterogênea, ou seja, apresenta concentrações de açúcares de rápida decomposição, até substâncias extremamente recalcitrantes e de alta estabilidade, como o húmus.

Vários estudos têm mostrado que resíduos com baixa relação C/N decompõem-se mais rápido do que os resíduos com relação C/N alta. A baixa velocidade de decomposição dos resíduos de alta relação C/N tem sido atribuída à deficiência de N e à presença de constituintes recalcitrantes. Os decompositores possuem menor relação C/N do que as fontes por eles exploradas, reconhecendo o N como um fator limitante para o crescimento e atividade microbiana durante a decomposição de resíduos de plantas.

A qualidade do material vegetal (por exemplo, conteúdo de lignina e polifenóis), também é fator determinante para estas transformações de N no solo. A velocidade de decomposição e liberação de N dos resíduos culturais das plantas de cobertura foi inversamente proporcional às relações C/N e LIG/N e diretamente proporcional às concentrações de N total na fitomassa e de N e C da fração solúvel em água (CARDOSO, 2005).

A relação C/N é um fator que demonstra a velocidade de decomposição do material vegetal. Quanto menor a relação, maior será a velocidade de decomposição, e quanto maior a disponibilidade de N mineral ou orgânico, maior será a velocidade de decomposição do material vegetal. Provavelmente pelo fato de os microorganismos decompositores terem uma relação C/N menor que a da maioria das palhadas, o N seja limitante para decomposição do material vegetal.

### 3 ALTERAÇÕES NO ESTOQUE DE C E N NAS FRAÇÕES GRANULOMÉTRICAS DA MATÉRIA ORGÂNICA AFETADA POR SISTEMAS DE MANEJO DO SOLO

#### 3.1 RESUMO

O estoque de carbono (C) nas diferentes camadas do solo assim como nas frações granulométricas da matéria orgânica foram avaliados em um experimento de longa duração sobre diferentes sistemas de manejo do solo: preparo convencional (PC), preparo mínimo (PM), plantio direto escarificado (PDE) e plantio direto permanente (PDP). As amostras foram coletadas em um experimento implantado em 1988 na estação experimental da Fundação ABC em Ponta Grossa, Meso Região Centro-Oriental do Estado do Paraná. Foram coletadas amostras de solo mensalmente de outubro de 2003 a novembro de 2004, na sucessão aveia branca/soja/trigo das camadas de 0,0 – 2,5 cm, 2,5 – 5,0 cm e de 5,0 – 10,0 cm de profundidade e fracionadas fisicamente. Os objetivos foram determinar: a) os estoques mensais de COT e NT nas camadas do solo, b) os estoques mensais de COT e NT nas frações granulométricas do solo, c) as flutuações mensais de C nas frações granulométricas do solo. Os estoques de C e N do solo foram estatisticamente diferentes entre as épocas de cultivo e tratamentos. O estoque de C no PDP foi superior ao PC nas épocas de amostragem e nas três profundidades analisadas demonstrando a influência do sistema de manejo no COT do solo. A flutuação do C nas frações granulométricas durante o período de coleta evidenciou que na camada de 0 – 2,5 cm observou-se maior influência na fração 2000 – 210  $\mu\text{m}$ , como resultado do aporte e manutenção dos resíduos na superfície principalmente nos sistemas PDE e PDP. Nas camadas 2,5 – 5,0 cm e 5,0 – 10,0 cm os maiores aportes de C ocorreram nas frações 210 a 53  $\mu\text{m}$  demonstrando um fluxo do C em direção às frações de menor tamanho, principalmente no PDP que foi superior ao PC na maioria das épocas de amostragem nesta fração. As frações < 53  $\mu\text{m}$  não apresentaram diferenças entre tratamentos nas 12 épocas de amostragem, demonstrando a estabilidade desta fração frente às influências dos manejos do solo.

Palavras-chave: Estoque de Carbono, Sistemas de Manejo, Frações granulométricas do solo.

## 2.2 SUMMARY

The total soil organic carbon and total nitrogen stock in the different layers as well as in the particle size fractions were assessed in an long term soil tillage management experiment located in Fundação ABC'S experimental station in Ponta Grossa city, Meso Center-oriental area of the State of Paraná. The treatments are comprised by: 1) Conventional tillage (CT); 2) Minimum tillage (MT); 3) No-tillage with chisel plow each three years (NTCP) and 4) No-tillage continuous (NTC). The samples were collected monthly since October 2003 to November 2004, in the white oats/soybean/wheat crop sequence. The objectives were to determine the monthly stocks of soil organic carbon (SOC) and total nitrogen in the whole samples and the monthly stocks of SOC and TN in the particle size fractions in the 0,0 - 2,5 cm, 2,5 - 5,0 cm and of 5,0 - 10,0 cm of layers. The SOC and TN stocks were significant different among the sample time and treatments. The SOC stock in NTC was superior to CT in the all sampling times and in the three depths, indicating the influence of the conservation system in SOC. The SOC fluctuation in the particle size fractions during the sampling collection period evidenced that in the most superficial layer had influences in the 2000 - 210  $\mu\text{m}$  particle size fraction, as a result of the contribution and maintenance of the crop residues in the surface layer in the conservation systems. In the layers 2,5 - 5,0 cm and 5,0 - 10,0 cm under NTC, the largest contributions of C storage was in the 210 to 53  $\mu\text{m}$  particle size fractions demonstrating a C flow towards such minor fractions. The <53  $\mu\text{m}$  particle size fractions did not present differences among the treatments in the 2 sampling times, demonstrating the stability of this fraction to the tillage systems influences.

Word-key: Flux of Carbon, Carbon Reserve, Systems of management of soil, Granulometric Fractions of the soil.

### 3.3 INTRODUÇÃO

Os ciclos bioquímicos são essenciais para os ecossistemas terrestres e a ação antropogênica nestes ciclos tem provocado grande impacto nos reservatórios de C, resultando em emissões expressivas para a atmosfera de gases causadores do efeito estufa (LASHOF E HARE, 1999; BRUCE *et al.*, 1999). A dinâmica dos ecossistemas e, particularmente, o ciclo do C nos solos é afetada pela pressão do manejo dos solos, alterando sensivelmente os fluxos de entrada e saída e de C no sistema. Inúmeros trabalhos, realizados em diversas eco-regiões, mostraram o aumento do C devido a adoção de sistemas conservacionistas, em especial o Plantio Direto Permanente (PDP) ou Sistema Plantio Direto (SPD), quando comparados ao preparo convencional (PC). Constataram que esse aumento foi significativo e concentrou-se principalmente na camada superficial do solo e raramente ultrapassa os 15 cm de profundidade (LAL, 1976 e 1997; DICK, 1983 e 1998; KERN e JOHNSON, 1993; BAYER *et al.*, 2000; SÁ, 1993; SÁ *et al.*, 2001; SISTI *et al.*, 2004; DIECKOW *et al.*, 2005 e PAVEI, 2005).

A variação no estoque do C tem sido um importante fator para avaliar o efeito do manejo do solo, porém, nem sempre esses efeitos sobre o reservatório total de C do solo evidenciam a sensibilidade desta medida como a mais eficiente (BAYER *et al.*, 2000; SIX *et al.*, 2000 a, 2002 e 2004; SÁ *et al.*, 2001; LEITE, *et al.* 2003). De acordo com Duxbury *et al.* (1989) a MOS é basicamente constituída de um reservatório ativo e outro estável e, portanto medidas que associem a dinâmica de C nesses compartimentos tem sido mais esclarecedoras (BAYER *et al.*, 2000; SIX *et al.*, 2002 e SÁ *et al.*, 2001). As medidas mais específicas da

MOS tais como a estimativa da biomassa microbiana (componente do reservatório ativo), das frações lábeis e das frações mais estáveis têm sido indicadores mais eficientes para detectar as mudanças ocorridas no solo devido ao manejo. A fração ativa é mais sensível às alterações do meio devido à estreita relação com, as alterações no clima local, a adição de material orgânico e de fertilizantes, que somente os estoques de C e N total do solo.

Ao mesmo tempo, tem sido constatado que a transformação dos resíduos culturais, em sistemas conservacionistas como o SPD, dá-se de forma contínua, desencadeando alterações simultâneas nos compartimentos ativo e estável (BAYER *et al.*, 2000; SIX *et al.*, 2002 e 2004; SÁ *et al.*, 2001). As frações lábeis da matéria orgânica também são mais sensíveis às intervenções externas e respondem rapidamente à ação do manejo (BAYER *et al.* 2002), sendo a fração mais oxidável e também a denominada fração leve ou lábeis (SIX *et al.*, 1999), entretanto, a oscilação ao longo de um período é menos abrupta do que a biomassa microbiana demonstrando claramente respostas as variações de sistemas de manejo e ao longo período de SPD (BAYER, 1999; SÁ *et al.*, 2001). Dessa forma, pode-se afirmar que o C das frações leves e o C associado às frações granulométricas do solo é um ótimo indicador principalmente quando relacionado ao estoque total de C.

Inúmeros trabalhos demonstram que as maiores alterações no conteúdo e no estoque de C e N ocorrem na camada mais superficial, com diferenças significativas até os primeiros 10 cm e, abaixo desta camada, tem sido pouco freqüente essas diferenças (BAYER *et al.*, 2000; SÁ *et al.*, 2001; SISTI *et al.*, 2004; DIECKOW *et al.*, 2005; PAVEI, 2005). O processo de quantificação do conteúdo de C, tanto nas amostras por camadas quanto nos compartimentos de C nestas camadas, tem sido muito discutido a partir da década dos 90. Nas últimas duas décadas, o avanço na instrumentação científica e a maior preocupação com o impacto ambiental dos sistemas agrícolas, desencadearam inúmeros trabalhos com a preocupação na interação entre os componentes dos compartimentos do C orgânico do solo (JENKINSON &

LADD, 1981; TISDALL & OADES, 1982; CERRI *et al.*, 1985; ELLIOT, 1986; PARTON *et al.*, 1987; CHRISTENSEN, 1992; CAMBARDELLA & ELLIOT, 1993 e 1994; BEARE *et al.*, 1994). Até então vigoravam basicamente duas linhas de pensamento sobre o estudo da MOS: a) os que procuravam saber o que é a matéria orgânica; e b) os que estavam preocupados em estudar o que a matéria orgânica faz. A integração desses pensamentos através da evolução científica adicionou novos desafios no entendimento da dinâmica da MOS (FELLER, 1994; FELLER *et al.*, 1996; SIX *et al.*, 1999, 2000, 2002 e 2004; BAYER *et al.*, 2000; SÁ *et al.*, 2001). A quantificação do C orgânico do solo tem sido feita através de diversos métodos, e muitas vezes apresentando resultados com discrepâncias entre si, demonstrando a necessidade de uma melhor compreensão dos vários métodos quanto dos fatores que estão afetando o ciclo do C nos solos.

As técnicas de fracionamento físico da MOS têm sido um eficiente enfoque para caracterizar as relações entre a matéria orgânica e a agregação em macro e micro escala. O conceito que respalda o fracionamento físico da MOS enfatiza o papel dos minerais do solo na estabilização e nas taxas de retorno. As técnicas de fracionamento físico são consideradas menos destrutíveis e os resultados obtidos com este procedimento estão diretamente relacionados com a estrutura e as funções da MOS “in situ” (CHRISTENSEN, 1992).

O fracionamento físico da MOS tem sido aplicado em estudos cujo objetivo é: a) recuperar a fração leve que é constituída de resíduos vegetais não decompostos e produtos de decomposição parcial; b) identificar a natureza da MOS em complexos organo-minerais; e c) determinar os tipos de MOS envolvidos na estabilização de agregados estáveis em água (STEVENSON *et al.*, 1989). Pode ser realizado com base em dois princípios gerais: - a densidade e o tamanho da partícula e/ou agregado.

O fracionamento por densidade é utilizado para isolar a MOS que não está firmemente associada com a parte mineral do solo. Neste caso, o solo é disperso em líquidos orgânicos

pesados ou soluções salinas com densidades variando entre 1,6 a 2,2 g mL<sup>-1</sup>. O fracionamento granulométrico é baseado no conceito de que as frações da MOS associadas com partículas de tamanho e composição mineralógica diferentes, diferem em estrutura e função e cumprem papel específico na taxa de retorno da MOS (CHRISTENSEN, 1992).

Trabalhamos, portanto, com a hipótese que a o C e N do solo variam em função do manejo do solo, tanto na superfície quanto em maiores profundidades.

Tivemos por objetivo avaliar as alterações no conteúdo e no estoque de C e N nas frações granulométricas da MOS visando compreender as flutuações de C e N nestas frações em amostras de solo coletadas em intervalos mensais durante o período de um ano. Da mesma forma, espera-se compreender as alterações desses compartimentos devido às entradas e saída de C mês a mês para explicar os processos que podem estar influenciando diretamente nas taxas de ganhos e perdas. Além disso, a compreensão do C e N associado às frações granulométricas do solo, poderá auxiliar no esclarecimento do comportamento do C e a sua evolução nas diversas associações organo-minerais.



### 3.4 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.4.1 Localização e descrição da área de estudo

O presente trabalho foi desenvolvido em um experimento sobre sistemas de manejo do solo implantado em 1988/89. Está localizado na estação experimental da Fundação ABC, em Ponta Grossa (PR), no segundo planalto, região Meso Região Centro-Oriental do Estado do Paraná, cujas coordenadas geográficas de referência são: 25°20'S e 50°20'W (Figura 1). A altitude na área experimental é de 910 metros acima do nível do mar, e o clima é caracterizado como subtropical úmido, do tipo Cfb (classificação de Köppen), com verões frescos e geadas no inverno. A precipitação e a temperatura média anual são, respectivamente 1.545 mm e 20° C (Instituto Agrônômico do Paraná, 1994). No decorrer do experimento, foram registradas as condições climáticas através de uma estação meteorológica, situada a 500 m do experimento. Foram coletados dados pluviométricos e dados de temperatura do ar, totalizados diariamente.

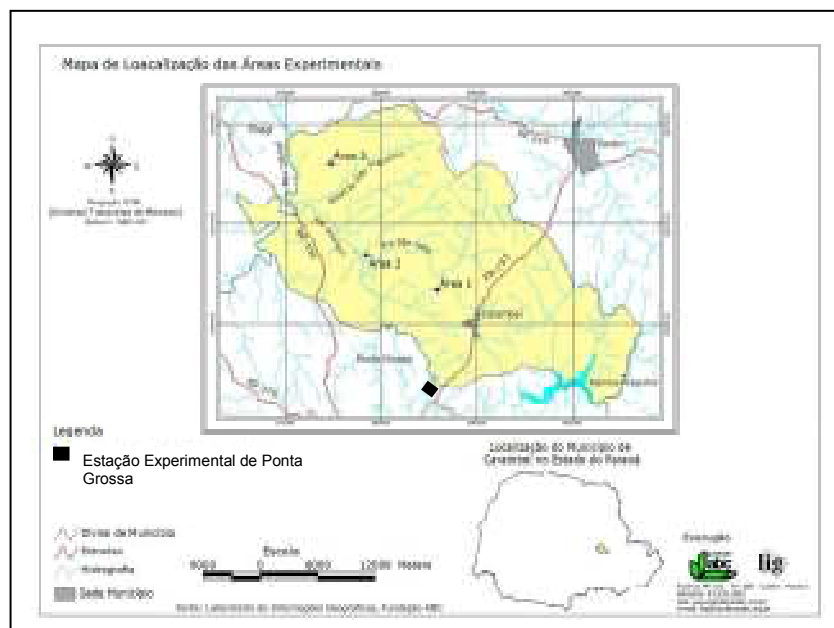


Figura 01: Localização da do experimento de longa duração sobre sistemas de manejo do solo na Estação Experimental de Ponta Grossa – Fundação ABC

A figura 2 (a e b) apresenta os dados históricos de um período de quarenta e quatro anos (a) e os dados mensais de precipitação e temperatura do ar, correspondente ao período de janeiro 2003 a outubro de 2004 (b).

O solo foi classificado como Latossolo Vermelho (Typic Hapludox), textura argilosa, profundo, muito bem estruturado e drenado, derivado de material retrabalhado de arenitos da formação Furnas e folhelhos da formação Ponta Grossa no período Devoniano. A composição florística natural da região, denominada Campos Gerais, caracteriza-se pela presença de gramíneas baixas, desprovidas de arbustos, ocorrendo apenas matos ou capões limitados por depressões em torno das nascentes (Maack, 1981). O relevo é suavemente ondulado com pendentes entre 2 a 7% de declividade.

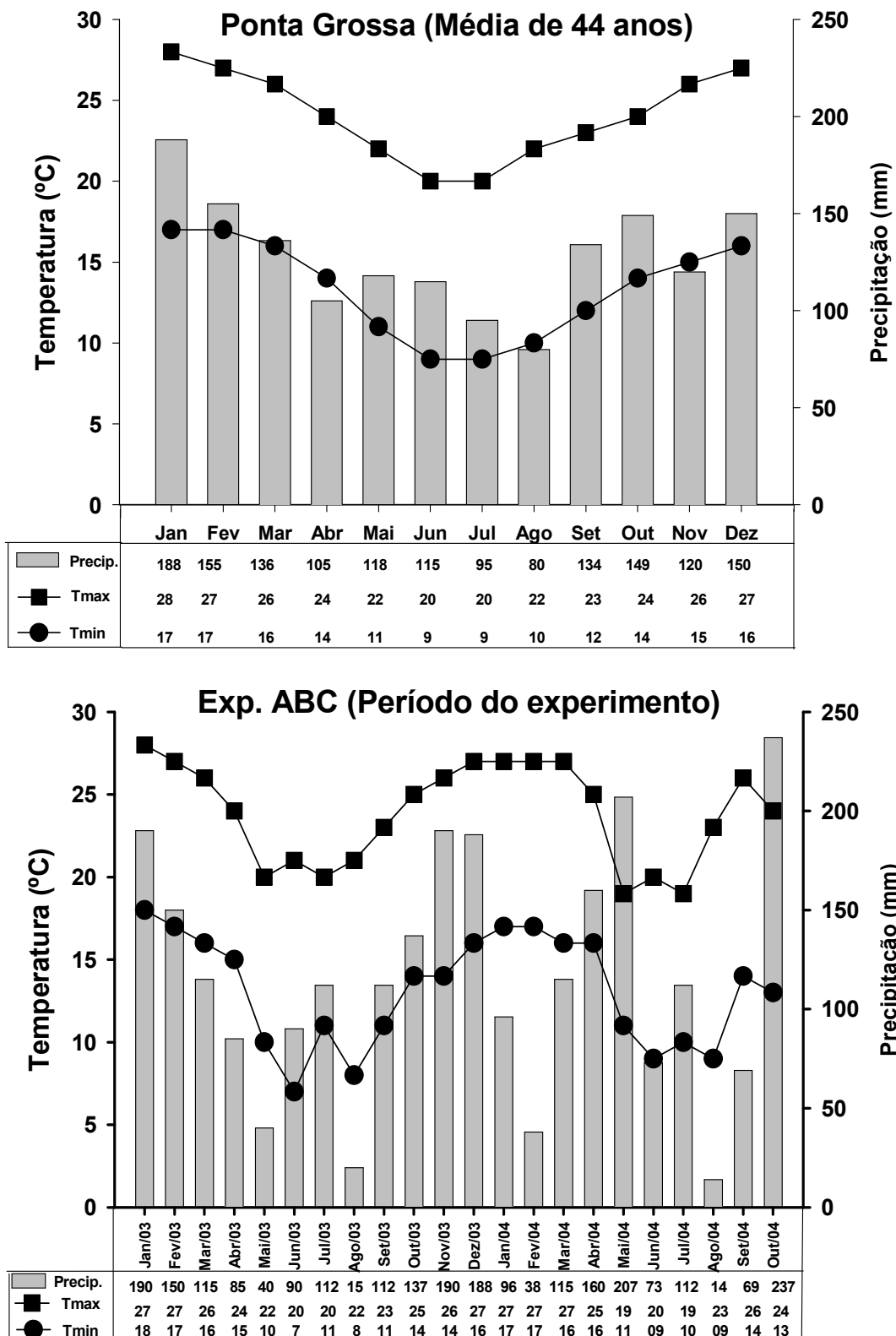


Figura 2. Dados históricos em Ponta Grossa (a) da distribuição mensal da precipitação pluviométrica (barras) relacionada com média da temperatura máxima (■ Tmax.) e temperatura mínima (● Tmin.) e (b) no período de janeiro de 2003 a outubro de 2004.

### 3.4.2 Manejo do solo, rotação de culturas e práticas culturais

Até 1987 a área da estação experimental estava destinada à produção comercial de grãos em sistema de preparo convencional. A fertilidade natural deste solo era limitada, apresentando elevada acidez, carência em bases trocáveis e pobreza em fósforo. No inverno 1988 foram aplicadas 4,5 toneladas de calcário dolomítico e incorporado através de uma aração e duas gradagens antes da implantação do experimento. Posteriormente foi semeada aveia preta para a homogeneização da área. O histórico da ocupação agrícola da área do experimento e uso de fertilizantes desde a safra de 1988 até a safra de inverno 2004 está sumarizado na Tabela 4.

Tabela 4. Histórico da ocupação agrícola e uso de fertilizantes desde a safra de 1988 <sup>(1)</sup>.

Safra (ano)	Cultura de inverno (cultivar)	Fertilização inverno N-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -K <sub>2</sub> O (kg ha <sup>-1</sup> )	Cultura de verão (cultivar)	Fertilização verão N-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -K <sub>2</sub> O (kg ha <sup>-1</sup> )
1988	Aveia Preta	00-00-00	Soja	00-60-60
1989	Aveia preta	00-00-00	Soja	00-60-60
1990	Tremoço	00-00-00	Milho*	36-72-48
1991	Aveia preta	00-00-00	Soja	00-60-60
1992	Trigo	30-60-60	Soja	00-60-60
1993	Ervilhaca	00-00-00	Milho	30-90-48
1994	Aveia branca	00-00-00	Soja	00-60-60
1995	Trigo**	30-60-60	Soja	00-60-60
1996	Ervilhaca	00-00-00	Milho	36-72-48
1997	Aveia preta	00-00-00	Soja	00-60-60
1998	Trigo	30-60-60	Soja	00-40-40
1999	Aveia preta	00-00-00	Milho	30-60-60
2000	Aveia Branca	00-00-00	Soja	0-40-40
2001	Trigo	30-60-60	Soja	00-40-40
2002	Aveia Preta	00-00-00	Milho	30-60-60
2003	Aveia Branca	00-00-00	Soja	00-40-40
2004	Trigo	24-90-60	Soja	00-40-40

\* O valor de N na cultura do milho refere-se a aplicação de 30 a 36 kg ha<sup>-1</sup> no sulco de semeadura e 90 kg ha<sup>-1</sup> em cobertura entre o estágio V4 e V6. \*\* Na cultura do trigo utilizou-se 90 kg ha<sup>-1</sup> de N em cobertura.

O presente estudo (as amostragens) teve início em 21 de outubro de 2003, quando as áreas experimentais foram demarcadas. Estavam cobertas por resíduos de aveia branca (*Avena sativa* - Variedade OR3) semeada com espaço entre fileiras de 0,17 m e 60 Kg ha<sup>-1</sup> de

semente. Foi realizado o manejo mecânico com o emprego do rolo-faca no dia 11/09/2003, objetivando colocar os resíduos em contato com o solo.

#### **3.4.2.1 Safra de Verão 2003/04 – Cultivo da soja**

No mês de outubro, o solo no tratamento PC foi revolvido através de uma aração, seguida de duas gradagens niveladoras e no tratamento PM foi realizada uma escarificação, seguido de duas gradagens niveladoras.

A semeadura da soja (*Glycine max*) foi realizada no dia 10/11/2003. A variedade utilizada foi a CD-206, no espaçamento de 0,40 m entre linhas, contendo em média 14 plantas por metro linear. Utilizou-se na adubação no sulco de semeadura com 160 Kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 0-25-25. As sementes foram tratadas com inoculante Ceotec na proporção de 150 kg para cada 100 kg de sementes.

#### **3.4.2.2 Safra de Inverno 2004 – Cultivo do trigo.**

Em maio de 2004, antes da semeadura do trigo (*Triticum aestivum*), realizou-se a aplicação de 1,5 L ha<sup>-1</sup> e 1,0 L ha<sup>-1</sup> dos herbicidas Glifosato Nortox + 2,4 D. respectivamente, para dessecação dos restos culturais e controle de invasoras. No dia 19/05/2004, o solo no tratamento PC foi revolvido através de uma aração seguida de duas gradagens niveladoras e uma escarificação seguido de duas gradagens niveladoras para o tratamento PM.

A semeadura do trigo foi realizada no dia 02/06/2004. A variedade utilizado foi a CD-105, no espaçamento de 0,17 m entre linhas, densidade de semeadura com 140 Kg ha<sup>-1</sup>, sendo

as sementes tratadas com Baytan (200 ml / 100 kg de semente) + Gaúcho (50 ml / 100 kg de semente).

A adubação no sulco de semeadura foi com 300 Kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 8-30-20 e adubação de cobertura no estágio de perfilhamento pleno com 90 Kg ha<sup>-1</sup> de N na forma de uréia em toda área do experimento.

Os principais eventos agrícolas como fertilização, aplicação de defensivos agrícolas, semeadura, colheita e outros, nas sucessões estudadas (soja e trigo), estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Histórico dos principais eventos agrícolas: data de coleta de amostras de solo, tipo de resíduo cultural existente, práticas culturais e data do evento, intervalo entre o evento e a amostragem do solo e condição climática no momento da coleta.

