

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

**AGREGAÇÃO E PROTEÇÃO FÍSICA DA MATÉRIA ORGÂNICA EM DOIS
SOLOS DO SUL DO BRASIL**

**Paulo Cesar Conceição
(Tese)**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

**AGREGAÇÃO E PROTEÇÃO FÍSICA DA MATÉRIA ORGÂNICA EM DOIS
SOLOS DO SUL DO BRASIL**

Paulo Cesar Conceição
Engenheiro Agrônomo (UFSM)
Mestre em Agronomia (UFSM)

Tese apresentada como
um dos requisitos à obtenção do
grau de Doutor em Ciência do Solo

Porto Alegre (RS), Brasil
Março, 2006

CIP - CATALOGAÇÃO INTERNACIONAL NA PUBLICAÇÃO

C743a Conceição, Paulo Cesar
Agregação e proteção da matéria orgânica em dois solos do sul
do Brasil / Paulo César Conceição. — Porto Alegre : P.C.
Conceição, 2006.

xiv, 138f.; il.

Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do
Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande
do Sul, Porto Alegre, 2006.

1. Solo : Matéria orgânica : Proteção física : Agregação : Avalia-
ção. I. Título.

CDD: 631.4

CDU: 631.4

Catálogo na publicação:
Biblioteca Setorial da Faculdade de Agronomia da UFRGS

PAULO CESAR CONCEIÇÃO
Engenheiro Agrônomo - UFSM
Mestre em Agronomia - UFSM

TESE

Submetida como parte dos requisitos
para obtenção do Grau de

DOUTOR EM CIÊNCIA DO SOLO

Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo

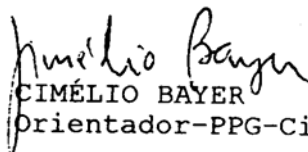
Faculdade de Agronomia

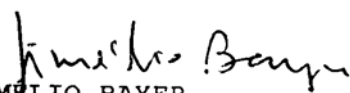
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Porto Alegre (RS), Brasil

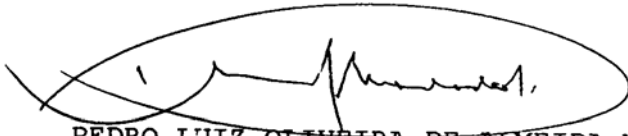
Aprovado em: 17.03.2006
Pela Banca Examinadora


Homologado em: 25.07.2006
Por



CIMÉLIO BAYER
Orientador-PPG-Ciência do Solo


CIMÉLIO BAYER
Coordenador do
Programa de Pós-Graduação em
Ciência do Solo


JOÃO MIELNICZUK
PPG-Ciência do Solo


PEDRO L'IZ OLIVEIRA DE ALMEIDA MACHADO
EMBRAPA Arroz e Feijão


CLÊNIO NAILTO PILLON
EMBRAPA Clima Temperado


GILMAR A. B. MARODIN
Diretor da Faculdade
de Agronomia

Dedico esse trabalho
aos meus pais que sempre
incentivaram à busca
do crescimento pessoal.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pai Criador, pelas infinitas possibilidades de desenvolvimento concedidas a cada criatura.

Ao professor Cimélio Bayer, pela orientação segura, disponibilidade constante e pela sua extraordinária pessoa.

Ao professor João Mielniczuk pelo exemplo contínuo de profissionalismo, pelo seu brilhantismo e persistência na implantação e condução dos experimentos sem os quais este trabalho não teria sido possível.

Ao professor Jeferson Dieckow, pelo apoio na execução das atividades e pelas idéias compartilhadas.

À equipe técnica do CAAF-COTRISA pela cedência da área experimental e auxílio nas atividades de campo.

À CAPES pela concessão da bolsa de doutorado.

Ao PPG Ciência do Solo/ UFRGS e seus professores pela oportunidade de aperfeiçoamento profissional.

Ao secretário do PPG Ciência do Solo, Jader Amaro, pela solicitude e disponibilidade em todos os momentos.

A todos os colegas de Pós-graduação que conviveram conosco durante este período, em especial aos colegas do setor de manejo do solo, Adriana Kleinschmitt, Aurélio Pavinatto, Carlos Leguizamón, Elisandra Oliveira, Fabiano De Bona, Fabíola Lopes, Falberni Costa, Frederico Vieira, Gustavo Tornquist, Josiléia Zanatta, Juliana Gomes, Júlio Salton, Madalena Boeni, Michely Tomazi e Nilvânia Mello.

Aos ex-colegas de apartamento, Clodoaldo Santos, Antônio Nolla, Itamar Nava, Edir Fonseca e Luiz de França Neto pela convivência e parceria.

Aos funcionários do Departamento de Solos, Luiz Antonio da Silveira (Tonho), Adão dos Santos e José da Silva (Zé) pelo auxílio nas atividades.

A Carol pelo companheirismo, amor e momentos vivenciados em conjunto.

À minha família e meus amigos pelo apoio em todos os momentos e compreensão na ausência.

A todos que de alguma forma contribuíram para que este momento se tornasse possível.