Data da coleta (E <sub>1</sub> - E <sub>12</sub> )	Tipo de resíduo cultural	Eventos agrícolas	Data do evento agrícola	Tempo do evento até a coleta	Condição climática
E <sub>1</sub> – 21/10/03	Aveia branca	Preparo do solo, Aplicação de defensivos agrícolas	15/10/03 31/10/03	6 dias 10 dias	Chuvos
E <sub>2</sub> – 21/11/03	Aveia branca / soja	Plantio da soja e adubação com PK, Aplicação de defensivos agrícolas	06/11/03 28/11/03	15 dias 7 dias	Sol
E <sub>3</sub> – 13/01/04	Aveia branca / soja	Aplicação de defensivos agrícolas	06/01/04	7 dias	Sol
E <sub>4</sub> – 16/02/04	Aveia branca / soja	Aplicação de defensivos agrícolas	28/01/04	8 dias	Sol
E <sub>5</sub> – 17/03/04	Aveia branca / soja	Aplicação de defensivos agrícolas	04/02/04	12 dias	Sol
E <sub>6</sub> – 21/04/04	Aveia branca / soja	Aplicação de defensivos agrícolas	27/02/04	11 dias	Nublado e úmido
E <sub>7</sub> – 19/05/04	Aveia branca e soja	Colheita da soja, Aplicação de defensivos agrícolas	03/05/04 07/05/04	15 dias 12 dias	Sol fraco
E <sub>8</sub> – 24/06/04	Aveia branca e soja / trigo	Preparo do solo Plantio do trigo e adubação NPK	19/05/04 02/06/04	1 dia 22 dias	Frio e nublado
ET <sub>9</sub> – 16/07/04	Aveia branca e soja / trigo	Adubação de cobertura N, Aplicação de defensivos agrícolas	07/07/04 13/07/04	9 dias 4 dias	Frio
E <sub>10</sub> – 20/08/04	Aveia branca e soja / trigo	Aplicação de defensivos agrícolas	02/08/04	18 dias	Frio e nublado
E <sub>11</sub> – 21/09/04	Aveia branca e soja / trigo	Aplicação de defensivos agrícolas	24/08/04	4 dias	Frio e nublado
E <sub>12</sub> – 20/10/04	Aveia branca e soja / trigo	Aplicação de defensivos agrícolas	20/09/04	1 dia	Sol e nublado
		Colheita do trigo	28/10/04		

### 3.4.3 Delineamento experimental

O delineamento experimental original foi constituído de quatro sistemas de manejo do solo distribuídos em três blocos casualizados. O presente trabalho foi desenvolvido sob o delineamento original acrescentando a variável tempo de coleta como parcela subdividida cujas médias repetidas no tempo, constaram de três repetições.

Os sistemas de manejo adotados foram: 1) Preparo Convencional (**PC**) – realizado através de uma aração para atingir 20 cm de profundidade seguido de duas gradagens niveladoras; 2) Preparo Mínimo (**PM**) – realizado através de uma escarificação para atingir 30 cm de profundidade seguido de duas gradagens niveladoras; 3) Plantio Direto com escarificação (**PDE**) – a semeadura direta sobre resíduos culturais mantidos na superfície do solo associado a uma escarificação para atingir a profundidade de 30 cm a cada três anos e 4) Plantio Direto permanente (**PDP**) – a semeadura direta realizada sobre resíduos culturais mantidos na superfície do solo permanente. A dimensão de cada unidade experimental foi de 8,3 x 25 m, totalizando 2500m<sup>2</sup> (Figura 3).



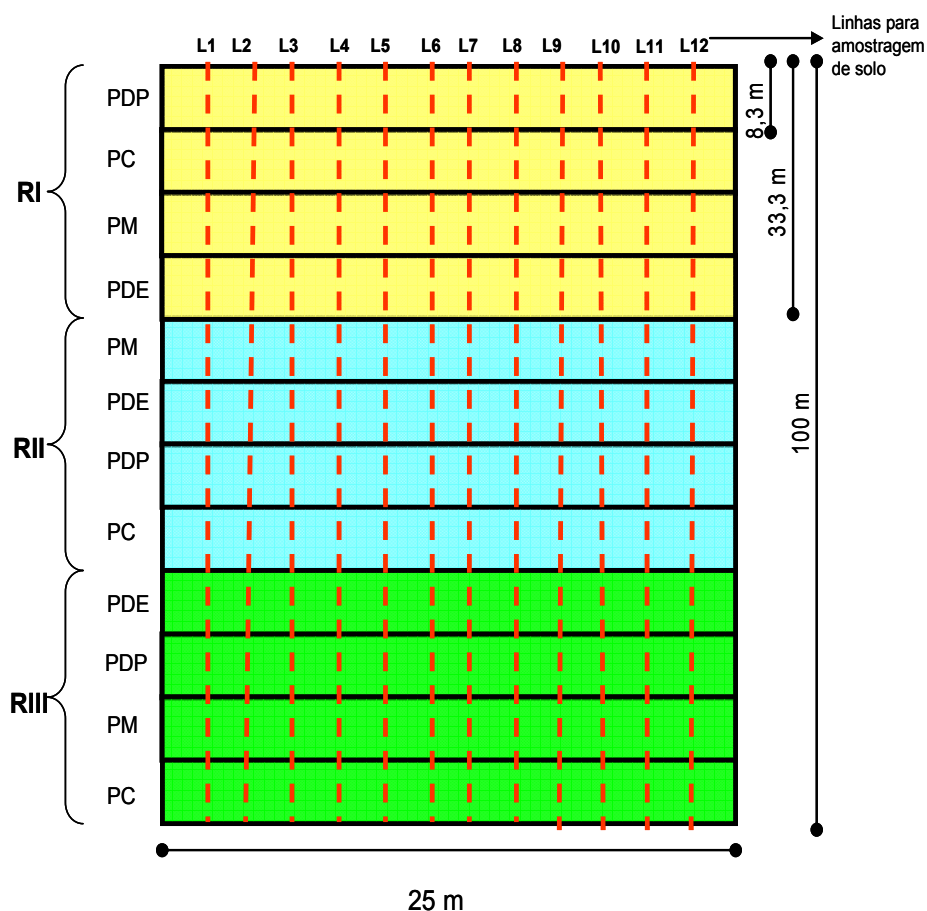


Figura 3. Disposição dos blocos e dos sistemas de manejo de solo do delineamento experimental.

### 3.4.4 Amostragem do solo e análises gerais

#### 3.4.4.1 Amostragem para determinação da densidade do solo

As amostras para a determinação da densidade do solo (DS) foram realizadas em fevereiro de 2003, através da retirada de amostras indeformadas, utilizando anéis de aço inox com diâmetro e altura de 5 cm (BLAKE & HARTGE, 1986) e acopladas em um amostrador para a introdução e retiradas dos anéis. Nas camadas de 5-10 cm de profundidade os anéis foram retirados do meio de cada camada. Para as camadas de 0-2,5 cm e 2,5-5 cm de

profundidade, os anéis utilizados tinham 5 cm de diâmetro e 2,5 cm de altura. Em cada repetição de cada tratamento foram coletados três anéis de cada camada amostrada e feita a média e o desvio padrão geral (Tabela 6).

Tabela 6. Densidade do solo dos sistemas de manejo determinadas em cinco camadas de todas as unidades experimentais da área experimental

Tratamento Sistemas de Preparo do solo	Camada	Blocos			Média	Desvio Padrão
		I <sup>§</sup>	II	II		
----- Mg m <sup>-3</sup> -----						
PC	0-2,5	0,96	1,13	1,16	1,08	0,11
	2,5-5	1,17	1,22	1,22	1,20	0,03
	5,0-10,0	1,14	1,23	1,23	1,20	0,05
	10,0-20,0	1,23	1,22	1,23	1,23	0,01
	20,0-40,0	1,05	1,13	1,17	1,12	0,06
PM	0-2,5	1,16	1,07	1,03	1,09	0,07
	2,5-5	1,24	1,23	1,24	1,24	0,00
	5,0-10,0	1,25	1,25	1,30	1,27	0,03
	10,0-20,0	1,26	1,29	1,11	1,22	0,10
	20,0-40,0	1,05	1,22	1,13	1,13	0,09
PDE	0-2,5	0,93	1,08	1,08	1,03	0,08
	2,5-5	1,11	1,25	1,28	1,21	0,09
	5,0-10,0	1,12	1,27	1,05	1,15	0,11
	10,0-20,0	1,22	1,13	1,11	1,16	0,06
	20,0-40,0	1,22	1,25	1,09	1,19	0,09
PDP	0-2,5	1,03	1,05	1,11	1,06	0,04
	2,5-5	1,09	1,32	1,34	1,25	0,14
	5,0-10,0	1,29	1,32	1,33	1,31	0,02
	10,0-20,0	1,19	1,34	1,25	1,26	0,08
	20,0-40,0	1,14	1,18	1,15	1,16	0,02

<sup>§</sup> Os números de cada bloco nas camadas representa a média de três anéis coletados.

#### **3.4.4.2 Amostragem para caracterização da fertilidade do solo**

As amostras para a caracterização do solo quanto à fertilidade foram efetuadas nas profundidades de 0,0-2,5; 2,5-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm e também coletadas em outubro de 2003 no início das amostragem deste projeto.

As amostras referentes à profundidade de 0,0-2,5 e 2,5-5 cm foram coletadas com o auxílio de uma espátula, sendo que em cada parcela foram coletadas três subamostras que foram misturadas para obtenção de uma amostra composta por parcela e profundidade citada, perfazendo as três repetições. Para a camada de 5-10 e 10-20 cm, as amostras foram coletadas com uma sonda (Bravifer, Piracicaba-SP) de aço inoxidável com 2,0 cm de diâmetro interno. Os resultados de fertilidade obtidos estão na tabela 7.

Tabela 7. Caracterização química do solo nos tratamentos preparo convencional PC, preparo mínimo PM, plantio direto permanente PDP e plantio direto escarificado PDE.

<b>Tratamento</b>	<b>Prof. (cm)</b>	<b>pH (CaCl<sub>2</sub>)</b>	<b>H + Al</b>	<b>Al</b>	<b>Ca + Mg (cmolc dm<sup>-3</sup>)</b>	<b>Ca</b>	<b>K</b>	<b>P mg dm<sup>-3</sup></b>	<b>C g dm<sup>-3</sup></b>	<b>CTC Cmolc dm<sup>-3</sup></b>	<b>V %</b>
PDP	<b>0 – 2,5</b>	5,90	4,80	0,00	8,97	5,93	0,91	27,23	48,67	14,68	66,67
	<b>2,5 – 5,0</b>	5,63	6,48	0,07	7,73	5,2	0,55	17,27	37,33	14,76	56,00
	<b>5,0 – 10,0</b>	5,57	6,62	0,07	6,87	4,57	0,40	20,90	30,0	13,88	52,67
	<b>10,0 – 20,0</b>	5,40	6,69	0,10	5,83	3,77	0,32	11,80	25,67	12,85	48,33
	<b>20,0 – 40,0</b>	5,57	5,47	0,00	4,73	2,97	0,22	1,73	19,67	10,43	47,67
PDE	<b>0 – 2,5</b>	5,53	5,78	0,00	7,27	4,63	0,80	14,00	42,33	13,85	58,67
	<b>2,5 – 5,0</b>	5,27	6,58	0,00	6,83	4,57	0,42	13,4	39,00	13,84	52,67
	<b>5,0 – 10,0</b>	5,23	6,91	0,00	6,17	4,23	0,27	10,97	35,00	13,34	48,67
	<b>10,0 – 20,0</b>	5,27	6,73	0,03	5,97	3,97	0,24	5,93	27,00	12,94	48,67
	<b>20,0 – 40,0</b>	5,03	6,89	0,13	3,90	2,33	0,12	1,4	23,67	10,91	37,33
PM	<b>0 – 2,5</b>	5,60	5,39	0,00	7,33	4,80	0,74	9,37	37,00	13,47	59,67
	<b>2,5 – 5,0</b>	5,50	5,86	0,00	7,27	4,80	0,40	9,03	33,67	13,53	56,67
	<b>5,0 – 10,0</b>	5,40	6,37	0,00	7,17	4,70	0,28	7,53	27,67	13,82	54,00
	<b>10,0 – 20,0</b>	5,30	6,51	0,03	6,07	3,70	0,20	5,43	23,67	12,77	49,33
	<b>20,0 – 40,0</b>	5,40	5,87	0,13	4,67	2,73	0,14	1,30	23,67	10,67	45,33
PC	<b>0 – 2,5</b>	5,67	5,03	0,00	7,30	4,60	0,80	8,50	34,33	13,13	61,67
	<b>2,5 – 5,0</b>	5,57	5,66	0,00	6,73	4,37	0,51	7,00	33,00	12,90	56,33
	<b>5,0 – 10,0</b>	5,40	5,95	0,00	6,23	4,20	0,35	5,67	31,33	12,53	52,00
	<b>10,0 – 20,0</b>	5,37	6,06	0,00	5,93	3,77	0,19	4,67	27,67	12,18	49,67
	<b>20,0 – 40,0</b>	5,37	5,45	0,00	4,37	2,67	0,14	1,70	22,00	9,96	44,67

### **3.4.4.3 Amostragem para o Fracionamento granulométrico da MOS e procedimento de separação das frações**

As amostras para o fracionamento granulométrico foram coletadas em 12 épocas - na (figura 3) observa-se 3 blocos com quatro tratamentos (sistemas de manejo), e com 12 linhas que correspondem as repetições no tempo, feito em intervalos mensais e nas profundidades de 0,0-2,5; 2,5-5,0 e 5,0-10 cm de profundidade. As amostras deformadas foram coletadas em mini-trincheiras nas camadas de 0,0-2,5 e 2,5-5 e com trado calador na profundidade de 5,0-10,0 cm com três repetições por parcela que compôs uma amostra composta.

A metodologia descrita abaixo foi originalmente desenvolvida por Feller (1994) e adaptada por Sá et al (2001) e tem como objetivo avaliar as características da MOS, associada com as diferentes frações granulométricas do solo. O detalhamento das etapas do fracionamento granulométrico é descrito a seguir.

#### **Procedimento de separação das frações**

A separação das frações granulométricas foi realizada em amostras secas ao ar, destorroadas, homogeneizadas e peneiradas em peneira de 2 mm. Em um frasco plástico de 1L pesou-se 40 g da amostra e adicionou-se 100 mL de H<sub>2</sub>O e 0,75 g de hexametáfosfato de sódio e três bolas de vidro. Após ligeira agitação manual ( $\pm$  15 segundos), os frascos foram mantidos em geladeira durante 16 hs para aumentar a retração dos minerais e aumentar as fissuras dos microagregados. Após esse período, os frascos foram agitados durante quatro horas em um agitador horizontal na frequência de 50 rpm. O critério para estabelecer o tempo de agitação foi obtido através de uma curva de dispersão com a avaliação de vários tempos de agitação: 0, 2, 4, 6, 8, 10 e 12 hs. Dessa forma foi avaliado através da visualização em

lâminas no microscópio em aumentos de 100 e 200 vezes, o resultado desejado era os minerais separados (areia grossa, areia média, areia fina, silte e argila) e com baixo quantidade de minerais de tamanho menores.

- a. Separação da fração 212 - 2000 $\mu\text{m}$ : o conteúdo do frasco que estava sob agitação foi colocado sobre a peneira de 210  $\mu\text{m}$  sobre um Becker de 500 mL para obter a fração 210-2000  $\mu\text{m}$ . Foi feita uma lavagem do frasco e das bolas de vidro sobre a peneira e em uma bacia foi colocada a água do próprio béquer que passou da peneira e com movimentos circulares foi feita a retirada as partículas que estavam aderidas ao fundo da peneira além de partículas mais finas – de silte e argila que estavam aderidas aos grânulos de areia. Depois dessa lavagem, o material que fica na bacia é devolvido ao béquer e a peneira é levada ao sistema peneira – funil – béquer, onde será feita a lavagem com borrifador que foi previamente regulado para emitir uma nuvem fina de baixa pressão direcionada ao material na peneira. A lavagem é dada como encerrada quando as gotas quem estão caindo sobre o béquer estiverem límpidas (transparentes). O material que ficou retido na peneira é colocado em um béquer com capacidade de 50 ml previamente pesado e identificado e levado à estufa sob temperatura de 60 a 64°C com o objetivo não alterar as características do C presente na fração.
- b. Separação da fração 53 – 212  $\mu\text{m}$ : é repetido o mesmo procedimento que foi realizado com a fração anterior com o material que transpassou na peneira de 212 $\mu\text{m}$ .
- c. Separação da fração 20 - 53 $\mu\text{m}$ : é repetido o mesmo procedimento que foi realizado com a fração anterior com o material que transpassou na peneira de 53 – 212 $\mu\text{m}$ . O controle da dispersão de agregados foi através da visualização da suspensão em lâminas e avaliadas através de lupa com aumento de até 50 vezes para verificar se a fração areia encontrava-se limpa sem película de argila e os agregados dispersos.

- d. Separação da fração  $< 20\mu\text{m}$ : todo o material que passou da peneira  $20\mu\text{m}$  foi colocado na proveta de  $1000\text{mL}$  e completado com água deionizada até esse volume, e adicionado o agente floculante  $\text{CaCl}_2$  numa proporção de  $1,0\text{ g.L}^{-1}$ , após a completa sedimentação desse material, o sobrenadante foi retirada através de bomba à vácuo e material transferido para um béquer e colocado em estufa como as demais frações. A figura 4 ilustra o procedimento.

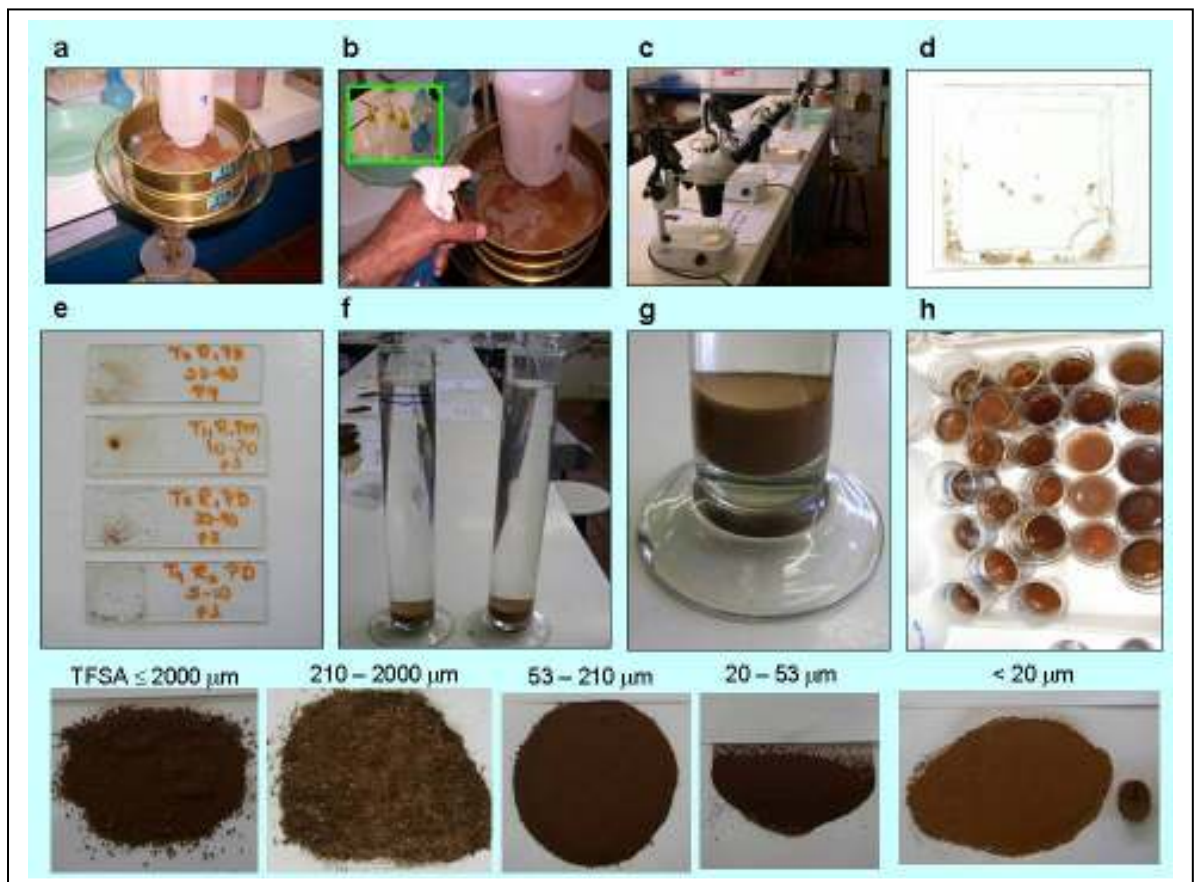


Figura 4. Seqüência do fracionamento granulométrico: a. Separação das frações  $210 - 2000\ \mu\text{m}$  e  $53 - 210\ \mu\text{m}$ ; b. limpeza da fração com borrifador; c. Controle da dispersão com lamina da suspensão e lupa; d. lamina para avaliação da dispersão; e. conjunto de lâminas das frações granulométricas para avaliação da dispersão; f. Flocculação da fração  $< 20\ \mu\text{m}$  com a adição de  $\text{CaCl}_2$ ; g. Detalhe da flocculação; h. Amostras prontas para a secagem em estufa a  $60^\circ\text{C}$ . Frações granulométricas após secagem para posterior moagem em gral de porcelana.

#### 3.4.4.4 Análises de carbono e nitrogênio nas frações granulométricas do solo

Após a secagem e pesagem, as frações foram trituradas manualmente com ajuda de um gral e pistilo de porcelana até o tamanho menor que 80 mesh. Posteriormente, acondicionadas em sacos plásticos identificados e bem fechados e guardados em ambiente seco com temperatura entre 15 a 25 °C ao abrigo da luz para evitar perdas por oxidação. A homogeneidade deste procedimento permite maior confiabilidade nos resultados com a máxima extração do C.

O C e N das frações granulométricas das camadas de 0-2,5 e 2,5-5 cm nas épocas de amostragens 1, 7 e 12 foi determinado pelo método da combustão seca, utilizando-se um analisador de C e N, denominado **TruSpec CHN**, da LECO equipamentos no laboratório de Biogeoquímica do CENA em Piracicaba. O C nas frações granulométricas de todas as amostras foram determinadas pelo método da combustão úmida (denominado Walkley-Black) conforme EMBRAPA, 1997 e adotada nos laboratórios de análise de solo para rotina. Os resultados obtidos com a combustão úmida foram corrigidos para combustão seca através de uma equação de regressão linear com os dados obtidos pela combustão seca.

A equação de regressão usada para corrigir os dados de WB para combustão seca foi:

$$Y = 0,7702 + 0,2825X$$

$$R^2 = 0,894$$



### 3.4.4.5 Cálculo do estoque de C e N nas frações granulométricas das camadas amostradas

O cálculo do estoque de C e N nas frações granulométricas para cada camada amostrada (Sá, 2001), se baseou nos dados do conteúdo de C e N total expressos em  $\text{g kg}^{-1}$  e expressos em  $\text{kg Mg}^{-1}$  (unidade equivalente), na densidade do solo (DS) determinada em  $\text{g cm}^{-3}$  e expressos  $\text{Mg m}^{-3}$  (unidade equivalente) e no volume da camada amostrada em  $\text{m}^3$ . Os resultados finais foram expressos em  $\text{Mg ha}^{-1}$  para cada profundidade amostrada, conforme o exemplo a seguir:

#### 1- O cálculo do C e N das frações granulométricas

Foi efetuado através da equação:  $Ef = (C \times Pf)/1000$  (1)

Onde:

**Ef** = Estoque de C e N na fração em  $\text{Mg ha}^{-1}$

**Cf** = Conteúdo de C ou N na fração  $\text{g kg}^{-1}$ , resultado obtido por análise laboratorial

**PF** = Peso da fração em  $\text{Mg ha}^{-1}$

**PF** =  $((\% \text{ Fr} \times \text{VPA}) / 100) \times \text{DS}$  (2)

Onde:

**VPA** = Volume da Profundidade Amostrada em  $\text{m}^3$

**DS** = Densidade do solo  $\text{g cm}^{-3}$

**% Fr** = porcentagem da fração

**% Fr** =  $(Pf \times 100)/100$

Onde: (3)

**Ppf** = peso da fração (correspondente ao peso desta fração granulométrica)

#### 1.1 Cálculo do estoque total de C e N

Foi efetuado através do somatório do estoque de C e N de cada fração para cada camada amostrada.

Onde:

$$EC = ef1 + ef2 + ef3 + ef4 \quad (2)$$

EC = Estoque da Camada

ef1 = estoque da fração 210-2000  $\mu\text{m}$  da camada

ef2 = estoque da fração 53-210 $\mu\text{m}$  da camada

ef3 = estoque da fração 20-53 $\mu\text{m}$  da camada

ef4 = estoque da fração  $< 20 \mu\text{m}$  da camada

### 3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.5.1 Estoque de C e N nas frações granulométricas da MOS em função do tempo

Os sistemas de manejo do solo afetaram significativamente o conteúdo e o estoque de C entre as frações granulométricas nas camadas amostradas até 10 cm (Tabela 8). Demonstrando que o sistema de manejo influi diretamente nas entradas e saídas de C compartimentos do solo (SÁ, 2001). O estoque de C na fração 210 – 2000 µm na camada de 0-2,5 cm foi significativamente afetado pelos sistemas de manejo em todas as épocas de amostragem, indicando que a sua alteração está diretamente relacionada com o grau de mobilização do solo e a decomposição dos resíduos culturais no PDE e no PDP (Figura 5) comprovando os resultados obtidos por Sá, 2001, Bayer, 2002. O PDP apresentou na fração 2000-210 µm o maior estoque em quase todas as épocas de amostragem, exceto no E<sub>5</sub>. Essa flutuação acompanhou a cinética de decomposição dos resíduos culturais (PAVEI, 2005) comprovando que a manutenção dos estoques de C está estreitamente relacionada com os resíduos culturais da cultura anterior (SÁ, 2001, BAYER, 2002, LOVATO *et al*, 2004, PAVEI, 2005, SISTI *et al*, 2004). Observou-se que, após as operações de colheita e semeadura, ocorreu acréscimo significativo no estoque da fração 2000-210 µm e foi reduzindo ao se aproximar na nova colheita e semeadura, fato ocorrido posteriormente a época de amostragem E<sub>5</sub>, explicando o valor de PDP menor. Isso indica que em algum momento desse intervalo iniciou a transferência do C da fração 2000-210 para a mais humificada, sendo parte consumida pela biomassa microbiana e parte transformada em CO<sub>2</sub>. Esses resultados estão de acordo com os obtidos por Sá *et al.* (2001) para um Latossolo Vermelho desta região. Esses autores utilizaram a técnica isotópica com o <sup>13</sup>C e observaram que o conteúdo de C nesta fração da MOS na camada de 0,0-2,5 cm, foi 100% oriundo dos

Tabela 8. Análise de variância comparação das frações dentro dos tratamentos e dos tratamentos dentro das frações.