AGREGAÇÃO E PROTEÇÃO FÍSICA DA MATÉRIA ORGÂNICA EM DOIS SOLOS DO SUL DO BRASIL^{1/}

Autor: Paulo Cesar Conceição

Orientador: Prof. Cimélio Bayer

RESUMO

A proteção física é um importante mecanismo de estabilização da matéria orgânica (MO) em solos subtropicais. Desenvolveu-se quatro estudos sobre essa temática em solos com textura e mineralogia distintas, sendo os estudos 1 e 2 relacionados à avaliação de produtos (iodeto-Nal e politungstato de sódio-PTS) e de densidades de solução (1,8 a 2,2 g cm⁻³) sobre o rendimento das frações leve livre (FLL), leve oclusa (FLO) e pesada (FP) da MO do solo. Por sua vez, os estudos 3 e 4 objetivaram avaliar o efeito de sistemas de manejo de solo na agregação e acúmulo de C orgânico no solo, bem como verificar a importância da oclusão no acúmulo de C nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm de um Argissolo Vermelho (220 g kg⁻¹ argila) e de um Latossolo Vermelho (680 g kg⁻¹ argila), há 18 e 25 anos, respectivamente, sob plantio direto (PD). Do ponto de vista metodológico verificou-se que na densidade de 1,8 g cm⁻³, o uso da solução de PTS resultou num aumento de 176 a 726% no C quantificado como FLO em comparação ao Nal, enquanto não foi verificado efeito significativo no rendimento do C na FLL. O aumento da densidade da solução de PTS de 1,8 para 2,0 g cm⁻³ aumentou de 30 a 99% o rendimento de C na FLO, não tendo sido verificado vantagens na recuperação de C com o uso da solução de 2,2 g cm⁻³. O sistema PD resultou num aumento dos estoques de carbono (C) orgânico e na estabilidade de agregados em comparação ao solo em preparo convencional (PC), sendo este efeito mais expressivo na camada superficial do solo (0-5 cm). Os estoques crescentes de C nas frações (FLL>FLO>FP) em ambos os solos indicam o efeito aditivo dos mecanismos de recalcitrância molecular, oclusão e proteção coloidal na estabilidade da MO do solo. O sistema PD não resultou em aumento no C da FLL em comparação ao solo em PC, indicando que as alterações no microclima, normalmente verificadas sob este sistema de manejo conservacionista, não foram responsáveis pelo acúmulo de C orgânico nos solos avaliados. Por outro lado, o PD promoveu aumento no C da FLO, evidenciando-se que a oclusão foi responsável por aproximadamente 30% do acúmulo de C orgânico nos solos sob este sistema conservacionista de manejo, em comparação ao solo em PC. A solução de PTS 2,0 g cm⁻³ é a mais adequada para os solos estudados em avaliações da proteção física da MO do solo, mecanismo o qual contribui expressivamente para o acúmulo de C orgânico em camadas superficiais de solos em plantio direto no Sul do Brasil.

^{1/} Tese de Doutorado em Ciência do Solo. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. (139 p.) Março, 2006.

SOIL AGGREGATES AND PHYSICAL PROTECTION OF ORGANIC MATTER IN TWO SOILS IN SOUTHERN BRAZIL^{1/}

Author: Paulo Cesar Conceição

Adviser: Prof. Cimélio Bayer

ABSTRACT

The physical protection is a important mechanism of soil organic matter (SOM) stabilization in tropical and subtropical soils. Four studies focusing this subject were developed using soils with different texture and mineralogy. Two studies evaluated products (sodium iodide-Nal and sodium politungstate -SPT) and density of solutions (1.8 to 2.2 g cm⁻³) on C recovery in the free light fraction (FLF), occluded light fraction (OLF), and heavy fraction (HF) of the SOM. Other two studies evaluated the effect of the no-tillage (NT) on soil aggregates stability and on organic C accumulation, as well as the importance of the mechanism of occlusion on the C accumulation in the soil profile (0-5, 5-10 and 10-20 cm) of a sandy clay loam Paleudult (220 g kg⁻¹ clay) and of a Rhodic Hapludox (680 g kg⁻¹ clay). The use of 1.8 g cm⁻³ of solutions of SPT had a C recovery in the OLF 176 to 726% higher than using Nal solution, while no significant effect was verified on the C recovery in the FLF. The increase of density of SPT solution from 1,8 to 2,0 g cm⁻³ recovered from 30 to 99% more C in the OLF, while no advantages were verified on C recovery using density of 2.2 g cm⁻³. NT soil had higher aggregate stability and the stocks of organic C in comparison to conventional tillage (CT) soil, effects that were more pronounced on the surface soil layer (0-5 cm). The increase of C stocks in the fractions (FLF>OLF>HF) in both soils indicated an additive effect of the mechanisms of molecular recalcitrance, occlusion, and colloidal protection in the stability of the SOM. C stock in the FLF not increased in NT soils in comparison with CT soils, indicating that the microclimate alterations usually verified under this conservation management system were not responsible for the C accumulation in the evaluated soils. On the other hand, NT increases the C in the OLF, evidencing the occlusion as a mechanism responsible for approximately 30% of the C accumulation in the NT soils, in comparison with CT soils. The solution of SPT 2,0 g cm⁻³ was the more appropriate for using in studies of physical protection of the SOM in the evaluated soils, mechanism that have an important role to the C accumulation in the surface soil layers of Southern Brazilian no-tilled soils.

^{1/} Doctoral thesis in Soil Science. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. (139 p.) March, 2006.