## TABELA DAS MÉDIAS DE ESTOQUES DE CARBONO

Profundidade Amostragem (cm)	Frações Granulométricas ( $\mu\text{m}$ )	E1				E7				E12			
		PC	PM	PDE	PDP	PC	PM	PDE	PDP	PC	PM	PDE	PDP
(Mg ha <sup>-1</sup> )													
0 – 2,5	210 – 2000	0,34 Cb	0,51 Cab	0,67 Cab	0,71 Ca	0,40 Cb	0,68 Cab	0,72 Cab	0,76 Ca	0,48 Cb	0,72 Cab	1,50 Cab	1,17 Ca
	53 – 210	0,82 Bc	1,11 Bb	2,35 Aa	2,44 Aa	1,01 Bc	1,55 Bb	2,97 Aa	3,10 Aa	1,03 Bc	1,85 Bb	2,57 Aa	2,80 Aa
	20 – 53	1,05 Ca	1,13 Ca	1,54 Ca	1,63 Ca	0,88 Ca	1,08 Ca	1,45 Ca	1,54 Ca	0,96 Ca	1,12 Ca	1,48 Ca	1,80 Ca
	< 20	4,21 Aa	4,44 Aa	4,04 Bb	4,04 Bb	4,30 Aa	4,44 Aa	3,87 Bb	4,79 Bb	4,63 Aa	4,54 Aa	3,89 Bb	3,98 Bb
	$\Sigma$ total das frações	6,42	7,18	8,60	8,82	6,59	7,75	9,00	10,20	7,11	8,23	9,44	9,74
2,5 - 5,0	210 – 2000	0,31Ca	0,75Ca	0,29Ca	0,43Ca	0,39Ca	0,66Ca	0,36Ca	0,72Ca	0,55Ca	0,83Ca	0,87Ca	0,74Ca
	53 – 210	1,63Bb	1,14Bb	1,10Bb	1,57Ba	1,05Bb	1,55Bb	2,25Bb	2,97Ba	1,18Bb	1,70Bb	1,60Bb	2,50Ba
	20 – 53	0,84Ca	1,15Ca	1,03Ca	1,47Ca	0,90Ca	1,11Ca	1,53Ca	1,45Ca	1,05Ca	1,27Ca	1,31Ca	1,67Ca
	< 20	4,77Aab	5,22Aa	4,87Ab	5,28Ab	4,90Aab	5,44Aa	4,91Ab	3,87Ab	5,31Aab	5,58Aa	5,47Ab	4,75Ab
	$\Sigma$ total das frações	7,54	8,26	7,29	8,74	7,23	8,75	9,04	9,00	8,09	9,38	9,25	9,66
5,0 – 10,0	210 – 2000	1,68 Ca	2,01 Ca	1,50 Ca	2,73 Ca	1,78 Ca	2,37 Ca	1,51 Ca	1,68 Ca	2,14 Ca	1,92 Ca	1,63 Ca	1,68 Ca
	53 – 210	4,00 Ba	4,75 Ba	4,55 Ba	4,87 Ba	3,50 Ba	5,07 Ba	4,70 Ba	5,48 Ba	3,08 Ba	3,90 Ba	4,92 Ba	5,48 Ba
	20 – 53	2,43 Ca	2,38 Ca	2,18 Ca	1,64 Ca	1,70 Ca	2,31 Ca	2,18 Ca	2,23 Ca	1,61 Ca	1,76 Ca	1,87 Ca	2,23 Ca
	< 20	9,78 Aab	11,65 Ab	8,40 Aa	9,48 Aab	6,78 Aab	8,98 Ab	7,10 Aa	7,64 Aab	7,84 Aab	7,63 Ab	6,71 Aa	7,64 Aab
	$\Sigma$ total das frações	17,89	20,80	16,64	18,73	13,77	18,73	15,49	17,02	14,67	15,22	15,12	17,02

Na coluna as letras maiúsculas comparam as frações dentro do mesmo tratamento, na linha as letras minúscula na linha comparam o tratamento dentro da mesma fração.

resíduos culturais. Isto mostra claramente que no PDP com aporte contínuo de resíduos culturais vai ocorrendo uma migração do C e, conseqüentemente, restabelecendo o suprimento de C nos diversos compartimentos. Este enfoque já foi discutido por Six et al. (2002), sugerindo que o processo de transformação e migração do fluxo de C está relacionado com a proteção física durante o processo. Isto significa que a cobertura permanente associada aos benefícios em relação à água, temperatura e atividade da microbiota permite maior agregação e, conseqüentemente, menores perdas de C.

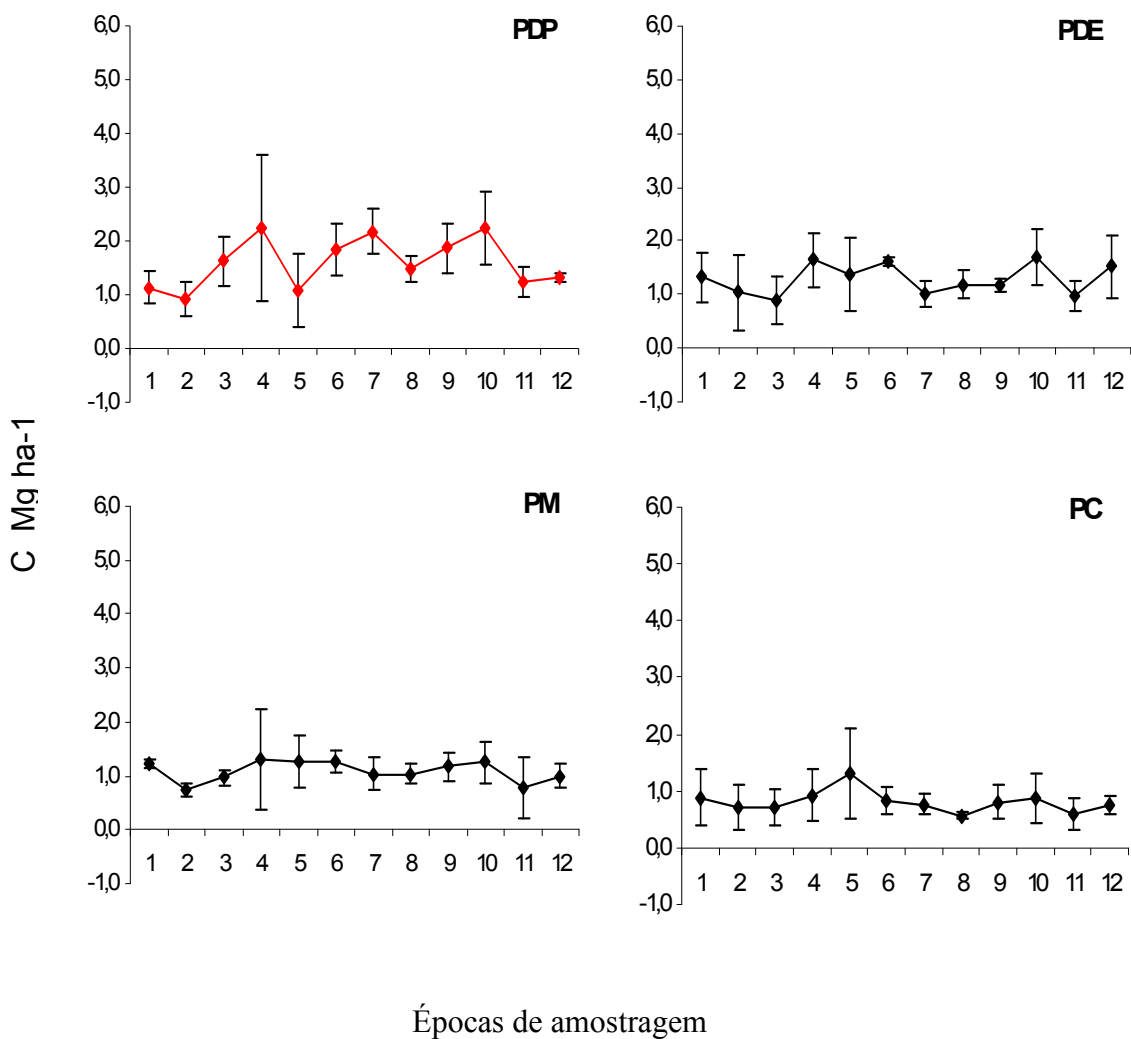


Figura 5. Alterações no estoque de C em  $\text{Mg ha}^{-1}$  nas frações granulométricas da MOS provocadas pelos sistemas de manejo do solo em função da época de amostragem na camada de 0-2,5 cm. Na fração 210 – 2000  $\mu\text{m}$ ; E<sub>1</sub> a E<sub>12</sub> representando as datas de amostragem.

Na camada de 2,5-5,0 cm na fração 2000-210  $\mu\text{m}$  (Figura 6) os SMS conservacionistas tiveram maiores estoques comparados aos sistemas convencionais, entretanto os contrastes ocorreram principalmente entre o PDP e o PC, conforme observado por diversos autores (BAYER, 1996, 2005; SÁ, 2001; DIECKOW, 2005). Embora no estoque total o PDP tenha sido superior ao PC (Tabelas 8), nesta camada na fração mais grosseira (2000-210  $\mu\text{m}$ ) o PDP foi inferior em quase todas as épocas de amostragem (Figura 6).

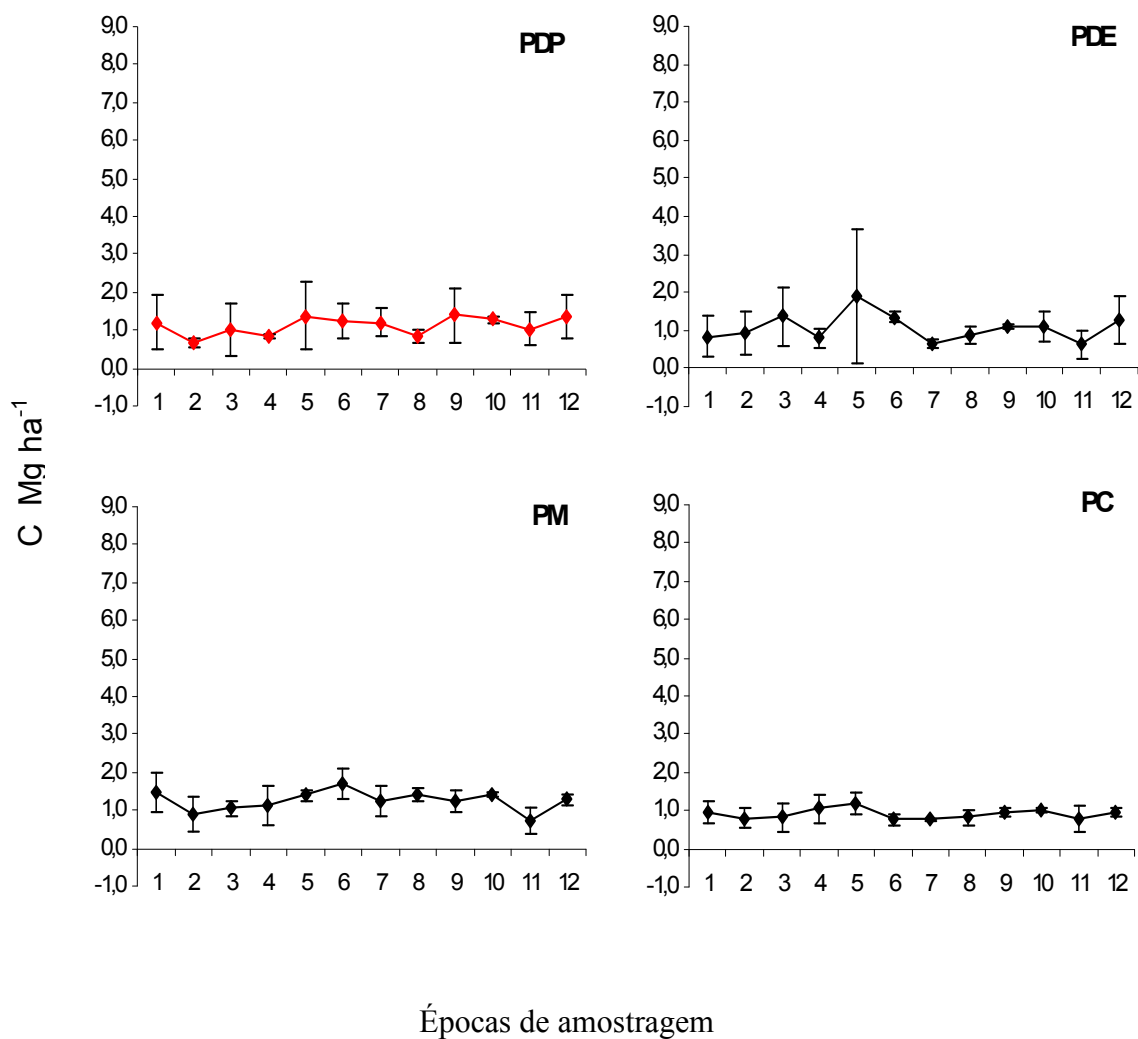
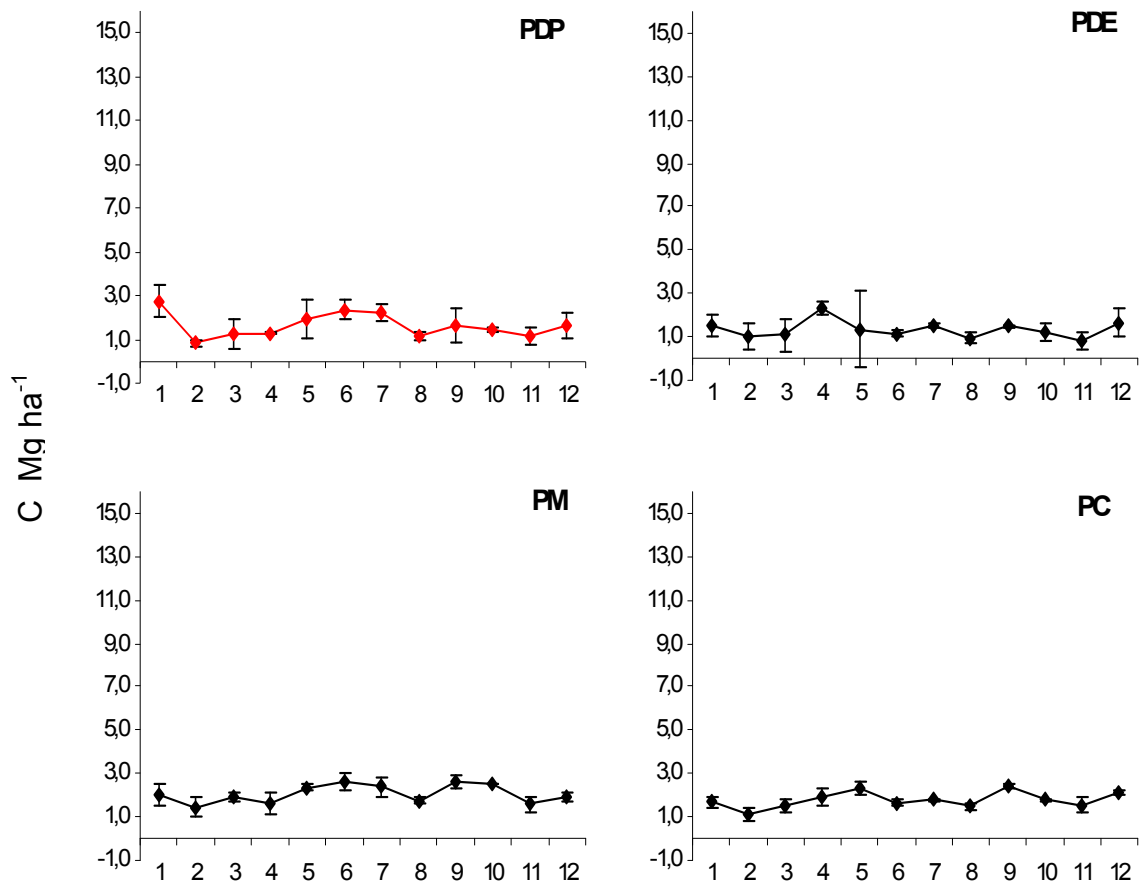


Figura 6. Alterações no estoque de C em  $\text{Mg ha}^{-1}$  nas frações granulométricas da MOS provocadas pelos sistemas de manejo do solo em função da época de amostragem na camada de 2,5-5,0 cm fração 2000- 210  $\mu\text{m}$ . E<sub>1</sub> a E<sub>12</sub> representa os representando as datas de amostragem.

O PC provavelmente pelo revolvimento aumenta o estoque de C na camada de 2,5 a 5,0 cm (Figura 6), e conseqüentemente, o PDP pela ausência de revolvimento tem um aporte de resíduos menor nesta camada.

Comparativamente o PDP foi superior nas demais frações nesta camada aos outros sistemas de manejo (Figuras 9 e 12), assim pode-se perceber que o fluxo de C vindo da camada superior afeta diretamente na camada de 2,5 a 5,0 cm com C já em estágios de maior humificação (SIX, 2002). Demonstrando assim, que nesta camada o C decomposto da camada superior e da fração maior está sendo armazenado nesta camada nas frações de menor tamanho (210 – 53 e < 53  $\mu\text{m}$ ), ou seja, tem-se um fluxo do C em direção as frações menores e ao longo do perfil.

Na camada de 5,0 a 10,0 cm as flutuações mês a mês são menores dentro do mesmo sistema de preparo assim como as diferenças entre sistemas preparo também diminuem conforme figura 7, não apresentando diferenças estatísticas entre sistemas dentro da mesma fração (Tabela 8).



### Épocas de amostragem

Figura 7. Alterações no estoque de C em Mg ha<sup>-1</sup> nas frações granulométricas da MOS provocadas pelos sistemas de manejo do solo em função da época de amostragem na camada de 5,0 – 10,0 cm. fração 2000 – 210  $\mu$ m. E<sub>1</sub> a E<sub>12</sub> representando as datas de amostragem.

Na fração 210 - 53  $\mu$ m o PDP foi superior aos demais sistemas na profundidade de 0,0 – 2,5 cm (Figura 8) mais uma vez demonstrando a tendência do C, de se armazenar no sistema plantio direto, ao longo do tempo de manutenção e deposição de material orgânico, nas frações granulométricas do solo de menor tamanho (SÁ, 2001).

A fração 210 – 53  $\mu$ m na profundidade 2,5 – 5,0 cm (Figura 9) o PC tem os menores estoques que os outros sistemas e o PDP os maiores na maioria das épocas de amostragem,



mostrando claramente a influência da deposição de resíduos culturais pelo tipo de manejo nesta fração.

A fração 210 – 53  $\mu\text{m}$  na profundidade 5,0 - 10 cm (Figura 10), foi observado que as diferenças entre sistemas foram menores, apesar das variações serem menor o PC apresentou os menores resultados, demonstrando a forte influencia em camadas mais profundas, o revolvimento não permitiu a permanência de estoques de C em maiores quantidades na camada de 5,0 – 10,0. Assim percebe-se que as taxas de oxidação são maiores no PC comparadas as do PDP, PDE e PM, na camada de 5,0 – 10,0 cm.

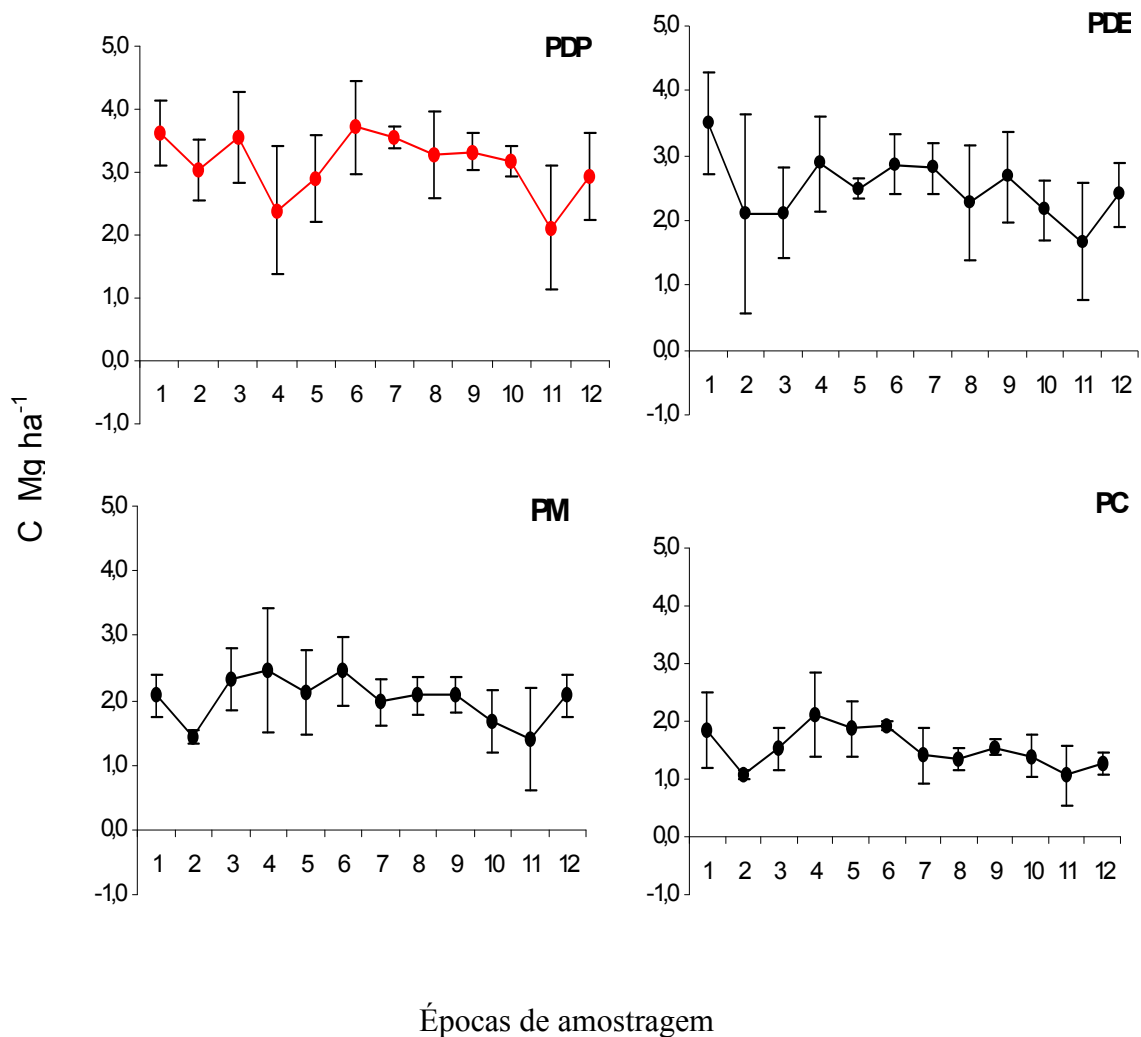


Figura 8. Alterações no estoque de C em  $\text{Mg ha}^{-1}$  nas frações granulométricas da MOS provocadas pelos sistemas de manejo do solo em função da época de amostragem na camada de 0 - 2,5 cm fração 53 a 210  $\mu\text{m}$ . E<sub>1</sub> a E<sub>12</sub> representa as datas de amostragem.

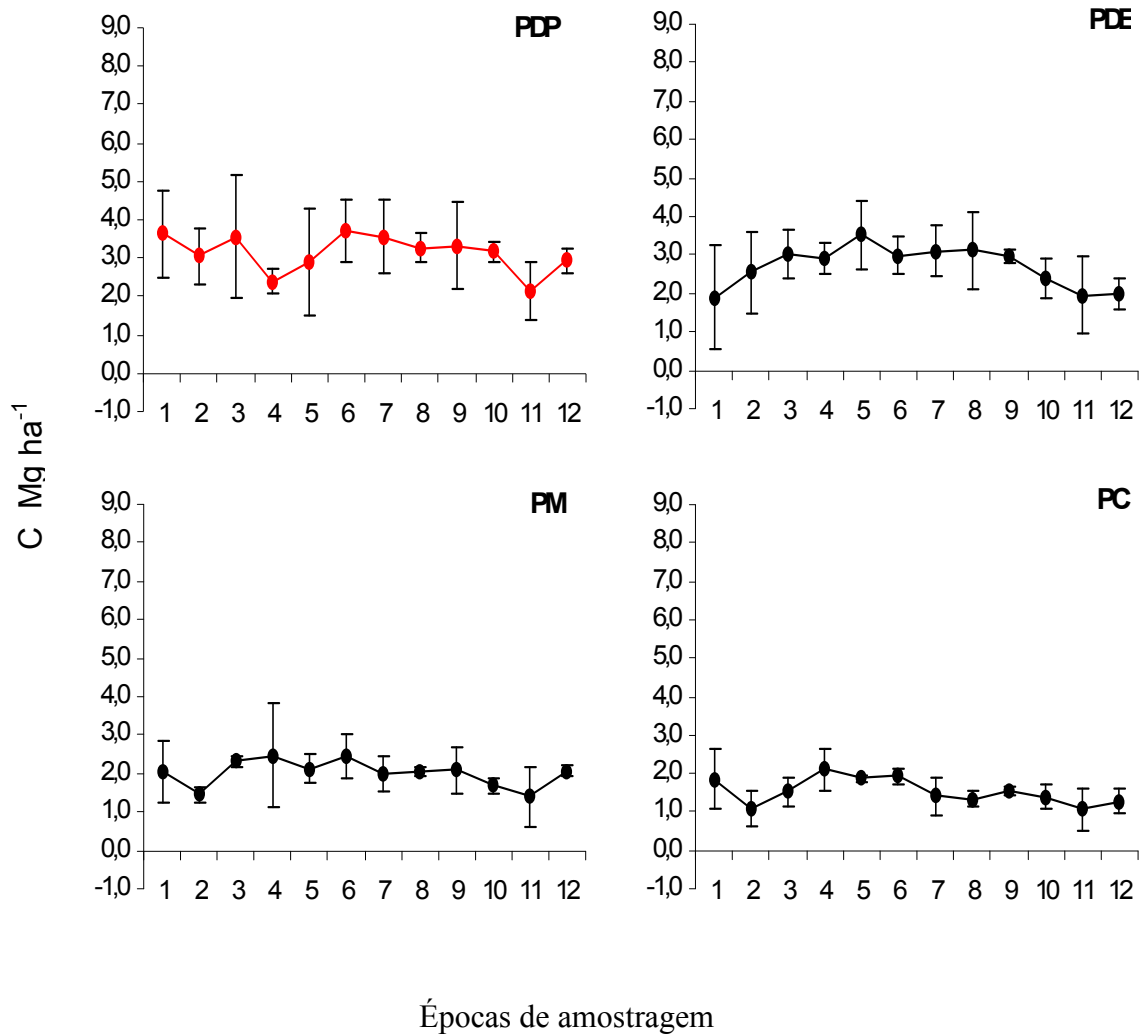


Figura 9. Alterações no estoque de C em Mg ha<sup>-1</sup> em Mg ha<sup>-1</sup> nas frações granulométricas da MOS provocadas pelos sistemas de manejo do solo em função da época de amostragem na camada de 2,5-5 cm. fração 210 - 53  $\mu$ m. E<sub>1</sub> a E<sub>12</sub> representa as datas de amostragem.

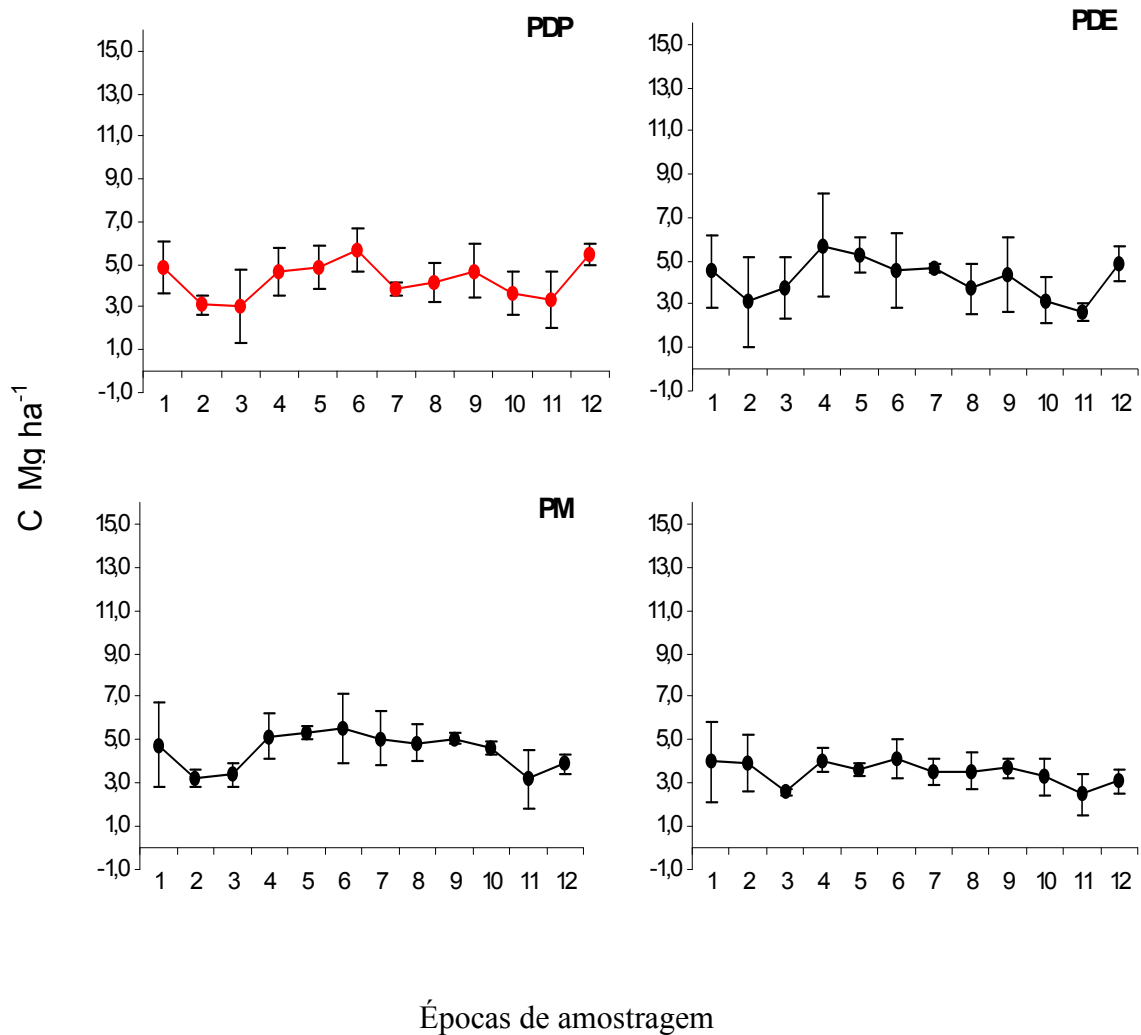


Figura 10. Alterações no estoque de C nas frações granulométricas da MOS provocadas pelos sistemas de manejo do solo em função da época de amostragem na camada de 5,0 – 10,0 cm fração 53 -210  $\mu\text{m}$ . E<sub>1</sub> a E<sub>12</sub> representa as datas de amostragem.

Na fração < 53  $\mu\text{m}$  (Figuras 11, 12 e 13), não houve diferenças significativas entre o PC e o PDP os dois mantiveram os estoques estáveis e com valores semelhantes.

Os outros sistemas de manejo não apresentaram variações acentuadas comparados ao PDP e PC. As flutuações foram semelhantes em todos os sistemas na fração < 53  $\mu\text{m}$  para a camada de 2,5 a 5,0 cm (Figura 12), apesar do estoque de C no PDP aumentar mais que no PC após as colheitas, provavelmente uma consequência inerente do sistema de manejo. Nas

frações < 53  $\mu\text{m}$  (Figuras 11, 12 e 13) os tratamentos tiveram o fluxo semelhante entre tratamentos, não apresentando diferenças estatísticas significativas, demonstrando que a evolução do seqüestro do C nestes sistemas ainda não afetou os estoques de C mais recalcitrante (SIX, 2002) das camadas até 10 cm. Em contraste, o PC além do menor estoque apresentou valores menores, comparados aos outros sistemas de manejo, principalmente após os eventos agrônômicos (colheita, semeadura, adubação) observado em outros trabalhos (SÁ, 2001, SISTI *et al.*, 2004), provavelmente devido a alta taxa de decomposição deste sistema, resultando do maior grau de movimentação do solo.

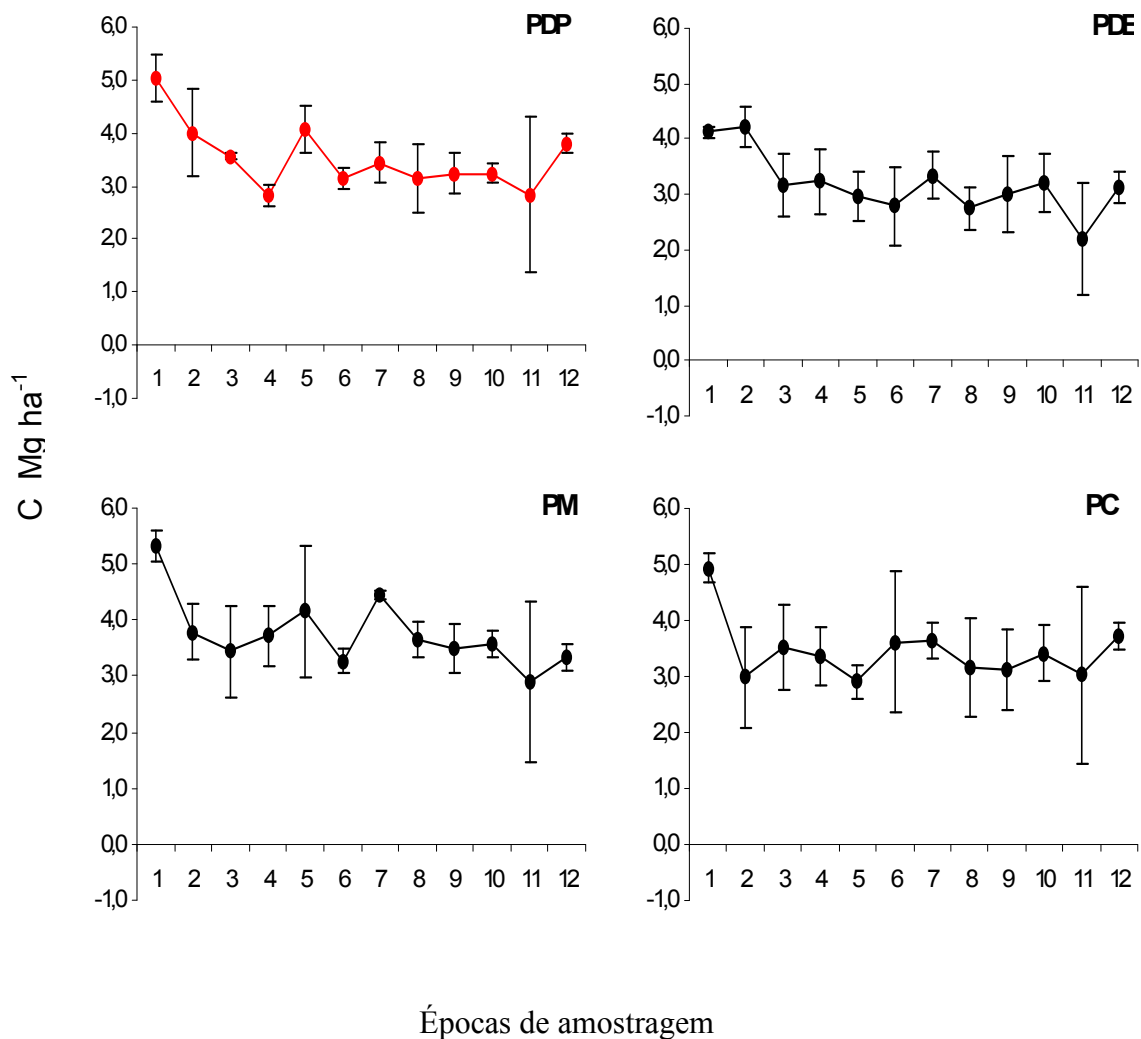
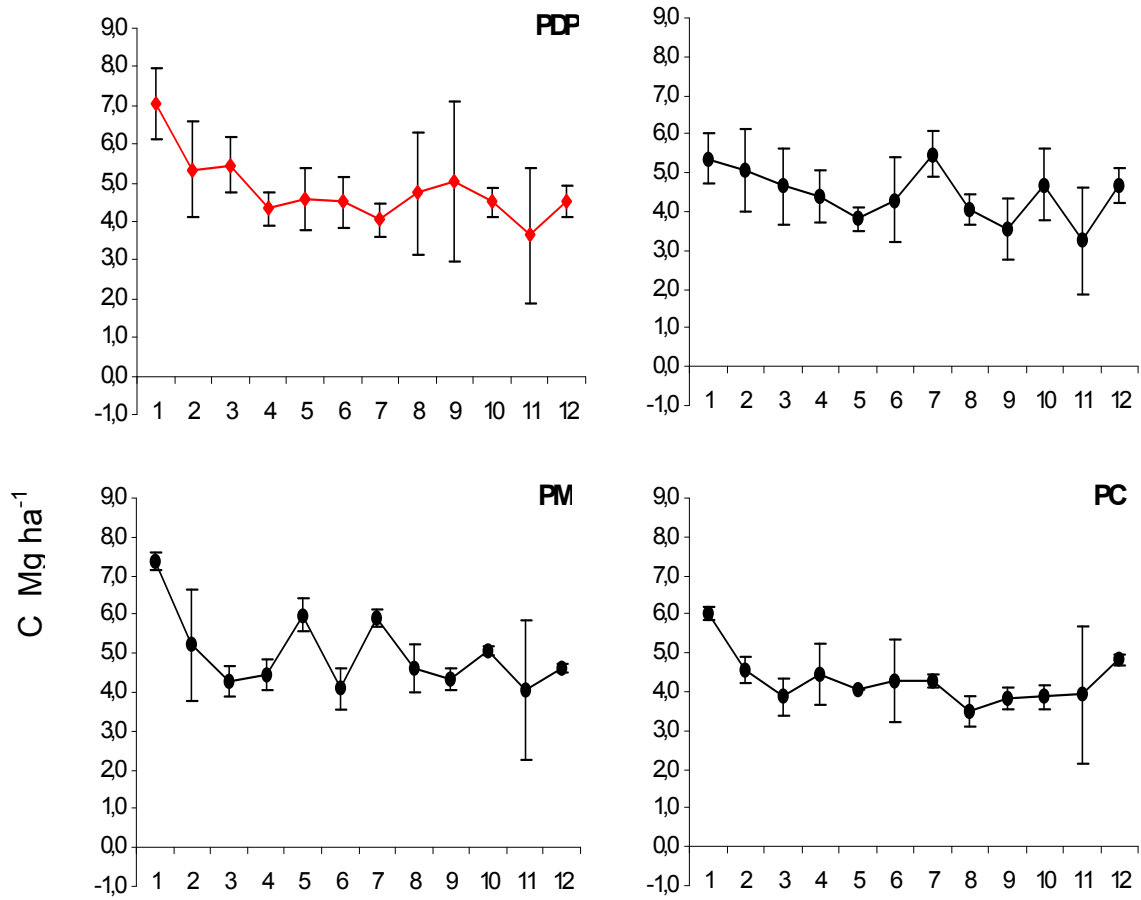
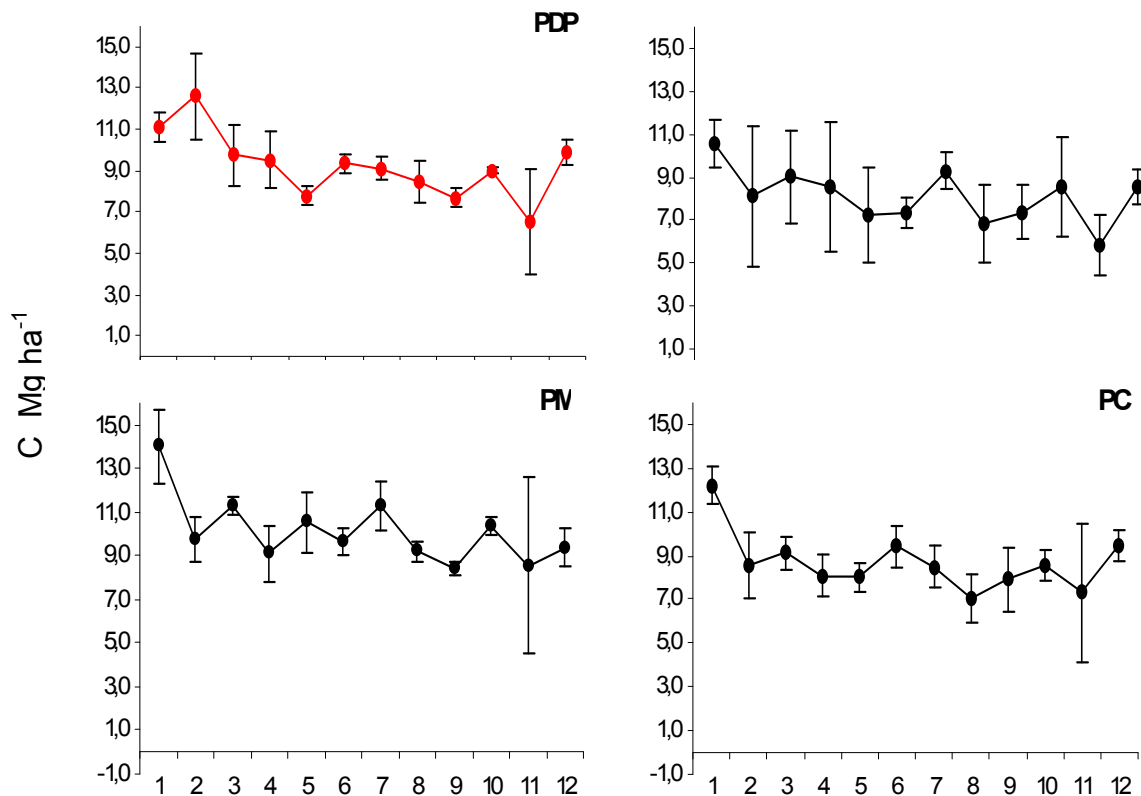


Figura 11. Alterações no estoque de C em  $\text{Mg ha}^{-1}$  nas frações granulométricas da MOS provocadas pelos sistemas de manejo do solo em função da época de amostragem na camada de 0 – 2,5 cm. fração < 53  $\mu\text{m}$  E<sub>1</sub> a E<sub>12</sub> representa as datas de amostragem.



### Épocas de amostragem

Figura 12. Alterações no estoque de C em Mg ha<sup>-1</sup> nas frações granulométricas da MOS provocadas pelos sistemas de manejo do solo em função da época de amostragem na camada de 2,5 – 5,0 cm fração < 53 μm. E<sub>1</sub> a E<sub>12</sub> representa as datas de amostragem.



### Épocas de amostragem

Figura 13. Alterações no estoque de C em  $\text{Mg ha}^{-1}$  nas frações granulométricas da MOS provocadas pelos sistemas de manejo do solo em função da época de amostragem na camada de 5 - 10 cm. fração  $< 53 \mu\text{m}$ . E<sub>1</sub> a E<sub>12</sub> representa as datas de amostragem.

Nas figuras 5 a 13 observam-se, portanto que as menores diferenças entre sistemas conservacionista estão na camada de 2,5 a 5,0. Na fração maior (2000-210  $\mu\text{m}$ ) o PC teve maiores estoques, por outro lado o PDP aumenta seus estoques após a colheita, demonstrando que a entrada de material inicialmente é maior no PDP, fato diferentemente observado na camada de 2,5 a 5,0, onde ocorre um fluxo do C da camada superior nos sistemas conservacionistas para esta camada. Os maiores estoques apresentam-se nas frações menores, o que se verifica ao analisarmos a fração 210-53  $\mu\text{m}$  que apresenta aumento dos estoques de C no PDP, percebe-se então que o maior aporte de estoque nos sistemas conservacionistas está ocorrendo na fração 210-53  $\mu\text{m}$ , portanto sendo a fração mais influenciada pela matéria

orgânica particulada jovem (SIX, 2002). Já na fração  $< 53 \mu\text{m}$  (Figuras 11, 12 e 13) as diferenças entre sistemas não são significativas e flutuam menos que nas outras frações, mostrando que é afetada apenas em períodos de deposição de C mais longos atuando como reservatório da matéria orgânica mais recalcitrante (SIX, 2002).

### **3.5.2 Fluxo de C nas frações granulométricas e relação C:N**

Observou-se elevada correlação entre o C e o N (figuras 14 e 15). O N acompanha a flutuação do C ao longo do tempo, sendo que o aumento do N do solo pode ocorrer pela natureza do material que é depositado, ou seja, em função da relação C:N destes resíduos, que influencia diretamente a velocidade da decomposição. Percebe-se na tabela 9 que a relação C:N aumentou em todos os tratamentos sendo maior no PDP que no PC. O PC apresentou uma relação C:N mais estável frente aos outros tratamentos, o que se deve, provavelmente, pela manutenção de uma velocidade de decomposição mais constante devido as intervenções que este sofre (aração e gradagens). A maior estabilidade da velocidade de decomposição e da relação C:N no PC se verificou também nas frações mais grosseiras acima de  $53 \mu\text{m}$  e ainda uma menor variação em proporção aos estoques totais ao longo do tempo. O aumento da relação C:N propicia a manutenção dos resíduos culturais por mais tempo na superfície pela menor taxa de decomposição. Por outro lado, o PDP sofreu várias flutuações devido às influências causadas pelas entradas, transformações e, conseqüentemente, saídas de material. As variações nos estoques são maiores na colheita ou manejo de cultura pela entrada de material com respectivas relações C:N diferentes do material anterior e que já sofreu transformações e tem uma relação C:N normalmente menor, apesar das relações C:N ter valores relativamente altos nas frações menores, demonstrando ter ainda uma influência da matéria orgânica jovem. O PDP foi superior nas somatórias dos estoques totais das frações em todas as épocas de amostragem avaliados e apresentou maiores teores nas frações de 210 até

53  $\mu\text{m}$ , demonstrando que foi neste compartimento que ocorreu o incremento do estoque de C e que sofre influência direta do sistema de manejo. As flutuações na profundidade de 2,5 – 5,0 cm foram menores que a camada mais superficial, que sofre mais influência externa.



Tabela 9. Relação C:N nas frações granulométricas da MOS em função da época de amostragem e sistemas de manejo do solo.

Camada	Frações	Sistemas de manejo do solo											
		PC	PM	PDE	PDP	PC	PM	PDE	PDP	PC	PM	PDE	PDP
T1				T7				T12					
----- Relação C:N -----													
0-2,5	210 – 2000	15.32	14.88	12.25	10.72	18.50	16.73	15.18	14.95	16.94	15.58	17.54	17.35
	53 – 210	12.08	12.42	13.04	12.57	14.96	15.39	14.92	14.06	14.32	14.85	14.92	15.09
	20 – 53	14.58	14.26	16.01	16.08	16.41	16.23	15.40	14.86	16.49	16.03	15.06	15.23
	< 20	13.23	12.88	14.85	15.50	15.16	13.71	13.89	13.69	15.19	14.42	14.19	13.76
2,5-5,0	210 – 2000	13.33	14.19	10.19	10.02	17.10	17.95	14.15	13.98	18.69	16.88	15.43	16.19
	53 – 210	13.68	12.08	11.47	12.43	14.20	15.50	15.35	13.82	15.26	15.94	15.18	14.30
	20 – 53	14.39	14.19	14.89	17.01	16.49	16.71	15.51	15.67	16.28	15.69	15.89	15.26
	< 20	13.57	13.13	14.49	16.09	14.67	13.92	14.48	15.16	15.42	14.25	14.60	14.25

As flutuações do N são menores que a do C variando em função da relação C:N do material da cultura anterior. Não apresentou diferenças significativas entre tratamentos, mantendo-se constante ao longo do tempo, ocorrendo nas frações maiores que 53  $\mu\text{m}$  os menores teores de N, e aumentando a concentração de N nas frações menores. Apesar da relação C:N ser relativamente alta nas frações menores que 53  $\mu\text{m}$ , demonstrando que estas frações sofrem influência do material depositado recentemente, sendo um indicativo da presença de material particulado.

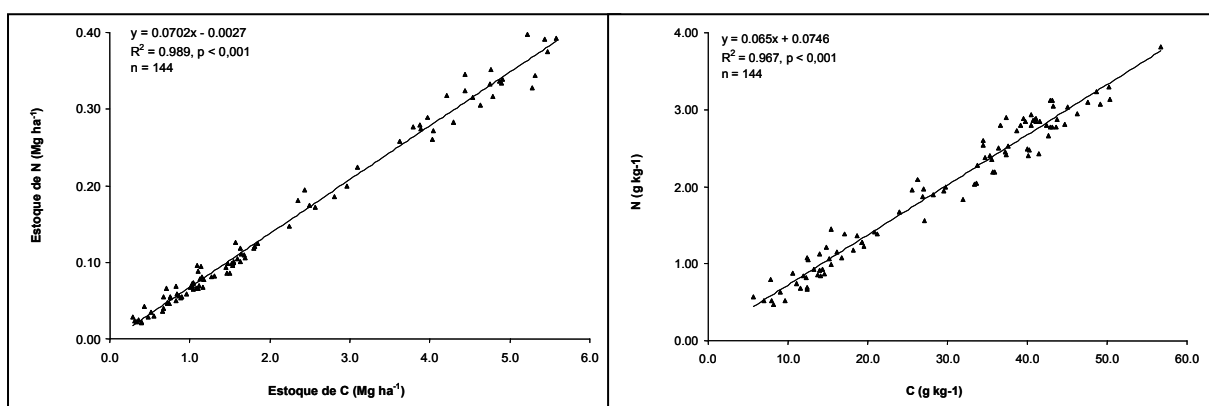


Figura 14. Correlação entre o Estoque de C ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) e o Estoque de N em ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) e entre a Concentração de C ( $\text{g Kg}^{-1}$ ) e a Concentração N em ( $\text{g Kg}^{-1}$ )

### 3.6 CONCLUSÕES

Os sistemas de manejo afetaram significativamente os estoques de C na frações granulométricas nas camadas mais superficiais até 10 cm de profundidade. Na camada de 0-2,5 cm a fração de 2000-210  $\mu\text{m}$  foi afetada significativamente pelos sistemas de manejo e as alterações acompanharam os eventos agrícolas principalmente a adição de resíduos da colheita e o PDP foi superior na maioria das épocas de amostragem. Esta fração foi afetada pelo grau de mobilização do solo e da decomposição dos resíduos culturais da cultura antecessora demonstrando que o fluxo constante de resíduos culturais favorece a manutenção do C no solo, sendo transferido gradativamente para os compartimentos do solo. A fração granulométrica de 210-53  $\mu\text{m}$  apresentou tendência semelhante com menores diferenças entre tratamentos apesar do PDP apresentar-se superior na maioria das épocas de amostragem. Na fração menor que 53  $\mu\text{m}$  as oscilações entre tratamentos foram menores não apresentando diferenças entre tratamentos. O PC apresentou os menores estoques e tendência de queda após os eventos agronômicos

Na camada de 2,5-5,0 cm os estoques na fração de 2000-210  $\mu\text{m}$  apresentaram diferenças entre o PDP e o PC sendo nesta fração maiores os estoques do PC, em contra ponto na fração de 210-53  $\mu\text{m}$  o PDP foi superior na maioria dos tratamentos demonstrando que nesta camada que o C advém da camada superior e da fração maior. Na fração < 53  $\mu\text{m}$  não houve diferenças entre os tratamentos.