SUMÁRIO

Página

1. INTRODUÇÃO GERAL.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1 Carbono orgânico e agregação do solo.....	4
2.2 Mecanismos de proteção da matéria orgânica.....	8
2.3 Fracionamento da matéria orgânica.....	9
2.3.1 Fracionamento físico granulométrico.....	10
2.3.2 Fracionamento físico densimétrico.....	11
2.3.2.1 Influência da metodologia nos resultados de proteção física da MOS.....	13
3. HIPÓTESES E OBJETIVOS GERAIS.....	19
3.1 Hipóteses.....	19
3.2 Objetivos.....	19
4. ESTUDO I: Rendimento da fração leve da matéria orgânica em fracionamento densimétrico com iodeto e politungstato de sódio.....	20
4.1 Introdução.....	20
4.2 Material e métodos.....	22
4.3 Resultados e discussão.....	24
4.4 Conclusões.....	29
5. ESTUDO II: Fracionamento densimétrico com iodeto e politungstato de sódio em estudos de proteção física da matéria orgânica do solo.....	30
5.1 Introdução.....	30
5.2 Material e métodos.....	32
5.3 Resultados e discussão.....	35
5.3.1 Concentração de C na FLL, na FLO e na fração C-areia.....	35
5.3.2 Diferenças no estoque de C nas frações entre os sistemas de uso e manejo do solo.....	39
5.4 Conclusões.....	43
6. ESTUDO III: Proteção física da matéria orgânica em um Argissolo Vermelho distrófico na região subtropical brasileira.....	44
6.1 Introdução.....	44
6.2 Material e métodos.....	45
6.2.1 Área experimental.....	45
6.2.2 Amostragem do solo.....	46
6.2.3 Análises laboratoriais.....	47
6.2.3.1 Carbono orgânico do solo.....	47
6.2.3.1.1 Cálculo do estoque de carbono.....	47
6.2.3.1.2 Estabilidade dos agregados de solo.....	49

6.2.3.3 Fracionamento físico da MOS.....	50
6.2.3.3.1 Fracionamento granulométrico.....	51
6.2.3.3.2 Fracionamento densimétrico.....	51
6.2.4 Análise estatística.....	53
6.3 Resultados e discussão.....	53
6.3.1 Carbono orgânico do solo.....	53
6.3.2 Agregação do solo.....	55
6.3.3 Fracionamento físico da MOS.....	62
6.3.3.1 Fracionamento granulométrico.....	62
6.3.3.2 Fracionamento densimétrico.....	65
6.3.3.2.1 Magnitude dos mecanismos de proteção da MOS.....	69
6.3.3.2.2 Variação no estoque de C nas frações entre os sistemas de culturas.....	71
6.3.3.2.3 Variação no estoque de C nas frações entre os sistemas de preparo do solo.....	73
6.4 Conclusões.....	75
7. ESTUDO IV: Proteção física da matéria orgânica em um Latossolo Vermelho argiloso na região subtropical brasileira.....	76
7.1 Introdução.....	76
7.2 Material e métodos.....	77
7.2.1 Área experimental.....	77
7.2.2 Amostragem do solo.....	78
7.2.3 Determinações.....	79
7.2.4 Análise estatística.....	79
7.3 Resultados e discussão.....	79
7.3.1 Carbono orgânico do solo.....	79
7.3.2 Agregação do solo.....	80
7.3.3 Fracionamento físico da MOS.....	85
7.3.3.1 Fracionamento granulométrico.....	85
7.3.3.2 Fracionamento densimétrico.....	86
7.4 Conclusões.....	89
8. DISCUSSÃO GERAL.....	90
9. CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS FUTURAS.....	101
10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	103
11. APÊNDICES.....	114
12. RESUMO BIOGRÁFICO.....	139

RELAÇÃO DE TABELAS

Página

1. Proporção da fração leve livre (FLL) e leve oclusa (FLO) relativa ao carbono orgânico total (COT) e relação entre as duas frações densimétricas (FLO/FLL) utilizando iodeto de sódio (NaI) e politungstato de sódio (PTS) em diferentes densidades e granulometria inicial da amostra.....	15
2. Características gerais dos solos.....	22
3. Efeito da solução de Iodeto de Sódio (NaI) e Politungstato de Sódio (PTS) e da alteração da densidade da solução de PTS na recuperação de carbono nas frações leve (FL), fração particulada residual de granulometria tamanho areia (C-areia) e pesada (FP) e, concentração de óxidos de ferro na FL, na camada de 0 a 5 cm.....	25
4. Recuperação de C da Fração leve livre (FLL), leve oclusa (FLO), fração particulada residual de granulometria tamanho areia (C-areia) e da fração pesada (FP), para sistemas de uso e manejo do solo em um Argissolo Vermelho subtropical e um Latossolo Vermelho tropical, obtidas com o uso de iodeto de sódio (NaI) e politungstato de sódio (PTS) em diferentes densidades.....	36
5. Estoque de C na Fração leve livre (FLL), leve oclusa (FLO), fração particulada residual de granulometria tamanho areia (C-areia), pesada (FP) e no solo integral (COT) e, relação da variação das frações com a variação do COT em dois sistemas de preparo, duas densidades e dois produtos em um Argissolo Vermelho subtropical e um Latossolo Vermelho tropical.....	40
6. Densidade e massa do solo nas três camadas para os tratamentos amostrados em um Argissolo Vermelho.....	48
7. Estoque de carbono orgânico total (COT) em um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo.....	55
8. Diâmetro médio ponderado seco (DMPs) e úmido (DMPu) dos agregados de solo e índice de estabilidade de agregados (IEA) em um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo.....	61
9. Estoque de carbono orgânico particulado (COP), de C associado aos minerais (CAM) e relação entre o COP e o carbono orgânico total (COT) nas três camadas de um Argissolo Vermelho subtropical sob diferentes sistemas de manejo.....	64
10. Estoque de carbono nas frações leve livre (FLL) leve oclusa (FLO) e na fração pesada (FP) da matéria orgânica e, relação de cada fração com o carbono orgânico total (COT) para as camadas amostradas de um Argissolo Vermelho.....	68

11. Variação no estoque de C (Δ) na fração leve livre (FLL), leve oclusa (FLO), pesada (FP) e no solo integral (COT) entre os sistemas de cultura dentro de cada sistema de preparo e relação da variação das frações com a variação do COT para um Argissolo subtropical.....	72
12. Variação no estoque de C (Δ) na fração leve livre (FLL), leve oclusa (FLO), pesada (FP) e no solo integral (COT) entre os sistemas de preparo dentro de cada sistema de cultura e relação da variação das frações com a variação do COT para um Argissolo Vermelho.....	73
13. Seqüência de culturas utilizadas ao longo da condução do experimento em um Latossolo Vermelho na região subtropical do Brasil (1979-2004).....	78
14. Estoque de carbono orgânico total (COT) em um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo.....	80
15. Diâmetro médio ponderado seco (DMPs) e úmido (DMPu) dos agregados de solo e índice de estabilidade de agregados (IEA) em um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo.....	84
16. Estoque de carbono orgânico particulado (COP), de C associado aos minerais (CAM) e relação entre o COP e o carbono orgânico total (COT) do solo nas camadas de solo amostradas de um Latossolo Vermelho.....	86
17. Estoque de carbono nas frações leve livre (FLL) leve oclusa (FLO) e na fração pesada (FP) da matéria orgânica e, relação de cada fração com o carbono orgânico total (COT) nas camadas de solo amostradas de um Latossolo Vermelho.....	88
18. Estoque de C da fração leve (FL), do carbono orgânico particulado (COP) e da diferença entre ambos (COP<53 μ m), relação entre as frações e o carbono orgânico total (COT) e entre o COP<53 μ m e o C da FL de um Argissolo Vermelho e de um Latossolo Vermelho.....	96
19. Estoque de C das frações leve livre (FLL), leve oclusa (FLO), pesada (FP) e do carbono orgânico total (COT), variação do estoque das frações e do COT (Δ), variação do estoque entre as frações relativa à variação do estoque de COT (Δ fração/ Δ COT) e proporção de C nas frações relativo ao COT (fração/COT) de um Argissolo Vermelho e de um Latossolo Vermelho nas camadas de 0-5 e 0-20 cm.....	98

RELAÇÃO DE FIGURAS

Página

1. Esquema simplificado do fracionamento físico densimétrico para separação da fração leve (FL), fração pesada (FP) e da fração particulada residual de granulometria tamanho areia (C-areia)..... 23
2. Visualização do aspecto dos filtros da fração leve (FL) (a) e do material retido na fração C-areia (b) do Argissolo de Eldorado do Sul e do Latossolo de Dourados..... 26
3. Detalhe do material recuperado na fração areia após a extração da fração leve da MOS do Argissolo de Eldorado do Sul (a) e do Latossolo de Dourados (b)..... 27
4. Esquema simplificado do fracionamento físico densimétrico para separação da fração leve livre (FLL), leve oclusa (FLO), fração pesada (FP) e a fração particulada residual de granulometria tamanho areia (C-areia)..... 34
5. Esquema simplificado do fracionamento físico densimétrico da matéria orgânica do solo com politungstato de sódio (PTS) separando a fração leve livre (FLL), leve oclusa (FLO) e a fração pesada (FP) da MOS..... 52
6. Teor de carbono orgânico nas camadas de um Argissolo submetido a sistemas de manejo durante 18 anos. Barras indicam valor para DMS 5%. PC= preparo convencional, PD= plantio direto, CN= campo nativo, A=aveia, M=milho, V= vica e C=caupi..... 54
7. Distribuição de agregados de solo estáveis em água, por classe de diâmetro de agregados, nos sistemas de manejo. Médias seguidas de mesma letra nas classes de diâmetro, em cada profundidade, comparam sistemas de preparo dentro de um mesmo sistema de culturas não diferindo entre si pelo teste de Tukey a 5%. PC= preparo convencional, PD= plantio direto, CN= campo nativo, A=aveia, M=milho, V= vica e C=caupi..... 56
8. Percentagem de agregados de solo > 2 mm estáveis em água, em três camadas de um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo. PC= preparo convencional, PD= plantio direto, CN= campo nativo, A=aveia, M=milho, V= vica e C=caupi. Médias seguidas de mesma letra em cada profundidade comparam sistemas de preparo dentro de um mesmo sistema de culturas (minúsculas) e sistemas de cultura dentro de sistemas de preparo (maiúsculas), não diferindo entre si pelo teste de Tukey a 5%. PC= preparo convencional, PD= plantio direto, CN= campo nativo, A=aveia, M=milho, V= vica e C=caupi..... 58
9. Percentagem de macroagregados de solo estáveis em água, para as três camadas, nos sistemas de manejo. Médias seguidas de mesma letra em cada profundidade comparam sistemas de preparo dentro de