As diferenças entre tratamentos na camada de 5,0 - 10,0 cm foram menores entre os sistemas de manejo e apresentaram as maiores diferenças nas frações mais grosseiras onde o PDP apresentou os maiores estoques apenas logo após a colheita e nas outras épocas de amostragem os estoques foram maiores no PC na fração 2000-210. Entretanto o PDP nas frações 210-53 e < 53  $\mu\text{m}$  foi superior na maioria das épocas de amostragem como na camada

de 2,5 – 5,0 cm demonstrando a tendência neste sistema de armazenamento dos estoques na fração de 210-53  $\mu\text{m}$  e  $< 53 \mu\text{m}$ .

A velocidade de decomposição sofre influência direta das relações C:N dos resíduos culturais e o aumento da relação C:N propiciou o aumento dos estoques de C e N ao longo do tempo e o C e o N apresentaram elevada correlação.

## 4. BALANÇO DE CARBONO E TAXAS DE SEQÜESTRO AFETADOS POR SISTEMAS DE MANEJO DO SOLO

### 4.1 RESUMO

O balanço e as taxas de seqüestro de carbono foram avaliados em um experimento sobre sistemas de manejo do solo: preparo convencional (PC), preparo mínimo (PM), plantio direto escarificado (PDE) e plantio direto permanente (PDP) implantado em 1988 na estação experimental da Fundação ABC em Ponta Grossa, Meso Região Centro Oriental do Estado do Paraná. Foram coletadas amostras em outubro de 2002, outubro de 2003 e outubro de 2004 na sucessão aveia branca/soja/trigo amostras de solo das camadas de 0 – 2,5 cm, 2,5 – 5,0 cm e de 5,0 – 10,0 cm de profundidade e posteriormente analisados o COT e NT. Os objetivos foram determinar: a) os estoques de C destes três tempos nas camadas do solo em diferentes sistemas de manejo, b) o balanço de C e N para a região, c) as taxas de sequestro de C no solo. Para atingir os objetivos foi aplicado um modelo unicompartmental da dinâmica da matéria orgânica aos dados de carbono orgânico total (COT) obtidos neste experimento. O sistema PDP foi superior aos outros sistemas em estoque de C tanto entre tratamentos quanto em profundidade e no tempo, demonstrando ser o sistema que mais mitiga a emissão de CO<sub>2</sub>. A utilização de métodos de preparo do solo mais conservacionista na região de Ponta Grossa resultou em taxa de oxidação menor do C do solo em função do manejo do solo e fatores abióticos como clima e pluviometria se comparadas as do trabalho de Bayer 1996. O PDP perdeu em torno de 35% menos que com os índices de Bayer 1996, demonstrando que a região tem taxas de oxidação específicas para a região muito provavelmente devido a altitude. A correlação do conteúdo de de C e N são estreitas demonstrando que a velocidade decomposição está diretamente ligada a relação C:N que influenciou também o fluxo do C nas frações granulométricas do solo.

Palavras-chave: Balanço de Carbono, Seqüestro de Carbono, Sistemas de Manejo, Frações granulométricas do solo, relação C:N

## 4.2 SUMMARY

The soil organic carbon (SOC) sequestration rates and total balance were appraised in an long term experiment on soil tillage systems: conventional tillage (CT), minimum tillage (MT), No-tillage chisel plow (NTCP) and Continuous No-tillage (CNT) implanted in 1988 in Fundação ABC experimental station in Ponta Grossa, Meso Oriental Area Center of the Paraná State. The soil samples were collected in 0 - 2,5 cm, 2,5 - 5,0 cm and of 5,0 - 10,0 cm layer in October of 2002, October of 2003 and October of 2004 during the growing season of the crop rotation: white oats /soybean/wheat. The objectives were: a) to determine the SOC and total nitrogen stocks considering the years, the depth affected by soil tillage systems; b) the SOC and total nitrogen balance ; c) the SOC sequestration rates in the soil. To reach the objectives a unicompartimental model of SOC dynamics was applied for the crop residues input and the SOC output obtained in this experiment. The CNT was superior to the other systems in SOC stock among treatments as in depth and in the long term, demonstrating to be the system that more mitigates the CO<sub>2</sub> emission. The use of soil conservation systems resulted in smaller oxidation rate of SOC in function of the soil tillage treatments and factors a biotic as climate and rainfall distribution. The CNT lost around 35% less than with the indexes of Bayer 1996, demonstrating that the area has specific oxidation rates due to altitude. The correlation between of concentration of C and N are narrow demonstrating that the decomposition velocity is directly linked with the C:N ratio and also influenced the C flow in the soil particle size fractions.

Word-key: Carbon balance, Carbon sequestration, Soil tillage systems, particle size fractions, C: N ratio.

### 4.3 INTRODUÇÃO

O carbono (C) é uma componente chave no ecossistema terrestre e a quantificação do seu conteúdo nos diversos compartimentos da MOS torna-se relevante para estabelecer estratégias sustentáveis de manejo do solo. O manejo da MOS nos sistemas conservacionistas implica em administrar a qualidade e o potencial produtivo dos solos cultivados, uma vez que está relacionada com os principais atributos químicos, físicos e biológicos (DICK, 1983; DICK, *et al* 1998). O solo pode atuar como fonte ou dreno do C sendo uma função direta entre o balanço das adições através dos resíduos culturais e das perdas de C para a atmosfera através da oxidação do C no solo e de processos erosivos. A decomposição dos resíduos culturais promove o fluxo de C para constituir os diversos compartimentos que formam a matéria orgânica (TISDALL e OADES, 1982). De acordo com as observações de Bayer *et al.*, (2000), o manejo é o principal agente de distúrbio do solo. A serapilheira é a primeira fase da transformação dos resíduos e constitui-se no compartimento prontamente decomponível e logo esse material se transforma deslocando compostos orgânicos para as frações granulométricas mais grossas do solo (matéria orgânica particulada ou jovem) e criando um fluxo de C para as frações mais estáveis. Six *et al.* (2002) constataram que grandes aportes contínuos de material orgânico no solo resultam em aumentos significativos de C não somente nas frações mais lábeis, mas significativamente nas frações mais finas. Também comentaram que este aumento está estreitamente relacionado com a proteção física oferecida pelos micro e macroagregados, formados pela disponibilidade de material orgânico que

funciona como agente cimentante entre as partículas do solo. Observações semelhantes foram constatadas em condições de clima subtropical no Estado do Paraná por Sá *et al.* (2001) que afirmaram que a manutenção de sistemas conservacionistas como o PDP mantêm a entrada constante de material orgânico, levando a um aumento do estoque de C em todas as frações granulométrica do solo e o aumento que ocorre nas frações mais finas indica que o fluxo de C estará indo em direção ao seqüestro (SÁ *et al.*, 2001).

A proteção física da MOS durante a agregação do solo tem sido o processo mais discutido (TISDALL & OADES, 1982; ELLIOT, 1986; CARTER, 1992; CAMBARDELLA & ELLIOT, 1993; BEARE *et al.*, 1994; JASTROW, 1996; SIX, *et al.*, 1999; LAL, 1999; BALESSENT *et al.*, 2000 SIX *et al.*, 2002), mas além da compreensão de a proteção física da MOS ocorre, a quantificação do potencial do solo em armazenar o C advindo dos restos culturais aportados pelos diferentes sistemas de manejo se torna necessário para esclarecer os processos.

O aumento do estoque de C orgânico no solo no PDP está estreitamente relacionado ao retorno dos resíduos culturais em grandes quantidades, aos sistemas de rotações de culturas auxiliado pelo sistema de manejo com o não revolvimento do solo e aos mecanismos de proteção física da matéria orgânica (BAYER & MIELNICZUK, 1997; SIX, *et al.* 2002). Em vários trabalhos foi observado que estes aumentos ocorrem principalmente nas camadas mais superficiais até 10 cm (LAL, 1997; DICK, 1983, 1998; KERN e JOHNSON, 1993; BAYER, 2000; SÁ, 1993, 2001).

As frações granulométricas da matéria orgânica refletem prontamente as alterações provocadas pelo sistema de manejo adotado (CARTER,1992). O estoque de C original do solo está estreitamente relacionado ao C ligado as partículas do solo de menor tamanho (argila), o C ligado à fração argila é mais recalcitrante e as alterações sofridas neste C original, apresentam menores alterações ao longo do tempo, sendo menos afetado pela ação



antrópica. Portanto, a fração da matéria orgânica particulada de tamanho menor que 53  $\mu\text{m}$  por ser uma matéria orgânica mais estável que a da biomassa microbiana e menos recalcitrante que a fração de matéria orgânica ligada a argila e silte, conseqüentemente esta fração é a que melhor reflete as influências dos sistemas de manejo apresentando resultados mais confiáveis comparativamente a biomassa microbiana, que sofre alterações muito rapidamente.

Neste trabalho foram avaliados os COT do solo em quatro sistemas de manejo com o objetivo de aumentar a compreensão do comportamento dos estoques de C e N orgânico no solo e os fluxos dos mesmos nos respectivos compartimentos.

#### **4.4. MATERIAL E MÉTODOS**

No capítulo anterior encontra-se a descrição de todos os itens da área experimental. Neste capítulo será apresentada a metodologia utilizada para respaldar os resultados e discussão.

O estoque de C e N foi obtido de duas maneiras: a) somatório do estoque de C calculado nas camadas de 0-2,5; 2,5-5,0 e 5,0-10 cm e corrigido pela massa do solo para equivalência com o tratamento PC, e b) somatório do estoque de C e N calculado para as frações granulométricas do solo de cada camada e corrigido pela massa para equivalência.

##### **4.4.1 Cálculo do balanço de C e N.**

As amostras para o banco de C e N foram coletadas nas camadas de 0,0-2,5; 2,5-5,0; 5,0-10,0 cm em outubro de 2003, 2004 e 2005, por ser a época de manejo da cultura de

inverno. O cálculo do balanço de C e N foi baseado no modelo unicompartmental proposto inicialmente por Henin & Dupuis (1945) e adaptado por Bayer (1996). Os cálculos foram efetuados para a camada de 0-10 cm devido aos resultados obtidos por Sá *et al.* (2001) para região dos Campos Gerais que mostraram taxas de acúmulo de C significativas em relação à vegetação natural e ao sistema de preparo convencional até esta camada. Este modelo preconiza o balanço de C através do conceito de equilíbrio dinâmico da MOS em função das quantidades de C e N que são adicionadas e caracterizadas pelas “entradas” e as perdas por oxidação denominadas de “saídas” do sistema. O modelo geral é representado pela seguinte expressão matemática:

$$dC/dt = - K_2.C + K_1.A \quad \text{equação (3)}$$

Onde:

$dC/dt$  = variação do conteúdo de C e N em  $Mg\ ha^{-1}$  em função do tempo.

$K_2$  = coeficiente de oxidação anual da matéria orgânica do solo.

$C$  = estoque de C e N total na camada amostrada do solo em  $Mg\ ha^{-1}$ .

$K_1$  = coeficiente de humificação do C adicionado através do resíduo cultural.

$A$  = quantidade de C adicionada anualmente ao solo através dos resíduos culturais em  $Mg\ ha^{-1}$

#### **Parâmetros adicionais para o balanço de C e N dos sistemas de manejo**

- **Índice de colheita:** refere-se à quantidade palhada produzida por unidade grão, expresso em Mg de palhada por Mg de grão colhido.
- **Índice de massa seca de raiz:** refere-se a quantidade de massa seca de raiz produzida por Mg de grãos, ou seja, porcentagem da produção de grãos que corresponde em massa seca de raiz.
- **Porcentagem de C na palhada:** refere-se ao conteúdo de C nos resíduos culturais das espécies, conforme Sá *et al.* (2001) e Pavei (2005).

- **Índice  $K_1$** : refere-se ao coeficiente de humificação para o sistema de rotação de culturas envolvendo a aveia preta/milho/aveia preta/soja/trigo/soja em um experimento de longa duração na região dos Campos Gerais em um Latossolo Vermelho argiloso (SÁ *et al.*, 2001).
- **Índice  $K_2$** : refere-se ao coeficiente de oxidação da MOS. Para o cálculo do balanço de C, foi adaptado os coeficientes definidos por Bayer (1996): Para PC = 0,054; PM = 0,039; PDE = 0,034 (obs: esse índice foi obtido usando a média entre plantio direto e preparo mínimo obtido por Bayer (1996), devido esse sistema não ter sido contemplado na referida tese; PDP = 0,029. O coeficiente para o tratamento PDE foi obtido da média entre o PM e PD.
- **Equivalente em palhada**: refere-se a quantidade mínima de palhada (massa seca de parte aérea e raiz) necessária para manter o equilíbrio estável do sistema
- **Índices para cálculos do balanço de C**

**Tabela 10. Índices de colheita, massa seca de raiz e porcentagem de C na palhada**

Cultura	Índice de colheita ‡	Índice de massa seca de raiz ‡	Porcentagem de C na palhada ‡	$K_1$ †
Aveia branca	1,00	0,23	0,45	0,265
Milho	1,10	0,25	0,45	0,265
Trigo	0,95	0,15	0,45	0,265
Soja	0,89	0,20	0,45	0,265

† adaptado de Sá (2001); ‡ índice obtido pela produção regional.

Para a condição onde  $dC/dt = 0$ , o sistema está em equilíbrio estável e indica que as entradas de C são equivalentes as saídas de C do sistema. Ao contrário, para a condição de  $dC/dt \neq 0$  duas situações podem ocorrer: a) quando as adições forem superiores as saídas indicará que o sistema estará acumulando C e o balanço será positivo; b) quando as adições forem inferiores as saídas indicará que o sistema estará perdendo C e o balanço será negativo.

Os dados de produção de grãos, massa seca de parte aérea, raiz e total obtidos nos sistemas de manejo do solo estão sumarizados na tabela 11, e que serão usados para os cálculos dos parâmetros adicionais do balanço de C e N dos sistemas de manejo.

Tabela 11. Produção de grãos, massa seca de parte aérea (MS-PA), massa seca de raiz (MS-RZ) e massa seca total (MS, PA + RZ) nos sistemas de manejo do solo (SMS) no período de 2001 a 2004/05.

SMS	Seqüência de culturas e ano agrícola							
	Soja (01/02)	A. Preta (02)	Milho (02/03)	A. Branca (03)	Soja (03/04)	Trigo (04)	Soja (04/05)	A. Preta (05)
-----Produção de grãos, Mg ha <sup>-1</sup> -----								
PC	3,09	3,08	9,67	6,19	3,57	3,15	4,88	3,08
PM	3,21	4,20	10,26	10,77	3,88	3,33	5,45	4,20
PDE	2,91	3,81	10,32	8,60	3,45	3,19	5,55	3,81
PDP	3,21	3,67	10,49	6,51	3,76	3,16	5,24	3,67
-----Produção MS-PA, Mg ha <sup>-1</sup> -----								
PC	2,75	3,08	10,63	6,19	3,18	3,00	4,34	3,08
PM	2,85	4,20	11,29	10,77	3,46	3,17	4,85	4,20
PDE	2,59	3,81	11,35	8,56	3,07	3,03	4,94	3,81
PDP	2,86	3,68	11,53	6,51	3,35	3,01	4,66	3,67
-----Produção de MS-RZ, Mg ha <sup>-1</sup> -----								
PC	0,62	0,71	2,42	1,42	0,71	0,47	0,98	0,71
PM	0,64	0,97	2,57	2,48	0,78	0,50	1,09	0,97
PDE	0,58	0,88	2,58	1,97	0,69	0,48	1,11	0,88
PDP	0,64	0,85	2,62	1,50	0,75	0,48	1,05	0,85
-----Produção de MS total (PA + RZ) , Mg ha <sup>-1</sup> -----								
PC	3,37	3,78	13,05	7,62	3,89	3,47	5,32	3,78
PM	3,50	5,16	13,86	13,25	4,23	3,67	5,94	5,16
PDE	3,17	4,68	13,93	10,53	3,76	3,51	6,05	4,68
PDP	3,50	4,52	14,16	8,01	4,10	3,48	5,71	4,52

## 4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.5.1 Alterações no estoque de C e N provocados por sistemas de manejo do solo (SMS)

O estoque de COT nos SMS apresentou diferenças estatisticamente significativa entre si (Tabela 13). Nos SMS conservacionistas (PDP, PDE e PM) o estoque de C foi superior ao sistema com preparo do solo (PC) nas três épocas de amostragem (Tabela 13). Estes resultados estão de acordo com outros obtidos em regiões com condições climáticas diferentes (BAYER, *et al.*, 2000; AMADO *et al.*, 2001; RESCK *et al.*, 1998).

Tabela 12. Estoque de C orgânico total (COT) em função do tempo (E<sub>1</sub>, E<sub>7</sub>, E<sub>12</sub>)<sup>‡</sup> provocadas por sistemas de manejo do solo profundidade de 0 -10 cm.

Época de amostragem	Sistemas de manejo do solo			
	PC	PM	PDE	PDP
	----- COT, Mg ha <sup>-1</sup> -----			
E <sub>1</sub>	30,88 Ba	34,20 Aa	33,63 Ab	35,14 Ac
E <sub>7</sub>	31,22 Ba	35,32 Aa	34,89 Ab	36,60 Ab
E <sub>12</sub>	30,91 Ca	35,61 Ba	35,60 Ba	37,84 Aa

<sup>‡</sup> E<sub>1</sub>, E<sub>7</sub> e E<sub>12</sub> representam as épocas de amostragem do solo no mês de outubro ano de 2003, maio de 2004 e outubro de 2004. As letras maiúsculas referem-se a comparação das médias na linha e as minúsculas na coluna. As letras maiúsculas para coluna e minúsculas para as linhas representando as diferenças estatísticas no Teste de Tukey a 5%. Resultados de Combustão Seca (LECO 2000), lab. de Biogeoquímica do CENA-USP.

Outrossim, o PDP no T<sub>12</sub> teve o maior incremento no estoque de C e foi superior aos demais SMS e ao PC. No SPD com elevada adição de resíduos culturais, ocorre expressivo aumento da biomassa microbiana de C e N (SÁ, 2001; VENZKE-FILHO, 2003; SIX *et al.*, 2002) a ação dos agentes temporários, tais como fungos, actinomicetos, leveduras e em

especial os fungos micorrízicos são fundamentais para iniciar o processo de agregação. O aporte de resíduos neste período indica que o PDP está promovendo maior perenicidade da cobertura na superfície do solo e contribuindo para que o fluxo de C na microbiota esteja conservando o C em sua biomassa, conforme constatado por Venzke-Filho (2003) e recentemente por Six et al. (2002). Embora a adição de resíduos culturais neste trabalho seja superior aos citados por Bayer *et al.* (2000) e Amado et al. (2001) há o efeito da maior altitude em Ponta Grossa e temperatura mais amena e favorável a conservação do C no sistema.

O estoque de N apresentou a mesma tendência ao estoque de C para os SMS avaliados (Tabela 13).

Tabela 13. Alterações no estoque de N total (NT) em função do tempo (E<sub>1</sub>, E<sub>7</sub>, E<sub>12</sub>)<sup>‡</sup> provocadas por sistemas de manejo do solo.

Época de amostragem	Sistemas de manejo do solo			
	PC	PM	PDE	PDP
	----- N-Total, Mg ha <sup>-1</sup> -----			
E <sub>1</sub>	1,96 Ca	2,24 Bb	2,27 Bb	2,38 Ab
E <sub>7</sub>	1,82 Cb	2,24 Bb	2,23 Bb	2,55 Aa
E <sub>12</sub>	2,06 Ba	2,50 Aa	2,47 Aa	2,69 Aa

<sup>‡</sup> T<sub>1</sub>, T<sub>7</sub> e T<sub>12</sub> representam a amostragem do solo no mês de outubro ano de 2003, maio de 2004 e outubro de 2004. As letras maiúsculas referem-se a comparação das médias na linha e as minúsculas na coluna. As letras maiúsculas para coluna e minúsculas para a linhas representando as diferenças estatísticas no Teste de Tukey a 5%. Resultados de Combustão Seca (LECO 2000), lab. de Biogeoquímica do CENA-USP.

O coeficiente de correlação de Pearson entre as duas variáveis (C e N) foi elevado e significativo ( $r = 0,93$  para  $p < 0,001$ ) demonstrando que o aumento no estoque de N resultou no maior estoque de C. Esses resultados vem corroborar com os obtidos por Sá *et al.* (2001) na mesma região que mostraram maior acúmulo de C com o aumento no estoque de N. Embora o sistema de rotação desde o início do experimento (Tabela 4) tenha a predominância de gramíneas, ou seja, em cada três anos há quatro gramíneas (02 aveia, 01 trigo e 01 milho) para cada duas leguminosas (soja) formando um relação de 2:1. Por outro lado, os resultados de Venzke-Filho (1999 e 2003) na mesma região avaliando a diversidade da microbiota,

constatou aumento significativo de amonificadores e nitrificadores no SPD. Além disso, observou maior relação entre  $C_{mic}:C_{org}$  e  $N_{mic}:N_{total}$ , indicando que o C e N em sistema com elevado aporte de resíduos tende a manter esses elementos circulando em sua biomassa e conseqüentemente favorecendo o acúmulo no solo.

Na  $E_7$  (maio de 2004) o tratamento PDP teve um aumento no estoque de N na ordem de 7% e os demais tratamentos mantiveram os mesmos estoques ou diminuíram na ordem de até 8% no caso do PC. Esta redução no PC pode ser devido ao maior aporte de N, oriundo dos resíduos da soja, cuja relação C:N é baixa e favorece N facilmente decomponível pela microbiota estimulando maior atividade e maiores perdas de C. Além disso, o revolvimento do solo altera as taxas de decomposição do PC em relação aos demais manejos aumentando a oxidação e diminuindo os estoques de N. Lovato *et al.* (2004), observaram maior coeficiente de humificação e menor taxa anual de perda da matéria orgânica no solo em PDP, o que explica o maior acúmulo de C e N no solo, em comparação ao PC, indicando que a eliminação do revolvimento do solo é uma prática fundamental quando se têm por objetivo a recuperação de solos degradados (CARDOSO, 2005).

No mês de novembro de 2004 os estoques tiveram aumento em todos os SMS e provavelmente pela maior relação C/N dos resíduos da cultura trigo. A maior relação C:N desses resíduos estimulou a microbiota pela oferta de energia e C facilmente oxidável, porém, ficou limitada pela oferta de N ao sistema mantendo-o na palhada. Estes argumentos podem ser respaldados pela relação C:N neste período (Tabela 14). Os resultados indicam que a partir do  $E_7$  ocorreu um aumento significativo da relação C:N demonstrando que os resíduos de trigo contribuíram para este fato. Apesar do aumento significativo do estoque de N do  $E_7$  para o  $E_{12}$  no PC em 12%, pode ser explicado devido à amostragem no  $E_7$  ter sido antes da colheita e antes da prática de revolvimento do solo.



Observa-se ao longo do tempo um aumento contínuo do estoque de N no solo nos SMS conservacionistas (PDP, PDE e PM) e as variações são sazonais em função imobilização do N pela palhada ou biomassa microbiana conforme foi observado por Sá (1993, 1999) e Venzke-Filho, (2003) e por outro lado, o PC tem maior variação e flutuação de N (Cardoso, 2005).

Tabela 14. Alterações na relação C:N dos estoques de C orgânico total (COT) e N-total em função do tempo (E<sub>1</sub>, E<sub>7</sub>, E<sub>12</sub>)<sup>‡</sup> e provocadas por sistemas de manejo do solo

Época de amostragem	Sistemas de manejo do solo			
	PC	PM	PDE	PDP
E <sub>1</sub>	15,8 Ba	15,3 Aa	14,8 Aa	14,8 Aa
E <sub>7</sub>	17,0 Ab	16,0 Aa	15,6 Ba	15,4 Aa
E <sub>12</sub>	15,2 Ba	19,4 Ab	18,9 Ab	19,2 Ab

<sup>‡</sup> E<sub>1</sub>, E<sub>7</sub> e E<sub>12</sub> representa a amostragem do solo no mês de outubro ano de 2003, maio de 2004 e outubro de 2004. As letras maiúsculas referem-se a comparação das médias na linha e as minúsculas na coluna.

Na tabela 14 a relação C:N dos tratamentos aumentaram a partir do E<sub>1</sub> (outubro de 2003) até o E<sub>12</sub> (outubro de 2004), mesmo tendo uma cultura no E<sub>7</sub> (maio de 2004) com relação C:N mais baixa. Isto indica que a gramínea antecedente e a posterior a leguminosa têm um impacto maior a longo prazo e estimulando maior aproveitamento do N da leguminosa para o sistema. Em outubro de 2003 a amostragem iniciou após o manejo da cultura de aveia branca que é uma gramínea com elevada relação C:N, ou seja, o reflexo desses resíduos não foram detectados pela amostragem. Na seqüência, foi semeado a cultura de soja que é uma leguminosa com baixa relação C:N e a amostragem no E<sub>12</sub> foi realizada 15 dias após a colheita da cultura de soja e a relação C/N encontrada manteve-se estável. Deve ser ressaltado que o comportamento do PC no E<sub>7</sub> acompanhou os demais SMS, mas no E<sub>12</sub> reduziu em até 20,9 % comparado ao PDP, demonstrando que a maior taxa de oxidação da MOS ocorre ao longo do tempo. A entrada de resíduos com relação C:N mais baixa e maior oferta N para a decomposição pela microbiota, não afetou a relação C:N no PDP, PDE e PM mantendo-as elevadas. Em contraste, no PC ocorreu redução após 6 meses da colheita do soja,

demonstrando que as taxas de oxidação são mais estáveis no PDP, PDE e PM e com maior flutuação no PC.

#### **4.5.2 Balanço de C nos SMS: Seqüestro de C e mitigação de CO<sub>2</sub>**

O balanço de C foi calculado de acordo com o modelo descrito originalmente por Henin & Dupuis (1945) e adaptado por Bayer (1996). O objetivo foi respaldar os resultados obtidos nas determinações de C e N das amostras coletadas nos períodos já citados, com o modelo unicompartmental ajustado para a seqüência de culturas locais. Ao mesmo tempo, pretende-se obter os índices de palhada que representa a quantidade mínima de resíduos culturais (expressos em massa seca de parte aérea e raiz) para manter o equilíbrio dos sistemas de manejo do solo na região dos campos Gerais. O coeficiente de humificação ( $K_1$ ) adotado foi retirado dos resultados obtidos por Sá et al. (2001) em trabalho desenvolvido na mesma região desta pesquisa. O coeficiente de oxidação de C ( $K_2$ ) foi ajustado com base nos resultados obtidos por Bayer (1996) em região próxima a Porto Alegre e adaptado para as condições locais.