- um mesmo sistema de culturas (minúsculas) e sistemas de cultura dentro de sistemas de preparo (maiúsculas), não diferindo entre si pelo teste de Tukey a 5%. PC= preparo convencional, PD= plantio direto, CN= campo nativo, A=aveia, M=milho, V= vica e C=caupi..... 60
10. Relação entre o carbono orgânico do solo e o diâmetro médio ponderado (DMP) úmido para as três camadas e cinco sistemas de manejo..... 62
11. Concentração de carbono (C) na fração leve livre (FLL) e na fração leve oclusa (FLO) para as camadas de 0-5 (a), 5-10 (b) e 10-20 cm (c) de um Argissolo Vermelho subtropical. Para cada fração, letras minúsculas comparam sistemas de preparo dentro de cada sistema de culturas e maiúsculas comparam sistemas de cultura dentro de cada sistema de preparo, não diferindo pelo teste de Tukey a 5%. PC= preparo convencional, PD= plantio direto, CN= campo nativo, A=aveia, M=milho, V= vica e C=caupi..... 66
12. Relação entre a concentração de C na fração leve oclusa (FLO) e o diâmetro médio ponderado úmido (DMP) para três camadas de um Argissolo Vermelho subtropical. CN= campo nativo da camada de 0-5 cm, não incluído na correlação..... 67
13. Distribuição de agregados de solo estáveis em água, por classe de diâmetro de agregados, na camada de 0-5 (a), 5-10 (b) e 10-20 cm (c) de um Latossolo Vermelho. Médias seguidas de mesma letra nas classes de diâmetro, em cada profundidade, comparam sistemas de preparo dentro de um mesmo sistema de culturas não diferindo entre si pelo teste de Tukey a 5%. PC= preparo convencional, PD= plantio direto..... 81
14. Percentagem de macroagregados de solo estáveis em água, em três camadas de um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo. PC= Preparo convencional, PD= Plantio direto. Médias seguidas de mesma letra dentro de cada profundidade não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%..... 83
15. Concentração de C nas frações leve livre (FLL) e leve oclusa (FLO) em três camadas de um Latossolo Vermelho sob plantio direto (PD) e preparo convencional do solo (PC). Médias de C da FLO seguidas de mesma letra em cada profundidade não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. Para o C da FLL não houve diferenças significativas entre os sistemas de preparo do solo em todas as camadas..... 87
16. Correlações entre o rendimento de carbono (C) obtido com as soluções de iodeto de sódio ($\text{NaI } 1,8 \text{ g cm}^{-3}$) e politungstato de sódio ($\text{PTS } 2,0 \text{ g cm}^{-3}$), nas frações leve livre (FLL) e leve oclusa (FLO) da MOS de um Argissolo Vermelho manejado sob plantio direto e preparo convencional do solo, em dois sistemas de cultura e três profundidades (dados de 3 repetições de campo), * significativo a $p < 0,0001$ 91

17. Correlação entre o carbono orgânico total (COT) e o carbono orgânico particulado (COP) (a) e o C da fração leve da MOS (FL) obtida com NaI $1,8 \text{ g cm}^{-3}$ (b) em um Argissolo Vermelho manejado sob plantio direto e preparo convencional em dois sistemas de cultura e três profundidades (dados de 3 repetições de campo), * significativo a $p < 0,0001$ 93
18. Correlação entre o carbono orgânico particulado (COP) e o C da fração leve da MOS (FL) obtida com soluções de iodeto de sódio (NaI $1,8 \text{ g cm}^{-3}$) e politungstato de sódio (PTS $2,0 \text{ g cm}^{-3}$) em um Argissolo Vermelho manejado sob plantio direto e preparo convencional em dois sistemas de cultura e três profundidades (dados de 3 repetições de campo), * significativo a $p < 0,0001$ 94

RELAÇÃO DE APÊNDICES

Página

1. Teores e estoque de carbono da fração leve livre (FLL), leve oclusa (FLO) e pesada (FP) obtido com politungstato de sódio ($2,0 \text{ g cm}^{-3}$) de um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo do solo. PC= preparo convencional, PD= plantio direto, CN= campo nativo, A=aveia, M=milho, V= vica e C=caupi..... 114
2. Teores e estoque de carbono da fração leve livre (FLL), leve oclusa (FLO) e pesada (FP) obtido com iodeto de sódio ($1,8 \text{ g cm}^{-3}$) em um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo do solo. PC= preparo convencional, PD= plantio direto, CN= campo nativo, A=aveia, M=milho, V= vica e C=caupi..... 116
3. Densidade e massa do solo, teores e estoque de carbono orgânico total do solo (COT), carbono orgânico particulado (COP) e carbono associado aos minerais (CAM) de um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo do solo. PC= preparo convencional, PD= plantio direto, CN= campo nativo, A=aveia, M=milho, V= vica e C=caupi..... 117
4. Teores e estoque de carbono da fração leve livre (FLL), leve oclusa (FLO) e pesada (FP) obtido com politungstato de sódio ($2,0 \text{ g cm}^{-3}$) de um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo do solo. PC= preparo convencional, PD= plantio direto, T= Trigo, S= Soja, A=aveia, M=milho..... 118
5. Densidade e massa do solo, teores e estoque de carbono orgânico total do solo (COT), carbono orgânico particulado (COP) e carbono associado aos minerais (CAM) de um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo do solo. PC= preparo convencional, PD= plantio direto, T= Trigo, S= Soja, A=aveia, M=milho..... 119
6. Massa de agregados e de partículas simples em classes de agregados na determinação da estabilidade em água para um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo do solo. PC= preparo convencional, PD= plantio direto, CN= campo nativo, A=aveia, M=milho, V= vica e C=caupi..... 120
7. Massa de agregados e de partículas simples em classes de agregados na determinação de estabilidade de agregados em água para um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo do solo. PC= preparo convencional, PD= plantio direto, T= Trigo, S= Soja, A=aveia, M=milho..... 132

1 INTRODUÇÃO GERAL

O solo é um sistema aberto, originado e ainda sujeito à influência dos fatores de formação. Em condições naturais, a atuação dos diferentes agentes de intemperismo leva-o a atingir um equilíbrio dinâmico (steady state) que não é alterado substancialmente ao longo do tempo, exceto se fatores externos forem modificados. A interferência antrópica é um fator capaz de alterar rapidamente as condições reinantes no solo, quer seja pela modificação da vegetação dominante e da sua capacidade de adição de carbono ao sistema, quer pelas alterações promovidas pelos sistemas de preparo utilizados. Essas alterações podem ter um balanço positivo, permitindo ao solo atingir um estado estável com qualidade do solo (QS) elevada, ou negativo, degradando o sistema.

A matéria orgânica do solo (MOS) é tida como uma componente principal da QS, atuando nos mecanismos que permitem a manutenção da capacidade produtiva do mesmo. Isso pode advir da sua sensibilidade aos sistemas de manejos empregados no processo produtivo, bem como da sua capacidade de ciclar nutrientes no sistema solo e influenciar as suas características físicas, químicas e biológicas. Porém, os mecanismos pelos quais a MOS atua no solo ainda são bastante discutidos no meio científico.

A ligação da MOS com as partículas primárias do solo (frações areia, silte e argila) leva a formação de estruturas secundárias estáveis que compõem a estrutura do solo. Nesses processos de agregação ocorrem interações entre as partículas minerais e orgânicas, microorganismos e a própria planta, principalmente através do sistema radicular. O grau de interação e a magnitude dos mecanismos envolvidos definem o nível de agregação que um determinado solo poderá atingir.

O conhecimento da importância da agregação na manutenção ou melhoria das demais características físicas, químicas e biológicas do solo e, na proteção da própria MOS, tem levado ao desenvolvimento de estudos visando à determinação dos processos envolvidos na agregação. Nesse contexto o fracionamento físico passou a ter uma utilização mais efetiva com conseqüente desenvolvimento de metodologias que o adequassem à obtenção de compartimentos relacionados com a localização e função da MO no solo. Contudo, a maioria dos estudos tem sido desenvolvido em solos de regiões com clima temperado, cuja mineralogia é diferenciada dos solos tropicais e subtropicais, assim como a intensidade de atuação dos fatores climáticos.

Dessa forma, o presente trabalho teve como tema central a avaliação da proteção física da MOS pela agregação, estando dividido em estudos. Nos dois primeiros estudos foi avaliada a adequação de soluções densas comumente utilizadas em fracionamento físico para a obtenção de diferentes frações da MOS. Nos estudos seguintes foi avaliado o efeito da utilização de sistemas de manejo do solo sob preparo convencional e plantio direto na proteção física da MOS em duas áreas experimentais com textura e mineralogia distintas, localizadas na região subtropical brasileira.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O modelo de cultivo utilizado no Brasil até o início dos anos 90 do século passado baseou-se em técnicas desenvolvidas para solos de clima temperado, onde o revolvimento do solo era tido como uma prática necessária para aquecer o solo e permitir o melhor desenvolvimento das culturas. Esses sistemas que foram introduzidos pelos imigrantes europeus nas regiões tropicais e subtropicais do Brasil expõem a superfície do solo à ação dos agentes climáticos, que atuam nessas regiões com grande intensidade. A temperatura é um agente que apresenta diferenças consistentes entre regiões tropicais e temperadas. Nos trópicos, em média, a temperatura é 15°C mais elevada do que nas regiões temperadas, além de não ocorrerem invernos com temperaturas tão baixas (Duxbury et al., 1989). Altas temperaturas tendem a aumentar as taxas dos processos bioquímicos, que, juntamente com o rompimento do estado estável do solo pelo uso agrícola, podem determinar taxas de decomposição mais altas do que as de adição, provocando redução no teor de MO do solo. Inicia-se assim, um processo de degradação física, química e biológica, com redução da produtividade e aceleração da erosão que, por sua vez, acelera o processo de degradação (Mielniczuk, 1988).

A recuperação ou manutenção da qualidade do solo e produtividade das culturas em áreas agrícolas é um dos objetivos da pesquisa em manejo de solos. Segundo Mielniczuk (1988), sistemas de manejo visando à conservação e recuperação do solo e produtividade das culturas têm como principais requisitos: (1) proporcionar boa cobertura do solo durante o ano, por plantas ou seus resíduos, com ênfase nos períodos de maior precipitação e insolação; (2) proporcionar aporte contínuo e abundante de resíduos vegetais para contrabalançar a rápida decomposição da MOS do solo e dos resíduos

vegetais e, (3) promover o mínimo revolvimento do solo, permitindo o máximo de resíduos na superfície e redução das reações de oxidação da MOS.