O balanço de C com base nos coeficientes obtidos por Bayer (1996) subestimou o estoque final de C quando comparado ao obtido pela determinação do estoque de C nas amostras coletadas (Tabela 11). O coeficiente de oxidação  $K_2$  estimou maior oxidação de C e o motivo parece estar associado às condições climáticas das regiões na qual foi desenvolvido. A comparação entre os locais evidencia a diferença em fatores que afetam sensivelmente a taxa de decomposição (Tabela 15).

Tabela 15. Comparação entre os parâmetros entre as regiões.

Parâmetros	Cidades, RS (Bayer, 1996)	Ponta Grossa, PR
Clima (classificação de Köepen)	Cfa	Cfb
Altitude (m acima do NM)	< 500 m	910 m
Temp. média da mínima (mês + frio)	8,8 a 13,9 °C	7,6 a 11,5 °C
Temp. média máxima (mês + quente)	24,9 a 32,5 °C	19,0 a 26 °C
Precipitação pluviométrica média	1440 a 1713 mm	1545 mm

Dessa forma, seria esperado em condições de altitude mais elevada e com temperaturas mais amenas associada à distribuição pluviométrica bem distribuída sem ocorrência de déficit hídrico menor oxidação do C e, portanto o valor de  $K_2$  para a região de Ponta Grossa mais baixo.

A Tabela 16 apresenta o balanço de C com o  $K_2$  proposto por Bayer (1996) e o ajustado para as condições locais.

Onde foi usada as seguintes fórmulas:

$$K1 = Ad_{cp} + Ad_{ca}$$

$K1$  = adição de C pelas culturas

$Ad_{cp}$  = adição de C pela cultura passada

$Ad_{ca}$  = adição de C pela cultura atual

$A$  = taxa de C que permanece no solo de um ano para outro (SÁ, 2001). Igual a 0,265.

$K_2$  = coeficiente de oxidação obtido por Bayer, 1996, comparado e ajustado aos resultados de laboratório.

O modelo revelou que a presença da sucessão trigo/soja na rotação resultou em balanço negativo de C para o PC e PM independente do coeficiente  $K_2$  adotado. Entretanto, para o tratamento PDE o maior  $K_2$  resultou em balanço negativo comparado ao menor  $K_2$ . Em contraste, o PDP foi positivo para ambos os valores de  $K_2$ . Todavia, a diferença entre o balanço obtido com o menor  $K_2$  foi 3,85 vezes superior ao maior  $K_2$  para a sucessão trigo/soja. Por outro lado, a presença da sucessão aveia/milho apresentou balanço positivo em todos os SMS independente do  $K_2$ . Isto indica a importância da presença de gramíneas com elevada capacidade de aporte de resíduos culturais para manter o sistema em ascensão. Entretanto, a média do  $dC/dt$  para o período em cada SMS (Figura 15) mostrou que mesmo com a presença de sucessão de gramíneas na rotação não foi suficiente para manter o balanço de C positivo no PC.

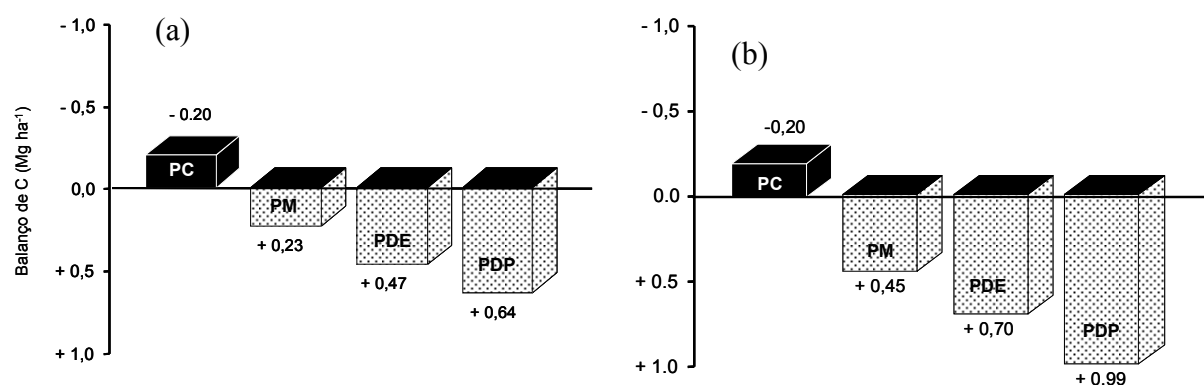


Figura 15. Balanço de C – média do  $dC/dt$  considerando dois valores de  $K_2$ : (a) Bayer, 1996 e (b) ajustado para as condições locais.

Tabela 16. Balanço de C nos sistemas de manejo utilizando o modelo unicompartimental proposto por Henin &amp; Dupuis (1945) e adaptado por Bayer (1996).

SMS#	Período	Cultura	Adição de massa seca			Adição de C§	Balanço de C com coeficiente K2, proposto por Bayer, 1996				Média dC/dt	Balanço de C com coeficiente K2 ajustado para o experimento ‡				Média dC/dt
			PA	Raiz	Total		Estoque de					Estoque de				
							C no solo	K1 *A	K2 * C	dC/dt		C no solo	K1 *A	K2 * C	dC/dt	
----- Mg ha-1 -----																
PC	I - 02	Aveia	3,08	0,71	3,79	1,71										
	V - 02/03	Milho	10,64	2,42	13,06	5,88	30,88	2,01	1,67	0,34		30,88	2,01	1,67	0,34	
	I - 03	Aveia	6,19	1,42	7,61	3,42										
	V - 03/04	Soja	3,18	0,71	3,89	1,75	31,22	1,37	1,69	-0,31		31,22	1,37	1,69	-0,31	
	I - 04	Trigo	2,99	0,47	3,46	1,56										
	V - 04/05	Soja	4,34	0,98	5,32	2,39	30,91	1,05	1,67	-0,62	-0,20	30,91	1,05	1,67	-0,62	-0,20
PM	I - 02	Aveia	3,67	0,84	4,51	2,03										
	V - 02/03	Milho	11,54	2,62	14,16	6,37	34,20	2,23	1,33	0,89		34,2	2,23	1,11	1,12	
	I - 03	Aveia	6,51	1,50	8,01	3,60										
	V - 03/04	Soja	3,35	0,75	4,10	1,85	35,09	1,44	1,37	0,07		35,32	1,44	1,15	0,3	
	I - 04	Trigo	3,00	0,47	3,47	1,56										
	V - 04/05	Soja	4,66	1,05	5,71	2,57	35,17	1,09	1,37	-0,28	0,23	35,61	1,10	1,16	-0,06	0,45
PDE	I - 02	Aveia	3,81	0,88	4,69	2,11										
	V - 02/03	Milho	11,37	2,59	13,96	6,28	33,63	2,22	1,14	1,08		33,63	2,22	0,96	1,26	
	I - 03	Aveia	8,56	1,97	10,53	4,74										
	V - 03/04	Soja	3,07	0,69	3,76	1,69	34,71	1,70	1,18	0,38		34,89	1,7	0,99	0,71	
	I - 04	Trigo	3,03	0,48	3,51	1,58										
	V - 04/05	Soja	4,94	1,11	6,05	2,72	35,09	1,14	1,19	-0,05	0,47	35,60	1,14	1,01	0,13	0,70
PDP	I - 02	Aveia	4,20	0,97	5,17	2,33										
	V - 02/03	Milho	11,29	2,57	13,86	6,24	35,14	2,27	1,02	1,25		35,14	2,27	0,81	1,46	
	I - 03	Aveia	10,77	2,48	13,25	5,96										
	V - 03/04	Soja	3,45	0,78	4,23	1,90	36,39	2,08	1,06	0,59		36,6	2,08	0,84	1,24	
	I - 04	Trigo	3,16	0,50	3,66	1,65										
	V - 04/05	Soja	4,85	1,09	5,94	2,67	36,98	1,14	1,07	-0,07	0,64	37,84	1,15	0,87	0,27	0,99

SMS# = Sistema de manejo do solo; I = inverno; V = verão; e os número so lado representam os anos para o balanço de C; § = Refere-se à adição e C através dos resíduos culturais, ‡ = Coeficiente K2 = ajustado para as condições do experimento com base nos estoques determinados em laboratório.

O ganho de C no balanço com o  $K_2$  ajustado para os sistemas PM, PDE e PDP foram de 95%, 48% e 54,7%, respectivamente. O ajuste proporcionou estreita correlação com os dados obtidos no laboratório com a determinação do C. O PM apresentou valores superiores ao PC demonstrando que a redução da intensidade das operações de preparo resulta em resposta positiva para manutenção de entrada de C no sistema. A quantidade de C adicionado apresentou diferenças significativas somente entre o PDE e PDP comparado ao PC. Todavia, o aumento no estoque de C foi crescente em direção aos sistemas conservacionistas até a maior taxa de C no PDP. Isto demonstrou o efeito dos sistemas de manejo na manutenção do C ou a mitigação de  $CO_2$  para a atmosfera (Figura 16).

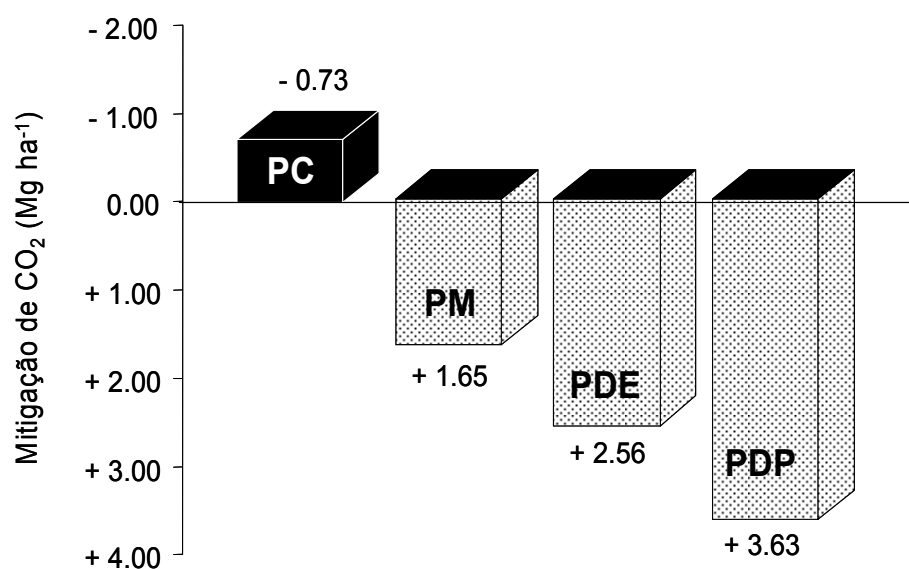


Figura 16. Mitigação de  $CO_2$  em função dos sistemas de manejo do solo em função do balanço de C

Outros autores também encontraram maior estoque de C no solo em regiões com temperaturas mais baixas, devido a menor taxa de decomposição dos resíduos culturais depositados no solo. Dessa forma, o ajuste do  $K_2$  resultou na maior afinidade aos encontrados para região de elevada altitude (Tabela 17). O balanço do C também demonstrou que o sistema influencia na quantidade do C produzido anualmente e nos estoques os quais vão

longo do tempo lentamente aumentando nos sistemas que tem balanço positivo de C, conseqüentemente quanto maior o valor do balanço maior a produção de C mantida no sistema.

Tabela 17. Coeficientes  $K_2$  obtido para os sistemas de manejo do solo.

Sistemas de manejo do solo	$K_2$ (Bayer, 1996)	$K_2$ (aproximado pelos estoques)	$K_2$ Ajustado
PC	0,054	0,054	0,054
PM	0,039	0,026	0,325
PDE	0,034	0,023	0,0285
PDP	0,029	0,017	0,023

O ajuste para as condições locais reflete além das adições de resíduos culturais, as condições climáticas, os tipos de solo e a sua mineralogia que irá interferir em maior ou menor taxa de seqüestro. Dessa forma, os sistemas conservacionistas que preconizam a ausência de mobilização do solo, como o PDP, promove maior proteção física do C durante o processo de agregação das partículas devido à superfície específica e atividade de carga fração argila interagir com a fração orgânica do solo, protegendo-a da decomposição microbiana (Six et al., 1999, 2002).

Os resultados do balanço de C foram transformamos para a obtenção do Equivalente em palhada. Pode-se afirmar que a quantidade mínima de palhada para manter o PC em equilíbrio estável é de 13.84 Mg ha<sup>-1</sup>. Entretanto, a quantidade média de palhada adicionada foi de 12,38 Mg ha<sup>-1</sup> (tabela 18), demonstrando que haverá um déficit em palhada no PC e tenderá a aumentar as perdas de C até um novo ponto de equilíbrio estável. Esse novo estado de equilíbrio dependerá dos mecanismos de proteção do C nos agregados, que está estreitamente associado às características da mineralogia do solo.

Tabela 18. Equivalente em palhada dos atributos do balanço de C para os SMS em um experimento de longa duração.

SMS	C*K <sub>2</sub>	dC/dt ≠ 0	Equivalente em Palhada <sup>‡</sup>			
			dC/dt ≠ 0	dC/dt = 0	Adição Anual (AA)	Balanço geral (AA - dC/dt = 0)
			Mg ha <sup>-1</sup>			
PC	1.67	-0.20	-1.66	13.84	12.38	-1.46
PM	1.14	0.45	3.77	10.00	12.62	2.62
PDE	0.99	0.70	5.87	9.00	12.99	3.99
PDP	0.84	0.99	8.32	8.04	13.12	5.08

<sup>‡</sup> Valores foram calculados a partir dos parâmetros a seguir:

O coeficiente de oxidação representado pela expressão C\* K<sub>2</sub> foi dividido pelo número de anos do período (a média de três anos = C\* K<sub>2</sub>/3). O dC/dt ≠ 0 representa a média do balanço de C para cada tratamento. O Equivalente em Palhada do dC/dt ≠ 0, representa a transformação da média do balanço de C em Massa Seca. O Equivalente Palhada do dC/dt = 0, representa a quantidade perdida do estoque até o presente momento. Média do aporte anual = Produção média de Massa seca anual. O balanço geral representado pelo Δ (Adição anual - dC/dt = 0). = Média do aporte anual de MS - Equivalente palha do dC/dt = 0

Na tabela 19 o C\*K<sub>2</sub> demonstra o quanto do estoque de C é anualmente perdido para o meio ambiente, o PC tem os maiores valores de perda de C, o dobro de MS que o PDP.

No Equivalente em Palhada os valores de dC/dt ≠ 0, são os valores do balanço de C em MS comprometido na manutenção do balanço de C obtidos, o PC nestas condições de desequilíbrio está tendo uma produção negativa de MS, ou seja a quantidade produzida de MS no sistema de preparo convencional não supriu a necessidade de reposição de C do solo e teve uma perda para o meio ambiente de 1,66 Mg ha<sup>-1</sup> ou seja está consumindo toda a produção de MS depositada no período amostrado e mais C do estoque do solo tem. Em contraste, o PM apresentou uma produção de 3,77 Mg ha<sup>-1</sup> de MS ou seja, que estão sendo acrescentadas anualmente no sistema, o PDE produziu 5,87 Mg ha<sup>-1</sup> de MS que ficam no sistema e o PDP produziu 8,32 Mg ha<sup>-1</sup> de MS que são acrescentadas anualmente no sistema mostrando-se superior aos outros sistemas de manejo do solo em até seis vezes mais produção de MS que são mantidas no sistema.

No balanço geral de Equivalente Palhada o PDP tem uma manutenção de palhada anual de 6,54 Mg ha<sup>-1</sup> maior que o PC, permitindo o sistema apresentar maiores estoques de C, menor emissão de CO<sub>2</sub> para a atmosfera, resultado do sistema de manejo que diminui as



taxas de oxidação da matéria orgânica permitindo a permanência por mais tempo do C no solo e em seus compartimentos.

O estoque de C vem aumentando nos sistemas PDP, PDE e PM, resultado das taxas de oxidação diferentes em cada sistema menores comparativamente ao PC, os  $K_2$  são variáveis não apenas em função dos sistemas de manejo mas também com as condições de cada ambiente como: temperatura, altitude, pluviometria, etc.

#### 4.6. CONCLUSÕES

O sistema PDP apresentou em todos os tempos e profundidades os maiores teores de C demonstrando sua eficiência na manutenção do C no solo, as variações de concentração de C nas frações demonstraram a dinâmica dos sistemas que mesmo em maiores profundidades e em associações com frações menores o C interage entre as frações e o meio. No sistema PDP o fluxo de C flui em direção a manutenção do C nas frações e as trocas entre frações esta estreitamente relacionada ao tipo de material depositado e sua relação C/N que quanto maior mais troca entre frações favorecerá.

Concluimos que cada região tem uma taxa de oxidação própria que varia de acordo com os fatores abióticos como: temperatura, pluviometria, formação geológica, altitude, e em função dos sistemas de manejo usados.

Nos SMS conservacionistas (PDP, PDE e PM) o estoque de C foi superior ao sistema com preparo do solo (PC) nos três tempos de coleta. O PDP está promovendo maior perenecidade dos resíduos culturais no solo e aumentando o fluxo de C para a microbiota e conservando o C na biomassa microbiana por mais tempo que os outros sistemas. A maior altitude em Ponta Grossa e temperatura mais amena favorecem a conservação do C nos sistemas mais conservacionistas.

A correlação entre os estoques de N e C é estreita e os aumentos nos estoques de C e N foram constantes ao longo do tempo, o que pode ser devido a rotação deste experimento. A rotação foi de duas gramíneas para uma leguminosa favorecendo uma relação C:N alta, resultando na manutenção do C mais na fração ativa e mantendo-o no solo na biomassa microbiana, fato que vem favorecendo o aumento dos estoques ao longo do tempo.

O PDP apresentou tendência de aumento dos estoques de N e o PC teve maiores variações em função direta do aumento das taxas de decomposição aumentadas pelo

revolvimento do solo, o PM apresentou estoques superiores ao PC demonstrando que a diminuição das intervenções no solo são benéficas e com resultados a curto prazo. A relação C:N dos resíduos culturais influenciaram os estoques pela manutenção destes na palhada.

## 5. CONCLUSÕES GERAIS

Os estoques de C e N foram afetados significativamente pelos sistemas de manejo do solo, sendo maiores nos sistemas com menor revolvimento do solo. As frações granulométricas do solo demonstraram que o estoque é maior nas frações mais grossas e que estas são afetadas diretamente pelo manejo do solo. O tempo de plantio direto apresentou maiores estoques frente aos outros sistemas de plantio nas frações granulométricas do solo, mas na fração menor que 53  $\mu\text{m}$  as diferenças entre sistemas não foram significativas.

As taxas de oxidação para a região de Ponta Grossa são menores comparadas a outros autores, provavelmente devido a fatores abióticos como: altitude, temperatura, pluviometria.

O PDP apresentou as menores taxas de oxidação e maior manutenção da palhada na superfície do solo, permitindo um maior equilíbrio com produção de MS suficiente para suprir a necessidade de C e aumentar os estoques, seqüestrando o C no solo e aumentando os níveis de outros elementos disponíveis para as plantas. Apesar de não ter sido significativo o valor nas frações < 53  $\mu\text{m}$ , pode-se inferir que o equilíbrio deste sistema necessita de um tempo mais longo de manutenção do sistema de plantio direto, para iniciar um aporte significativo na fração (< 53  $\mu\text{m}$ ) a mais recalcitrante.

## 5. ANEXOS

ANEXO A. Estoque de C Orgânico Total em Mg ha<sup>-1</sup>

Profundidade Cm	Plantio Direto Permanente	Plantio Direto Escarificado	Preparo Mínimo	Preparo Convencional
Out/03				
0 – 10 M	35,14	33,63	34,19	30,88
0 – 10 J	36,29	32,53	36,24	31,85
DESVPAD	0,81288344	0,781160296	1,450747	0,683344904
Mai/04				
0 – 10 M	39,33	34,88	35,91	30,92
0 – 10 J	36,26	33,54	35,23	27,59
DESVPAD	2,172980527	0,949312153	0,480284	2,355591954
Nov/04				
0 – 10 M	51,74	46,8	48,48	31,32
0 – 10 J	36,43	33,82	32,83	29,87
DESVPAD	10,82506218	9,179770304	11,068	1,02792638
DESVPAD MÉDIO	3,482255627			

## 6.1 ANEXO B. Texturas do solo do experimento da estação Experimental da F. ABC.

<b>Texturas</b>		<b>Areia gkg<sup>-1</sup></b>	<b>Silte gkg<sup>-1</sup></b>	<b>Argila gkg<sup>-1</sup></b>
PDP	0 -2,5	364	256	380
	2,5 -5,0	362	218	420
	5,0 - 10,0	376	164	460
	10,0 - 20,0	367	133	500
	20,0 - 30,0	343	117	540
	30,0 - 40,0	331	109	560
PDE	0 -2,5	375	245	380
	2,5 -5,0	376	204	420
	5,0 - 10,0	374	166	460
	10,0 - 20,0	372	128	500
	20,0 - 30,0	361	119	520
	30,0 - 40,0	341	119	540
PM	0 -2,5	367	253	380
	2,5 -5,0	348	232	420
	5,0 - 10,0	360	200	440
	10,0 - 20,0	347	173	480
	20,0 - 30,0	340	160	500
	30,0 - 40,0	327	133	540
PC	0 -2,5	388	192	420
	2,5 -5,0	391	149	460
	5,0 - 10,0	395	125	480
	10,0 - 20,0	363	137	500
	20,0 - 30,0	344	116	540
	30,0 - 40,0	335	105	560

6.2. ANEXO C. Análises de variância do COT do solo de 2003 a 2004 em diferentes sistemas de plantio (PDP) plantio direto permanente, (PDE) plantio direto escarificado, (PM) preparo mínimo, (PC) preparo convencional em diferentes profundidades em Ponta Grossa – PR amostrado após o manejo da cultura de inverno outubro 2003, após a colheita da soja maio de 2004 e em novembro de 2004, profundidade de 0 a 2,5 cm.

<b>COT (Mg /há)</b>				
Camada 0-2,5 cm				
FV	GL	SQ	QM	FC
BLOCOS	2	1,3037	.6518	26.4005**
FATOR A	2	6,0559	3,0280	122.6368**
RESI. (A)	4	.0988	.02	
PARCELAS	8	7.4584		
FATOR B	3	7.0642	2.3547	8.0661**
FATOR AxB	6	.3728	.0621	.2128NS
RESID. (B)	18	5.2547	.2919	
SUP PARC.	35	20.1501		
FATOR C	3	96.1414	32.0471	276.1523**
FATOR AxC	6	4.1439	.6907	5.9514**
FATOR BxC	9	20.7971	2.3108	19.9122**
FATOR AxBxC	18	5.2756	.2931	2.5255
RESID. (C)	72	8.3555	.1160	
SUBSUB PARC.	143	154.8637		
MÉDIA GERAL	1,9084			
C.V. PARCELA	8,2337			
C.V. SUB PAR.	28,3117			
C.V. SUB SUB PARC.	17,8504			

6.3. ANEXO D. Análises de variância do COT do solo de 2003 a 2004 em diferentes sistemas de plantio (PDP) plantio direto permanente, (PDE) plantio direto escarificado, (PM) preparo mínimo, (PC) preparo convencional em diferentes profundidades em Ponta Grossa – PR amostrado após o manejo da cultura de inverno outubro 2003, após a colheita da soja maio de 2004 e em novembro de 2004, profundidade de 2,5 – 5,0 cm.

<b>COT (Mg /há)</b>				
Camada 0-2,5 cm				
FV	GL	SQ	QM	FC
BLOCOS	2	5.4306	2.7153	12.0070 *
FATOR A	2	7.4975	3.7488	16.5768 *
RESI. (A)	4	.9046	.2261	
PARCELAS	8	13.8327		
FATOR B	3	4.6891	1.5630	2.8258
FATOR AxB	6	5.1351	.8558	1.5473 NS
RESID. (B)	18	9.9561	.5531	
SUP PARC.	35	33.6130		
FATOR C	3	232.6235	77.2078	310.3685
FATOR AxC	6	13.3290	2.2215	8.9302 **
FATOR BxC	9	8.0104	.8900	3.5779 **
FATOR AxBxC	18	8.4282	.4682	1.8823 *
RESID. (C)	72	17.9109	.2488	
SUBSUB PARC.	143	312.9149		
MÉDIA GERAL	2.2410			
C.V. PARCELA	21.2199			
C.V. SUB PAR.	33.1863			
C.V. SUB SUB PARC.	22.2557			



6.4. ANEXO E. Análises de variância do COT do solo de 2003 a 2004 em diferentes sistemas de plantio (PDP) plantio direto permanente, (PDE) plantio direto escarificado, ( PM) preparo mínimo, (PC) preparo convencional em diferentes profundidades em Ponta Grossa – PR amostrado após o manejo da cultura de inverno outubro 2003, após a colheita da soja maio de 2004 e em novembro de 2004, profundidade de 5,0 – 10,0 cm.