A MOS constitui-se de um conjunto heterogêneo de materiais orgânicos diferindo em composição, grau de disponibilidade para a microbiota e função no ambiente. Durante a decomposição no solo, os resíduos de plantas e seus produtos de decomposição passam por transformações químicas e físicas e tornam-se parcial ou completamente associados com partículas minerais para formar agregados estáveis (Kemper & Rosenau, 1986). Esta associação protege a MOS de futura decomposição, sendo o nível de proteção variável com as práticas de manejo do solo (Six et al., 2002), bem como com a sua textura e mineralogia (Hassink et al., 1993; Feller & Beare, 1997; Hassink & Whitmore, 1997; Zech et al., 1997).

2.1 Carbono orgânico e agregação do solo

O uso de plantio direto (PD) tem demonstrado ser eficiente na recuperação do teor de MOS (Beare et al., 1994b; Cambardella & Elliott, 1994; Six et al., 1999b; Bayer et al., 2000c; Lovato, 2001), principalmente quando utilizados consórcios ou rotações com leguminosas visando os benefícios do aporte de N atmosférico (Amado & Mielniczuk, 1999). Associado ao incremento de MOS tem se verificado o aumento da agregação dos solos (Reinert et al., 1984; Eltz et al., 1989; Carpenedo & Mielniczuk, 1990; Cambardella & Elliott, 1993b; Beare et al., 1994a; Campos et al., 1995; Da Ros et al., 1997; Silva & Mielniczuk, 1997b; Castro-Filho et al., 1998; Silva & Mielniczuk, 1998; Campos et al., 1999; Six et al., 2000a), ocorrendo inicialmente na camada superficial do solo nos primeiros anos de adoção de plantio direto, caracterizando estados de nível alto de qualidade do solo (Vezzani, 2001). A melhoria da qualidade do solo permite o aumento da produção de fitomassa aérea e radicular que retroalimenta o sistema, aumentando o teor de MOS e a agregação do solo (Vezzani, 2001).

O plantio direto pode funcionar como dreno de CO₂ atmosférico pelo aumento de carbono orgânico (C) nas camadas superficiais do solo. A menor degradação da MOS adicionada ao sistema pode ser decorrente do aumento da agregação do solo. Por outro lado, o rompimento dos agregados pelo

revolvimento do solo aumenta a liberação de CO₂ (Adu & Oades, 1978; Reicosky & Lindstrom, 1983) por permitir a maior exposição da MOS aos microorganismos, fazendo com que ocorra uma redução do estoque de MOS em sistemas de preparo convencional (PC).

A teoria da hierarquia de agregação proposta por Tisdall & Oades (1982) tem sido utilizada por diversos autores para explicar a correlação existente entre a redução na agregação e perdas de MOS (Elliott, 1986; Cambardella & Elliott, 1993b; Beare et al., 1994b; Golchin et al., 1997). Segundo essa concepção, as estruturas básicas do solo são os argilominerais. A união da MOS com partículas minerais forma complexos organo-minerais (COM), sendo ditos primários quando resultantes da interação direta desses componentes (Roscoe & Machado, 2002). A união de vários COM primários resulta em microagregados (COM secundários < 250µm) (Edwards & Bremner, 1967) que podem ser considerados como estruturas secundárias no solo. Considera-se que a formação de estruturas de dimensões entre 2-20µm por materiais orgânicos persistentes leva à formação de microagregados muito estáveis que são mais difíceis de serem destruídos pela atividade agrícola. Esses microagregados podem ser unidos por materiais orgânicos transitórios como exsudatos radiculares e microbianos (Oades, 1984; Bayer & Mielniczuk, 1999; Six et al., 2002), pelo entrelaçamento de hifas de fungos (Lynch & Bragg, 1985; Tisdall, 1991) e pela própria ação do sistema radicular (Silva & Mielniczuk, 1997a), resultando em macroagregados (COM secundários >250µm). A comprovação da existência da hierarquia de agregação experimentalmente foi conseguida pela exposição dos macroagregados a níveis crescentes de energia obtida mediante agitação em água após umedecimento lento (capilaridade) ou rápido (imersão), agitação horizontal em agentes dispersantes e sonicação (Edwards & Bremner, 1967; Oades & Waters, 1991), reduzindo-os a estruturas menores. Em solos onde ocorreu a hierarquia de agregação dominada pela MOS, os agregados romperam-se em microagregados antes de serem rompidos em COM primários. Para solos onde as argilas e óxidos foram os principais responsáveis pela estabilidade dos agregados a hierarquia de agregação não foi observada (Oades & Waters, 1991).

A separação de COM-secundários é utilizada em estudos de manejo do solo e da dinâmica e composição de diferentes frações da MOS. Essa forma de separação é importante quando se quer avaliar a existência de hierarquia de agregados do solo como proposto por Tisdall & Oades (1982). Dessa forma, algumas classes conceituais de agregados são obtidas, levando-se em consideração principalmente a existência de macroagregados ($>250 \mu\text{m}$) e microagregados ($< 250 \mu\text{m}$). A subdivisão dos microagregados em classes $53\text{-}20\mu\text{m}$, $20\text{-}2\mu\text{m}$ e $<2\mu\text{m}$, permite a definição de compartimentos relacionados aos COM-primários tamanho silte e argila, sendo os microagregados $<20 \mu\text{m}$ mais estáveis nessa categorização estrutural do solo (Christensen, 2000).