<b>COT (Mg /há)</b>				
Camada 0-2,5 cm				
FV	GL	SQ	QM	FC
BLOCOS	2	16,2610	8.1305	11.9922*
FATOR A	2	16,4908	8,2454	12.1618*
RESI. (A)	4	2,7119	.6780	
PARCELAS	8	35.4637		
FATOR B	3	11.0717	3,6906	2.8214 NS
FATOR AxB	6	8.1243	1.3540	1.0352 NS
RESID. (B)	18	23.5451	1.3081	
SUP PARC.	35	78.2048		
FATOR C	3	954.6606	318.2202	301.9672**
FATOR AxC	6	28.4410	4.7402	4.4981**
FATOR BxC	9	19.8016	2.2002	2.0878*
FATOR AxBxC	18	11.9978	.6665	.6325 NS
RESID. (C)	72	75.8753	1.0538	
SUBSUB PARC.	143	1168.9811		
MÉDIA GERAL	4.1512			
C.V. PARCELA	19.8352			
C.V. SUB PAR.	27.5513			
C.V. SUB SUB PARC.	24.7293			

## 6.5. ANEXO F. Comparação da variação das frações no tempo e do tempo dentro das frações.

TABELA DAS MÉDIAS DE ESTOQUES DE CARBONO

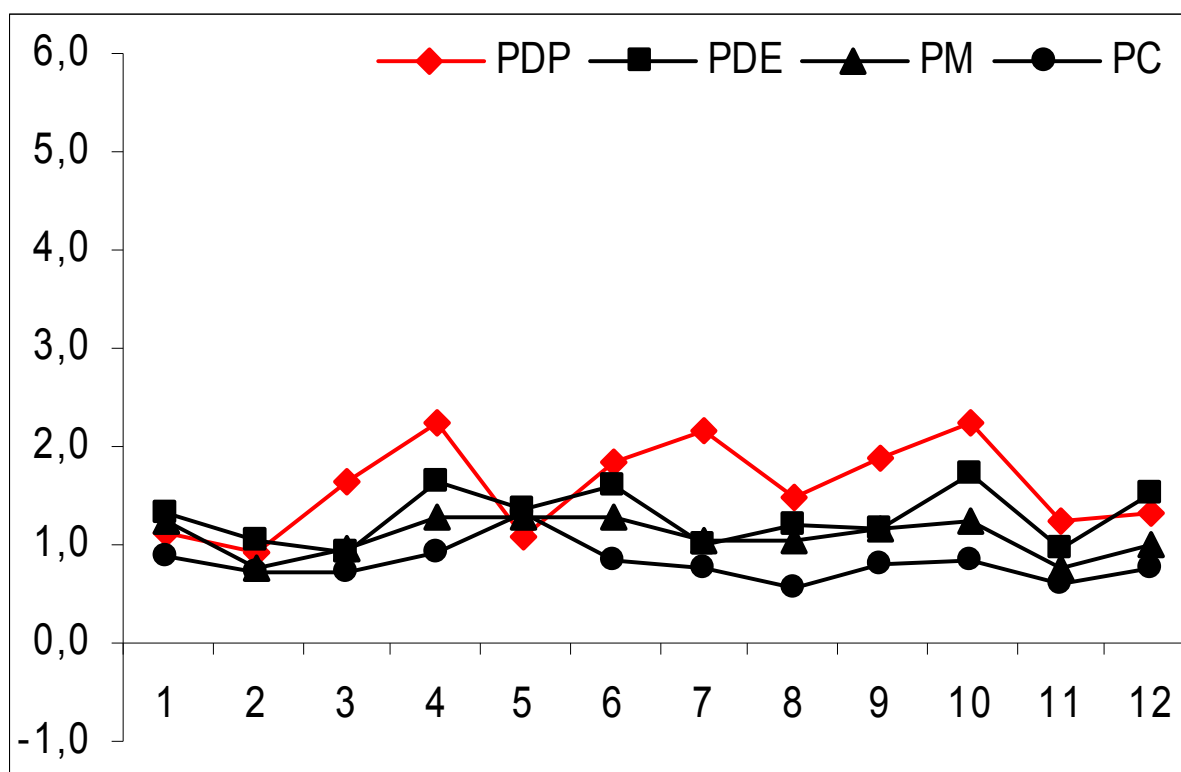
Profundidade Amostragem (cm)	Frações Granulométricas ( $\mu\text{m}$ )	T1				T7				T12			
		PC	PM	PDE	PDP	PC	PM	PDE	PDP	PC	PM	PDE	PDP
(Mg ha <sup>-1</sup> )													
0 – 2,5	210 – 2000	0,34 Ca	0,51 Ca	0,67 Ca	0,71 Ca	0,40 Ba	0,68 Ba	0,72 Ba	0,76 Ba	0,48 Ca	0,72 Ca	1,50 Ca	1,17 Ca
	53 – 210	0,82 Ba	1,11 Ba	2,35 Ba	2,44 Ba	1,01 Ab	1,55 Ab	2,97 Ab	3,10 Ab	1,03 Bb	1,85 Bb	2,57 Bb	2,80 Bb
	20 – 53	1,05 Ca	1,13 Ca	1,54 Ca	1,63 Ca	0,88 Bb	1,08 Bb	1,45 Bb	1,54 Bb	0,96 Cb	1,12 Cb	1,48 Cb	1,80 Cb
	< 20	4,21 Aa	4,44 Aa	4,04 Aa	4,04 Aa	4,30 Ab	4,44 Ab	3,87 Ab	4,79 Ab	4,63 Ab	4,54 Ab	3,89 Ab	3,98 Ab
	$\Sigma$ total das frações	6,42	7,18	8,60	8,82	6,59	7,75	9,00	10,20	7,11	8,23	9,44	9,74
2,5 - 5,0	210 – 2000	0,31 Ca	0,75 Ca	0,29 Ca	0,43 Ca	0,39 Ca	0,66 Ca	0,36 Ca	0,72 Ca	0,55 Ca	0,83 Ca	0,87 Ca	0,74 Ca
	53 – 210	1,63 Ba	1,14 Ba	1,10 Ba	1,57 Ba	1,05 Ba	1,55 Ba	2,25 Ba	2,97 Ba	1,18 Bb	1,70 Bb	1,60 Bb	2,50 Bb
	20 – 53	0,84 Ca	1,15 Ca	1,03 Ca	1,47 Ca	0,90 Ca	1,11 Ca	1,53 Ca	1,45 Ca	1,05 Ca	1,27 Ca	1,31 Ca	1,67 Ca
	< 20	4,77 Aa	5,22 Aa	4,87 Aa	5,28 Aa	4,90 Ab	5,44 Ab	4,91 Ab	3,87 Ab	5,31 Ab	5,58 Ab	5,47 Ab	4,75 Ab
	$\Sigma$ total das frações	7,54	8,26	7,29	8,74	7,23	8,75	9,04	9,00	8,09	9,38	9,25	9,66
5,0 - 10,0	210 – 2000	1,68Ca	2,01 Ca	1,50 Ca	2,73 Ca	1,78 Ca	2,37 Ca	1,51 Ca	1,68 Ca	2,14 Ca	1,92 Ca	1,63 Ca	1,68 Ca
	53 – 210	4,00 Ba	4,75 Ba	4,55 Ba	4,87 Ba	3,50 Ba	5,07 Ba	4,70 Ba	5,48 Ba	3,08 Ba	3,90 Ba	4,92 Ba	5,48 Ba
	20 – 53	2,43 Ca	2,38 Ca	2,18 Ca	1,64 Ca	1,70 Ca	2,31 Ca	2,18 Ca	2,23 Ca	1,61 Ca	1,76 Ca	1,87 Ca	2,23 Ca
	< 20	9,78 Aa	11,65 Aa	8,40 Aa	9,48 Aa	6,78 Ab	8,98 Ab	7,10 Ab	7,64 Ab	7,84 Ab	7,63 Ab	6,71 Ab	7,64 Ab
	$\Sigma$ total das frações	17,89	20,80	16,64	18,73	13,77	18,73	15,49	17,02	14,67	15,22	15,12	17,02

Na coluna as letras maiúsculas comparam as frações dentro da mesma profundidade dentro do tempo, na linha as letras minúscula comparam o tempo dentro das Frações, na coluna as letras maiúscula em negrito comparam as frações dentro dos tratamentos

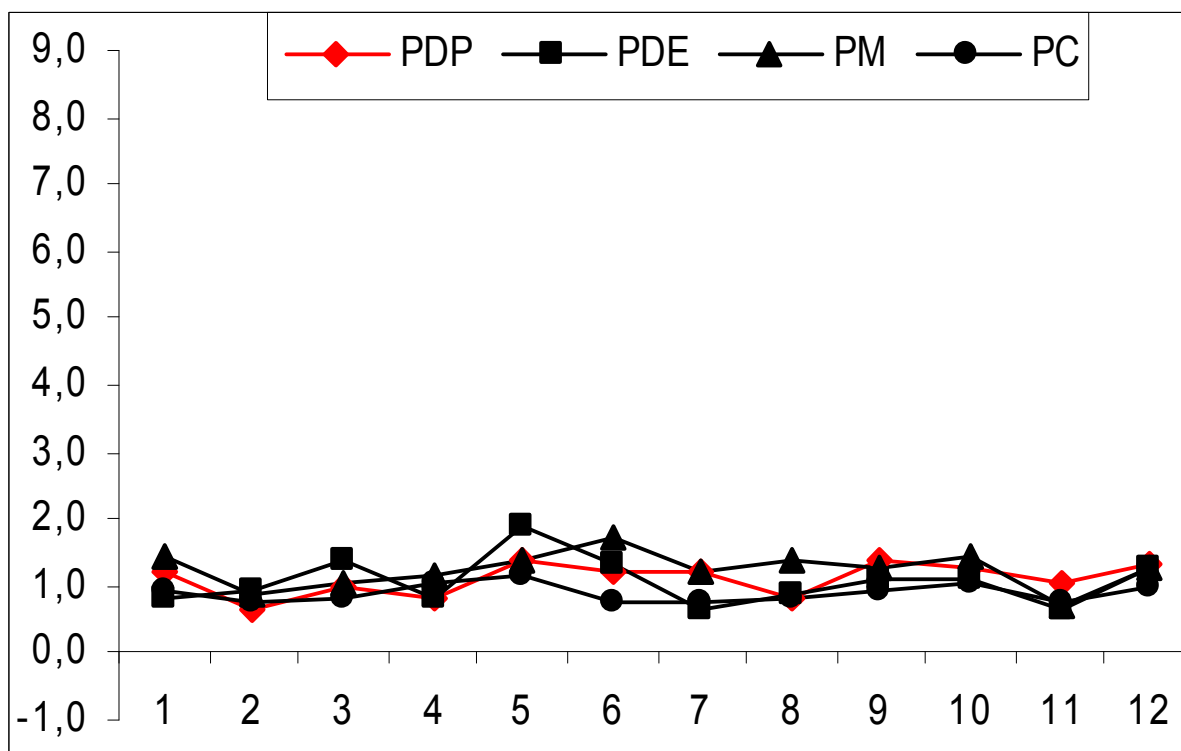
TESTE DE TUKEY PARA AS MEDIAS DE C DENTRO DE B 1

## 6.6. ANEXO G. Estoque de C e N nas frações granulométricas da MOS em função da época de amostragem e sistemas de manejo do solo

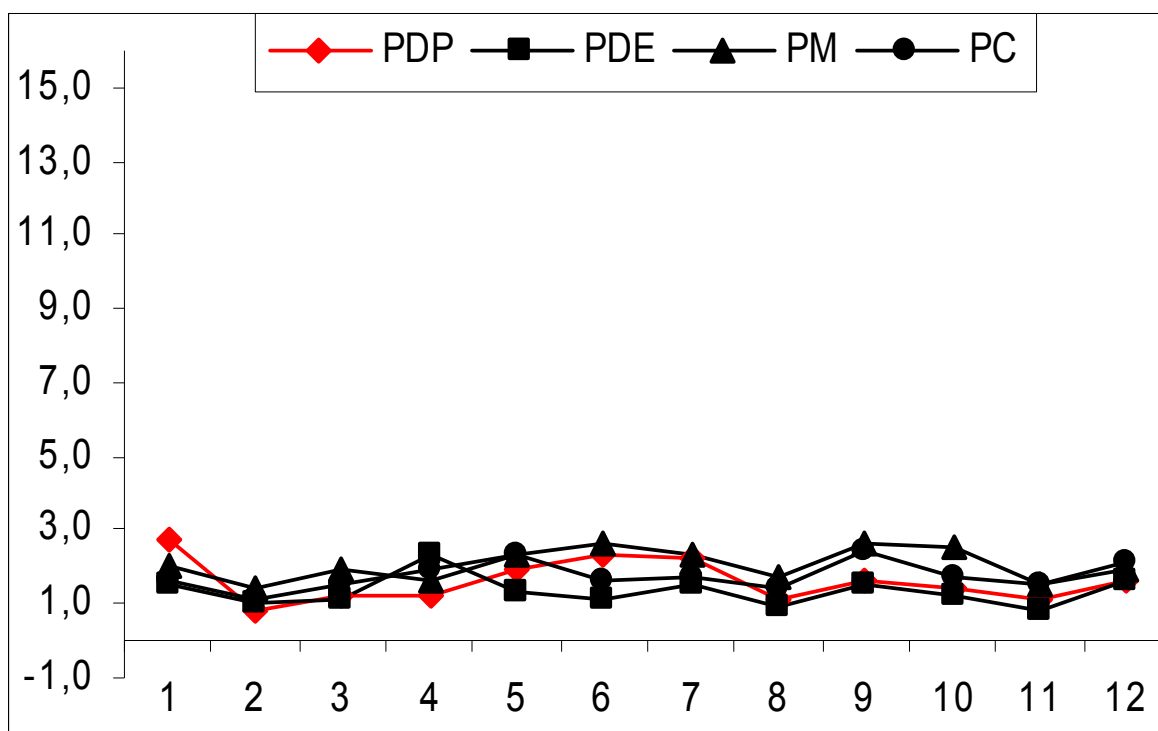
Camada	Frações	Sistemas de manejo do solo											
		PC	PM	PDE	PDP	PC	PM	PDE	PDP	PC	PM	PDE	PDP
		T1				T7				T12			
		----- Estoque de C nas frações granulométricas, Mg ha <sup>-1</sup> -----											
0-2,5	210 – 2000	0.34	0.51	0.67	0.71	0.40	0.68	0.72	1.81	0.48	0.72	1.50	1.17
	53 – 210	0.82	1.11	2.35	2.44	1.01	1.55	2.97	3.63	1.03	1.85	2.57	2.80
	20 – 53	1.05	1.13	1.54	1.63	0.88	1.08	1.45	1.64	0.96	1.12	1.48	1.80
	< 20	4.21	4.44	4.04	4.04	4.30	4.44	3.87	3.79	4.63	4.54	3.89	3.98
	Total	<b>6.42</b>	<b>7.18</b>	<b>8.60</b>	<b>8.82</b>	<b>6.59</b>	<b>7.75</b>	<b>9.00</b>	<b>10.87</b>	<b>7.11</b>	<b>8.23</b>	<b>9.44</b>	<b>9.74</b>
2,5-5,0	210 – 2000	0.31	0.75	0.29	0.43	0.39	0.66	0.36	0.76	0.55	0.83	0.87	0.74
	53 – 210	1.63	1.14	1.10	1.57	1.05	1.55	2.25	3.10	1.18	1.70	1.60	2.50
	20 – 53	0.84	1.15	1.03	1.47	0.90	1.11	1.53	1.54	1.05	1.27	1.31	1.67
	< 20	4.77	5.22	4.87	5.28	4.90	5.44	4.91	4.79	5.31	5.58	5.47	4.75
	Total	<b>7.54</b>	<b>8.26</b>	<b>7.29</b>	<b>8.74</b>	<b>7.23</b>	<b>8.75</b>	<b>9.04</b>	<b>10.20</b>	<b>8.09</b>	<b>9.38</b>	<b>9.25</b>	<b>9.66</b>
		----- Estoque de N nas frações granulométricas, Mg ha <sup>-1</sup> -----											
0-2,5	210 – 2000	0.02	0.03	0.05	0.07	0.02	0.04	0.05	0.12	0.03	0.05	0.09	0.07
	53 – 210	0.07	0.09	0.18	0.19	0.07	0.10	0.20	0.26	0.07	0.12	0.17	0.19
	20 – 53	0.07	0.08	0.10	0.10	0.05	0.07	0.09	0.11	0.06	0.07	0.10	0.12
	< 20	0.32	0.34	0.27	0.26	0.28	0.32	0.28	0.28	0.30	0.31	0.27	0.29
	Total	<b>0.48</b>	<b>0.55</b>	<b>0.60</b>	<b>0.62</b>	<b>0.43</b>	<b>0.53</b>	<b>0.62</b>	<b>0.77</b>	<b>0.46</b>	<b>0.56</b>	<b>0.63</b>	<b>0.66</b>
2,5-5,0	210 – 2000	0.02	0.05	0.03	0.04	0.02	0.04	0.03	0.05	0.03	0.05	0.06	0.05
	53 – 210	0.12	0.09	0.10	0.13	0.07	0.10	0.15	0.22	0.08	0.11	0.11	0.17
	20 – 53	0.06	0.08	0.07	0.09	0.05	0.07	0.10	0.10	0.06	0.08	0.08	0.11
	< 20	0.35	0.40	0.34	0.33	0.33	0.39	0.34	0.32	0.34	0.39	0.37	0.33
	Total	<b>0.55</b>	<b>0.63</b>	<b>0.53</b>	<b>0.58</b>	<b>0.48</b>	<b>0.59</b>	<b>0.61</b>	<b>0.69</b>	<b>0.52</b>	<b>0.63</b>	<b>0.62</b>	<b>0.66</b>



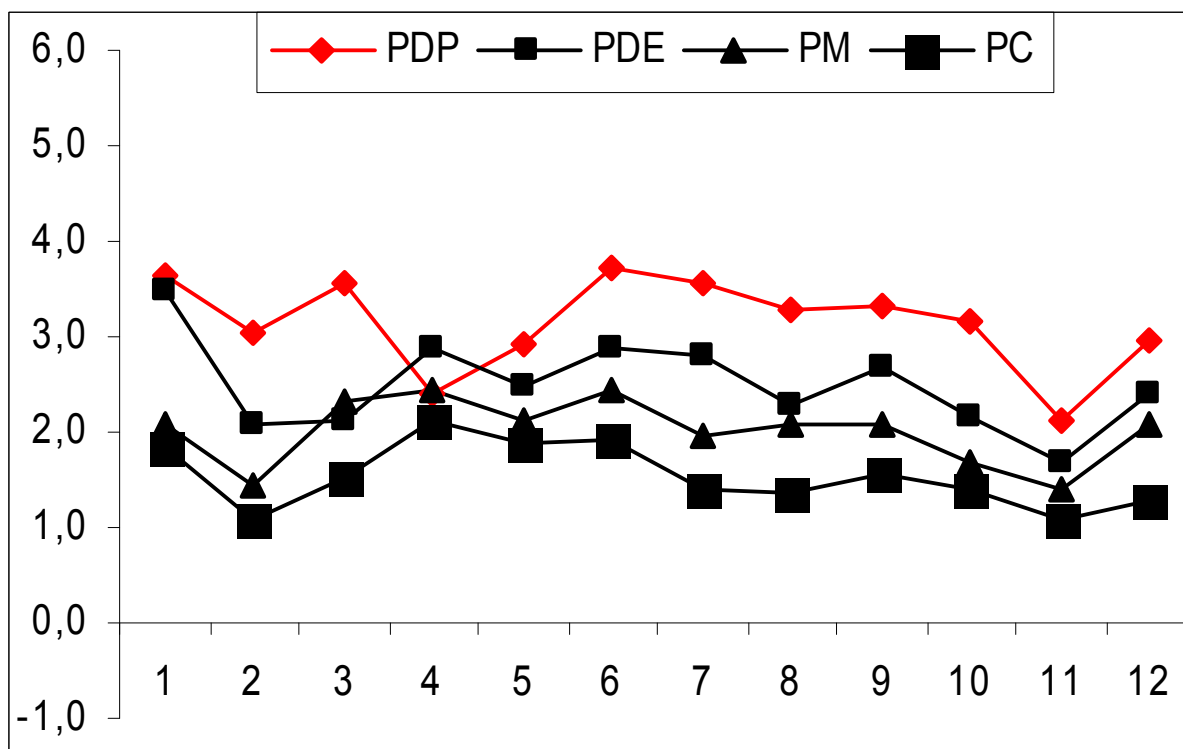
ANEXO H. Alterações no estoque de C em  $\text{Mg ha}^{-1}$  nas frações granulométricas da MOS provocadas pelos sistemas de manejo do solo em função da época de amostragem na camada de 0-2,5 cm. Na fração 210 – 2000  $\mu\text{m}$ ; E<sub>1</sub> a E<sub>12</sub> representando as datas de amostragem.



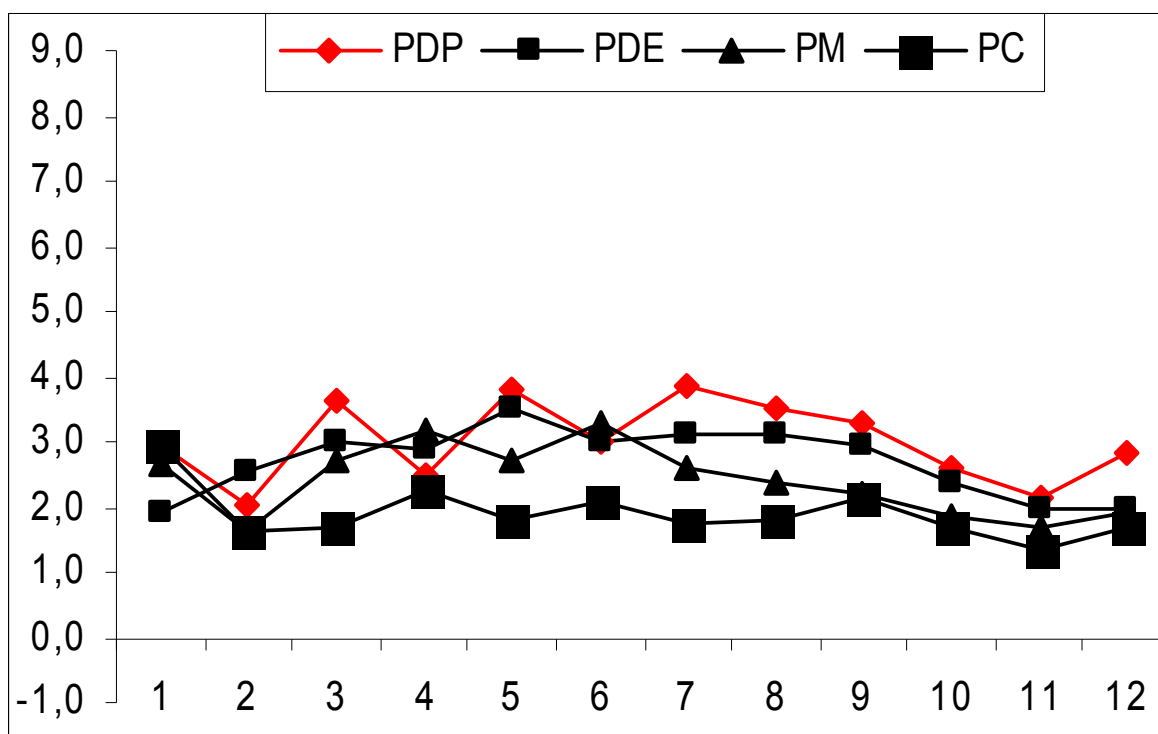
ANEXO I. Alterações no estoque de C em  $\text{Mg ha}^{-1}$  nas frações granulométricas da MOS provocadas pelos sistemas de manejo do solo em função da época de amostragem na camada de 2,5-5,0 cm fração 2000- 210  $\mu\text{m}$ . E<sub>1</sub> a E<sub>12</sub> representa os representando as datas de amostragem.



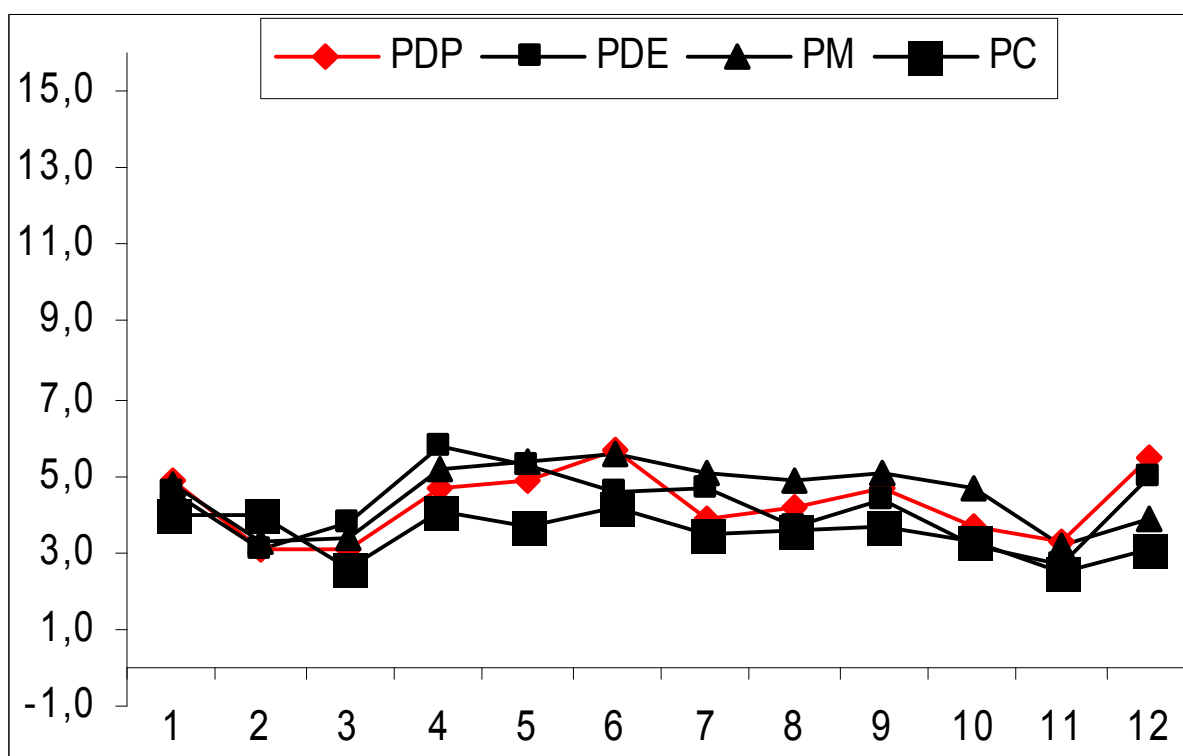
ANEXO J. Alterações no estoque de C em  $\text{Mg ha}^{-1}$  nas frações granulométricas da MOS provocadas pelos sistemas de manejo do solo em função da época de amostragem na camada de 5,0 – 10,0 cm. fração 2000 – 210  $\mu\text{m}$ . E<sub>1</sub> a E<sub>12</sub> representando as datas de amostragem.



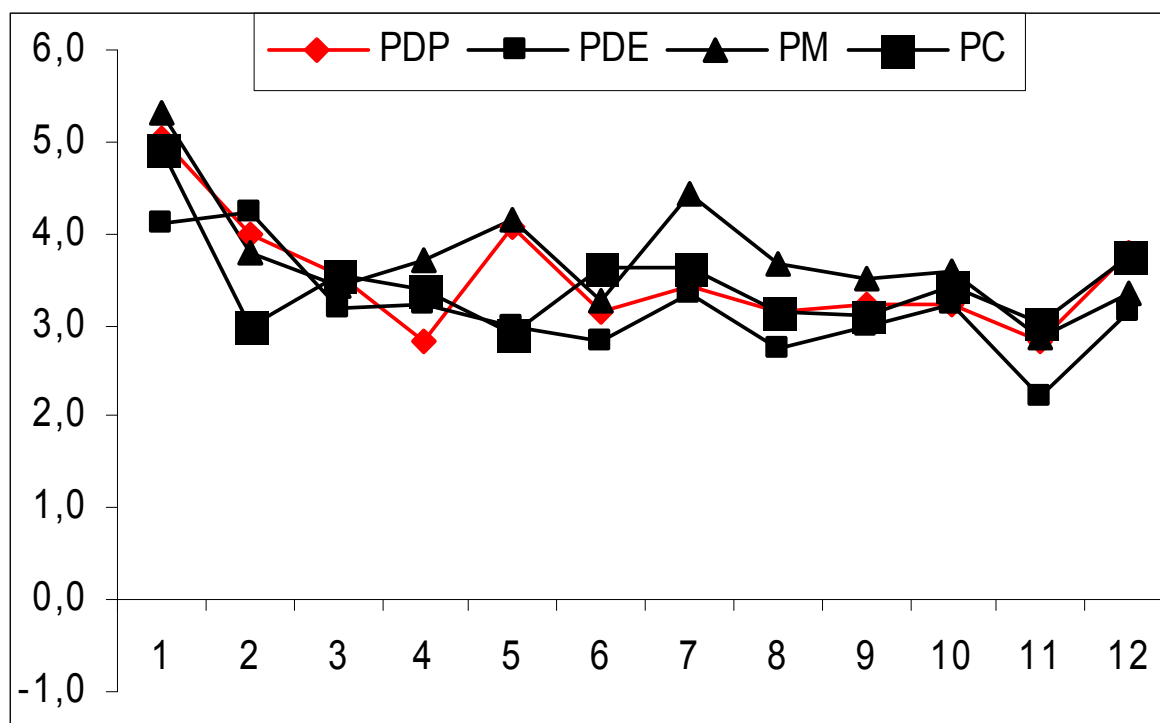
ANEXO K. Alterações no estoque de C em  $\text{Mg ha}^{-1}$  nas frações granulométricas da MOS provocadas pelos sistemas de manejo do solo em função da época de amostragem na camada de 0 - 2,5 cm fração 53 a 210  $\mu\text{m}$ . E<sub>1</sub> a E<sub>12</sub> representa as datas de amostragem.



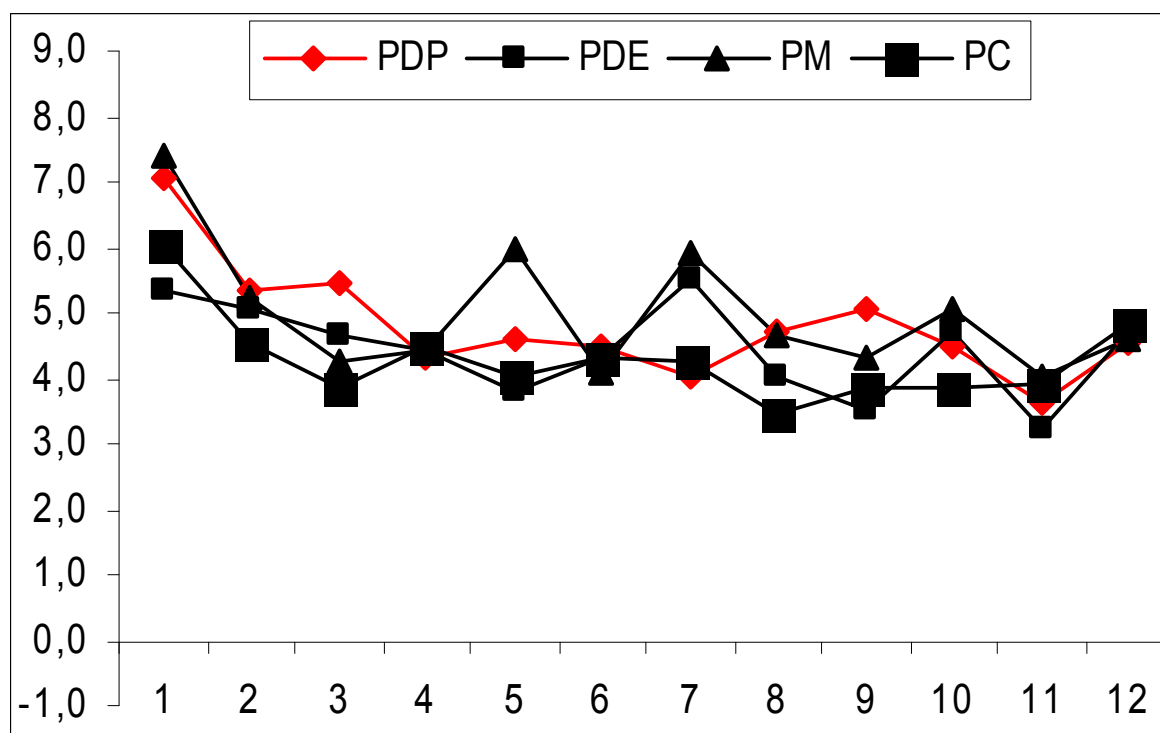
ANEXO L. Alterações no estoque de C em  $\text{Mg ha}^{-1}$  em  $\text{Mg ha}^{-1}$  nas frações granulométricas da MOS provocadas pelos sistemas de manejo do solo em função da época de amostragem na camada de 2,5-5 cm. fração 210 - 53  $\mu\text{m}$ . E<sub>1</sub> a E<sub>12</sub> representa as datas de amostragem.



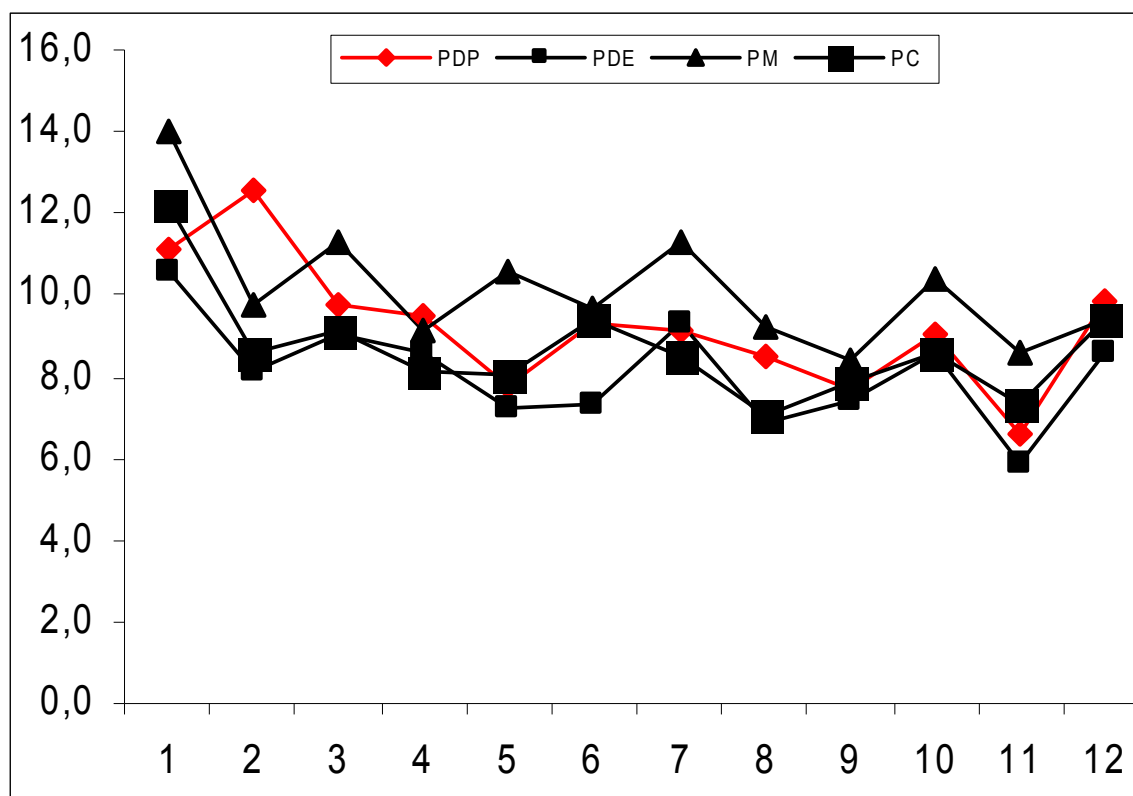
ANEXO M. Alterações no estoque de C nas frações granulométricas da MOS provocadas pelos sistemas de manejo do solo em função da época de amostragem na camada de 5,0 – 10,0 cm fração 53 -210  $\mu\text{m}$ . E<sub>1</sub> a E<sub>12</sub> representa as datas de amostragem.



ANEXO N. Alterações no estoque de C em Mg ha<sup>-1</sup> nas frações granulométricas da MOS provocadas pelos sistemas de manejo do solo em função da época de amostragem na camada de 0 – 2,5 cm. fração <53 μm E<sub>1</sub> a E<sub>12</sub> representa as datas de amostragem.



ANEXO O. Alterações no estoque de C em Mg ha<sup>-1</sup> nas frações granulométricas da MOS provocadas pelos sistemas de manejo do solo em função da época de amostragem na camada de 2,5 – 5,0 cm fração < 53 μm. E<sub>1</sub> a E<sub>12</sub> representa as datas de amostragem.



ANEXO P. Alterações no estoque de C em Mg ha<sup>-1</sup> nas frações granulométricas da MOS provocadas pelos sistemas de manejo do solo em função da época de amostragem na camada de 5 - 10 cm. fração < 53 µm. E<sub>1</sub> a E<sub>12</sub> representa as datas de amostragem.



## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

AMADO, T. J. C.; FERNANDEZ, S. B.; MIELNICZUK, J. Nitrogen availability as affected by ten years of cover crop and tillage systems in southern Brazil. **Journal Soil and Water Conservation**, v. 53, p. 268-271, 1998.

AMADO, T. J. C.; et al. Sequestro de carbono de carbono em sistemas conservacionistas na Depressão Central de Rio Grande do Sul. In: **V Reunión bienal de la red latinoamericana de agricultura conservacionista**. p.42-43, Florianópolis, 1999. 57p.

AMADO, T. J. C.; BAYER, C.; ELTZ, F. L. F.; BRUM, A. C. R.; Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 189-197, 2001.

BALESDENT, J.; CHENU, C.; BALABANE, M., Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. **Soil & Tillage Research**. 53: 215 – 230 2000.

BATJES, N.H. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. **Eur. J. Soil Sci.** 47:151-163, 1996.

BAYER, C.; BERTOL, I.; Características químicas de um cambissolo húmico afetadas por sistemas de preparo, com ênfase à matéria orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 23:687-694, 1999.

BAYER, C., **Dinâmica da material orgânica em sistemas de manejo de solos**. 1994-1995, 240 p. Tese de doutorado em Ciência do Solo – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1996.

BAYER, C.; DICK, D.P.; RIBEIRO, G. M.; SCHEUERMANN, K.K.; Carbon stocks in organic matter fractions as affected by land use and soil management, with emphasis on no-tillage effect. **Ciência Rural**, Santa Maria, v32, n.3, p,401-406, 2002.

BAYER, C. et al. Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil. **Soil & Till. Res.** 54:101-109, 2000.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; DIECKOW, J.; AMADO, T. J. C.; C and N stocks and the role of molecular recalcitrance and organomineral interaction in stabilizing soil organic matter in a subtropical Acrisol managed under no-tillage. **Geoderma**. 02481- 11 pages, 2005.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, 21:105-112,1997.

BEARE, M.H.; HENDRIX, P.F.; COLEMAN, D.C. Water-stable aggregates and organic matter fractions in conventional and no-tillage soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.58, p.777-786, 1994.

BERNOUX, M.; CARVALHO, M. C. S.; VOLKOFF, B.; CERRI, C. CO<sub>2</sub> emission from mineral soils following land-cover change in Brazil. **Global Change Biology** 7; 779-787, 2001.

BRUCE, J.P.; FROME, M.; HAITES, E.; JANZEN, H.; LAL, R. Carbon sequestration in soils. **Journal of Soil and Water Conservation**, v.54, p.382-389, 1999.

CAMBARDELLA, C.A.; ELLIOT, E.T. Carbon and nitrogen distribution in aggregates from cultivated and native grasslands soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.57, p.1071-1076, 1993.

CAMBERDELLA, C.A.; ELLIOT, E. T. Carbon an nitrogen dynamics of soil organic matter fraction from cultivated grassland soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.58, p.123-130, 1994.

CARDOSO, E.G., **Estoque de carbono, nitrogênio e dinâmica do nitrogênio mineral submetidos a uma seqüência de sistemas de manejo do solo**. 2003-2004, 111 p. Dissertação de Mestrado em Agronomia. Área de concentração em Agricultura. - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2005.

CARTER, M.R. Influence of reduced tillage e systems on organic matter, microbial biomass, macro-aggregate distribution and structural stability of the surface soil in humid climate. **Soil & Tillage Research**, v.23, p.361-372, 1992.

CERRI, C.C.; FELLER, C.; BALESSENT, J.; VICTORIA, R.; PLENECASSAGNE, A. Aplication dutrçage isotopique naturel em <sup>13</sup>C, à l'étude de la dynamique de la matière organique dans le sols. **Comptes Rendu Academie Seances Paris**, série II, t.300, v. 9, p. 423-428, 1985.

CERRI, C. C., 2005, FOZ.

CHRISTENSEN, B. T. ; Physical fractionation of soil and organic matter in primary particle size and density separates. **Advances in Soil Science**, v.20, p.2-90, 1992.

CORAZZA, E.J.; SILVA, J.E.; RESCK, D.V.S. & GOMES, A.C. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação de cerrado. **R. Bras. Ci. Solo** 23:425-432, 1999.

DEXTER, A.R. Advances in characterization of soil structure. **Soil & Tillage Research**, v.11, p.199-238, 1988.

DICK, W.A. Organic, nitrogen and phosphorus concentrations and pH profiles as affected by tillage intensity. **Soil Science Society of America Journal**, v.47, p. 102-107, 1983.

DICK, W.A.; et al. Impacts of agricultural management practices on C sequestration in forest-derived soils of the eastern Corn Belt. **Soil & Till. Res.** 47:235-344, 1998.

DIECKOW, J., BAYER, C., MARTIN-NETO, L., MIELNICZUK, J. Preparo do solo e o ciclo do carbono: preparo convencional, preparo mínimo e plantio direto. Simpósio sobre plantio direto e meio ambiente. In: Simpósio sobre PLANTIO DIRETO e MEIO AMBIENTE. 2005, Foz do Iguaçu. **Anais**. Impremart. Febrapdp e Itaipu Binacional. 38-43 pg.

DIECKOW, J., MIELNICZUK, J.; KNICKER, H.; BAYER, C.; DICK, D. P.; KÖGEL-KNABNER, I. Soil C and N stocks as affected by cropping systems and nitrogen fertilization in a southern Brazil Acrisol managed under no-tillage for 17 years. **Soil & Tillage Research**. 1- 9, 2004.

DIECKOW, J., MIELNICZUK, J.; KNICKER, H.; BAYER, C.; DICK, D. P.; KÖGEL-KNABNER, I. Carbon and nitrogen stocks in physical fractions of a subtropical Acrisol as influence by long-term no-till cropping systems and N fertilization and N stocks as affected by cropping systems and nitrogen fertilization. **Plant and Soil** 268: 319-328, 2005.

DIECKOW, J., MIELNICZUK, J.; KNICKER, H.; BAYER, C.; DICK, D. P.; KÖGEL-KNABNER, I. Composition of organic matter in a subtropical Acrisol as influence by land use, cropping and N fertilization, assessed by CPMAS<sup>13</sup> C NMR spectroscopy. **European Journal of Soil Science**, 56, 705-715, dezembro 2005.

DUXBURY, J.M.; SMITH, M.S.; DORAN, J.W. Soil organic matter as a source and sink of plant nutrients. In: COLEMAN, D.C.; OADES, J.M.; UEHARA, G. **Dynamics of soil**

**organic matter in tropical ecosystems.** Honolulu: University of Hawaii Press, NifTAL Project, 1989. p.33-67.

ELLIOT, E.T. Aggregate structure and carbon, nitrogen and phosphorus in native and cultivated soils. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 50:627-633, 1986..

ESWARAN, H.; VAN DER BERG, E.; REICH, P. Organic carbon in soils of the world. **Soil Science Society of America Journal**, v.57, p.192-194, 1993.

FLACH, K. W.; BARNWELL JR., T.O.; CROSSON, P. Impacts of agriculture on atmospheric carbon dioxide. In: PAUL, E.A.; ELLIOT, E.T.; PAUSTIAN, K.; COLE, C.V. (Ed.) **Soil organic matter in temperate agroecosystems.** Boca Raton: CRC Press, 1997. p.3-13.

FEBRAPDP. **Home page oficial da FEBRAPDP**, consulta em 14-02-2006, 15:30 hs.

FELLER, C. **Lá matière organique dans le sols tropicaux à argiles 1 :1. Recherche de compartiments organiques fonctionnels. Une approche granulométrique.** Thèse Doct. és Science, Univ. Strasbourg (ULP). 1994, 393p.

FELLER, C. ; ALBECHT, A. ; TESSIER, D. Aggregation and orgnic matter storage in kaolinitic and smectitic soils. In: CARTER, M.R.; STEWART, B.A. (Ed) **Structure and organic matter in agricultural soils.** Boca Raton: CRC Press. 1996. p. 309-359.

KERN, J.S. & JOHNSON, M.G. Conservation tillage impacts on national soil and atmospheric carbon levels. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 57:200-210, 1993.

HENIN S., DUPUIS, M. Essaidubilan de la matière organique du sol. **Annales agronomiques**, Paris, v.15, p. 17 – 29, 1945.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **Cartas climatológicas do Estado do Paraná – 1994.** Londrina: IAPAR, 1994. 49p. (IAPAR. Documento, 18).

IPARDES, **Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social**, site: [www.ipardes.gov.br](http://www.ipardes.gov.br), consulta em 26-10-2006, 13:30 hs.

IPCC. **Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reference Manual.** p.453-471, 1996.

IPCC. **Global perspective.** In: WATSON, R.T.; NOBLE, I.R.; BOLIN, B.; RAVINDRANATH, N.H.; VERARDO, D.J.; DOKKEN D.J. (Eds.) Land use, land-use change, and forestry. Cambridge: Cambridge University Press, 2000. p.25-50.

JANSSEN, B.H. A simple method for calculating decomposition and accumulation of "Young" soil organic matter. **Plant and Soil**, v.76, p.297-304, 1984.

JASTROW, J.D. Soil aggregate formation and the accrual of particulate and mineral-associated organic matter. **Soil Biol. Biochem** 28:665-676. 1996.

JENKINSON, D.S. & LADD, J.N. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. In: E. A. Paul and J.N. Ladd (Editors). **Soil Biochemistry**. Vol.5, Marcel Dekker, New York, p. 415-471, 1981.

JENKINSON, D.S.; RAYNER, J.H. The turnover of soil organic matter in some of the Rothamsted classical experiments. **Journal of Soil Science**, v.123, p.298-305, 1977.

KERN, J. S. JOHNSON, M. G.; Conservation tillage impacts on national soil and atmospheric carbon levels. **Soil Science Society of America Journal**, v. 57, p.200-210, 1993.

LAL, R. No-tillage effects on soil properties under different crops in Western Nigeria. **Soil Science Society of America Journal**, v.40, p. 762-768, 1976.

LAL, R. Long-term tillage and maize monoculture effects on a tropical Alfisol in Western Nigeria. II. Soil chemical properties. **Soil & Till. Res.** 42:161-174, 1997.

LAL, R. Soil management and restoration for C sequestration to mitigate the accelerated greenhouse effect. **Progress in Env. Sci.** 4:307-326, 1999.

LAL, R. Soil Carbon sequestration to mitigate climate change. **Geoderma**, 2004, 123: 1-22.

LASHOF, D.; HARE, B. The role of the biotic carbon stocks in stabilizing greenhouse gas concentrations at safe levels. **Environmental Science and Policy**, v.2, p.101-109, 1999.

OADES, J.M.; Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. **Plant and Soil**, v. 76, p.19-337, 1984.

OADES, J.M.; WATERS, A.G. Aggregate hierarchy in soils. **Australian Journal of Soil Science**, v.29, p.815-828, 1991.

PAVAN, M. A.; BINGHAM, F. T.; PRATT, P. F.; **Chemical and mineralogical characteristics of selected acid soils of the State of Paraná Brazil**. Turialba, v. 35, p. 131-139, 1985.

PARTON, W.J. ET AL. Analysis of factors controlling soil organic matter levels in Great Plains grasslands. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 51:1173-1179. 1987.

PAVEI, M.A., **Decomposição de resíduos culturais e emissão de gases do efeito estufa em sistemas de manejo do solo em Ponta Grossa**. 2003 - 2004, 114 p. Dissertação de Mestrado em Ecologia de Agroecossistemas – Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2005.

PAUSTIAN, K., SIX, J., ELLIOT, E.T., HUNT, H.W., Management options for reducing CO<sub>2</sub> emissions from agricultural soils. **Biogeochemistry** 48, 147-163. 2000.

REICOSKY, D.C. et al Soil organic matter changes resulting from tillage and biomass production. **J. Soil Water Cons.** 50:253-261, 1995.

RESCK, D. V. S., Agricultural intensification systems and their impotential acidityt on soil and water quality in the Cerrados of Brazil. In: LAL, R. (Ed). **Soil quality and agricultural sustainability**. Chelsea: Ann Arbor Press, 1998. p.288-300.

SÁ, J. C. M. **Manejo da fertilidade do solo no sistema de plantio diteto**. Castro: Fundação ABC, p. 96, 1993.

SÁ, J. C. M.; CERRI, C.C.; DICK, W. A.; LAL, R.; VENSKE FILHO, S. P.; PICCOLO, M.C.; FEIGEL, B.E. Carbon sequestration in plowed and no-tillage chronosequence in a brazilian oxisol. In: STOTT, D.E.; MOHTAR, R.; STEINHARDT, G. (Eds) **The global farm – Selected papers from the 10<sup>th</sup> International Soil Conservation Organization Meeting**. USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory, May 24-29, 1999. West Lafayette, Indiana, USA: Purdue University,. 2001a. p.466-471.

SÁ, J.C.M.; CERRI, C.C.; LAL, R.; DICK, W.A.; VENSKE FILHO, S.P.; PICCOLO, M. & FEIGL, B., Organic matter dynamics and sequestration rates for a tillage cronosequence in a Brazilian Oxisol. **Soil Sci. Soc. Am. J.** v.65:1486-1499, 2001b.

SÁ, J. C. M., **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas de manejo convencional e plantio direto.** Tese de Doutorado, 2001c, 141p Esalq, Piracicaba.

SÁ, J. C. M., CERRI, C. C., PICCOLO, M. C., FEIGL, B. E., SANTOS, J. B., FORNAZARI, A., SÁ, M. F. M., SEGUY, L., BOUZINAC, S., VENZKE-FILHO, S. P., PAULETI, V., NETO, M. S. O plantio direto como base do sistema de produção visando o seqüestro de carbono. **Revista Plantio direto**, Passo Fundo-RS, p 45 - 61, 2004.

SÁ, J.C.M.; CERRI, C.C.; LAL, R.; DICK, W.A.; VENSKE FILHO, S.P.; PICCOLO, M. & FEIGL, B., Organic matter dynamics and sequestration rates for a tillage cronosequence in a Brazilian Oxisol. **Soil Sci. Soc. Am. J.** v.65:1486-1499, 2001.

SÁ, J. C. M.; Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto. In: SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S.; LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.G.; FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A.E.; CARVALHO, J. G. (Ed.) **Soil fertility , soil biology, and plant nutrition interrelationships.** Lavras: UFLA, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1999. p.267-320.

SIDIRAS, N.; PAVAN, M. A. Influência do sistema de manejo no seu nível de fertilidade. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.9, p.249-254, 1985.

SISTI, C. P. J.; SANTOS, H. P. DOS, KOHHANN, R.; ALVES, B. J. R. B.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M., Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. **Soil & Tillage Research.** 76 (2004) 39-58.

SIX, J., CONANT, R.T., PAUL, E.A. & PAUSTIAN, K., **Stabilization mechanisms of protected versus unprotected soil organic matter: implications for C-saturation of soils.** Plant and Soil. Plant and Soil, 241:155-176, 2002.

SIX, J., E.T. ELLIOTT, AND K. PAUSTIAN. Aggregate and soil organic matter dynamics under conventional and no-tillage systems. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 63:1350-1358. 1999.

SIX, J., PAUSTIAN, K., ELLIOTT, E. T., COMBRINK, C., Soil structure and organic matter: I. Distribution of aggregate-size classes and aggregate-associated carbon. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 64:681-689. 2000b.

SIX, J., SCHULTZ, P.A., JASTROW, J.D., MERCKX, R., Recycling of sodium polytungstate used in soil organic matter studies. **Soil Biol. Biochem.** 31:1193-1196. 1999.

TISDALL, J.M. & OADES, J.M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. **J. Soil Sci.** 33:141-163, 1982.

VAN VEEN, J.A.; PAUL, E.A. Organic carbon dynamics in grassland soil. I. Background information and computer simulation. **Canadian Journal of Soil Science**, v.61, p.185-201, 1981.

VENSKE FILHO, S. P., **Biomassa microbiana do solo sob sistema de plantio na região de campos gerais, Tibagi, PR.** 2001-2002, 99 p. Tese de Doutorado em Agronomia. Área de concentração: Microbiologia Agrícola. – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2003.