As maiores diferenças de umidade e temperatura na camada superficial do solo em PC tem como consequência uma maior ocorrência do fenômeno de desagregação pelo aumento da pressão interna devido ao aprisionamento do ar quando do umedecimento rápido (slaking) (Dexter, 1988). Por outro lado, a desagregação do solo aumenta o teor de argila dispersa, que pode migrar no perfil causando a formação de uma delgada lâmina de argila sobre os agregados. Esse mesmo fenômeno pode ocorrer também com os óxidos quando da existência de condições que levem a processos de oxirredução, possibilitando uma maior estabilidade estrutural dos microagregados de solos argilosos ricos em óxidos como os Latossolos comparativamente aos solos arenosos com menores teores de argilas e óxidos. Dessa maneira, para Latossolos, onde óxidos e argilas são os principais agentes de estabilização da MOS, a teoria da hierarquia da agregação não se aplica (Oades & Waters, 1991) e o manejo não interfere tão efetivamente nas estruturas de granulometria argila por se tratar de ligações químicas muito efetivas, estando a MOS envolvida na ligação de estruturas $< 20 \mu\text{m}$ dentro de estruturas $< 53 \mu\text{m}$ (Golchin et al., 1997).

Dexter (1988) define dois tipos de estabilidade: uma referente a capacidade do solo em conservar a estrutura em água e outro relacionado a resistência a pressões mecânicas. Essa capacidade de resistir a destruição é influenciada pela aproximação das partículas e pela estabilização destas por materiais coloidais (substâncias ligantes). Tisdall & Oades (1982) definem que quanto menor o tamanho do agregado, maior a estabilidade dele por conter vários tipos de ligantes. Uma grande parte das substâncias estabilizadoras da

estrutura do solo podem ter origem na própria rizosfera, pois raízes vivas podem liberar no solo entre 40 a 79% do seu peso como exsudatos radiculares (Lynch & Whipps, 1990; Balesdent & Balabane, 1996; Puget & Drinkwater, 2001)

O processo de umedecimento e secagem, tanto natural como em virtude da absorção de água pelo sistema radicular, causa uma maior aproximação de partículas de argilominerais com a superfície radicular que, associadas a liberação de exsudatos orgânicos, atuam como pontos de agregação das partículas do solo (Dexter, 1988). Quando da senescência da biomassa radicular, a matéria orgânica particulada (MOP) possui uma região de proteção devido ao alinhamento das partículas de argila ao longo da raiz, sendo uma barreira à decomposição microbiana. Quando ocorre a ruptura das raízes em estruturas menores, passa a ocorrer regiões de maior ataque microbiano a partir das extremidades da MOP sendo a mesma decomposta internamente. Em sistemas com alta densidade radicular há uma maior agregação em decorrência da formação de uma rede de raízes associadas a fungos, geralmente micorrízicos (Jastrow & Miller, 1997).

O entrelaçamento de raízes aumenta a estabilidade dos agregados que, associado à decomposição localizada pelo desenvolvimento da microbiota do solo, aumentam mais ainda a estabilidade dos agregados (Oades, 1984). Para solos com textura arenosa, a maior distância entre partículas devido a presença de grãos de quartzo, que possuem pequena capacidade de manterem quimicamente outras partículas ligadas a si, diminui a estabilidade estrutural comparativamente a solos de textura argilosa. Nesse caso, a manutenção de sistema vegetal em constante desenvolvimento é uma prática necessária para a adição contínua de compostos ligantes e a manutenção da atividade agregante da biomassa microbiana. Como agregação e desagregação são processos que coexistem no solo, a manutenção de um determinado nível de agregação é resultado do balanço líquido entre a taxa de formação e destruição dos agregados e um contínuo suprimento de MOP é necessária para que as estruturas sejam formadas e estabilizadas (Golchin et al., 1997).

O desenvolvimento de hifas de fungos tem efeito temporário na estabilidade dos agregados (Tisdall et al., 1978; Tisdall & Oades, 1982; Oades,

1993; Tisdall et al., 1997) pois são facilmente decompostos quando de sua morte, sendo fonte de energia para o desenvolvimento de novas populações microbianas (Lynch & Bragg, 1985). Dentre as substâncias agregantes, a MO, a argila e os óxidos são as que maiores efeitos possuem na estabilização da estrutura do solo.

2.2 Mecanismos de proteção da matéria orgânica

A manutenção ou acúmulo de matéria orgânica no solo é resultante de três mecanismos básicos de proteção: recalcitrância molecular, proteção física e proteção coloidal (Christensen, 1996; Sollins et al., 1996). A **recalcitrância molecular** da MOS refere-se à resistência intrínseca da molécula orgânica ao ataque microbiano. Os principais compostos orgânicos do solo podem ser agrupados em carboidratos (celulose, hemicelulose e amino açúcares), lignina, compostos protéicos (peptídeos e aminoácidos) e lipídios. As estruturas aromáticas derivadas de lignina ou compostos humificados, por possuírem uma forte energia de ligação no seu anel, são mais resistentes à decomposição que as cadeias alifáticas de carboidratos (Baldock et al., 1992). Na **proteção coloidal**, os microorganismos têm acesso ao substrato orgânico, porém encontram dificuldades em removê-lo da superfície mineral onde está adsorvido (Christensen, 1996; Sollins et al., 1996). A **proteção física** por oclusão em agregados de solo dificulta a ação de microorganismos e de suas enzimas sobre o substrato orgânico, por atuar como uma barreira física e diminuir a disponibilidade de O₂ para os processos oxidativos de decomposição (Sextone et al., 1985; Baldock et al., 1992; Hassink & Whitmore, 1997; Balesdent et al., 2000).

A proteção física da MOS ocorre em agregados de diferentes classes de tamanho, convencionalmente separados em macroagregados e microagregados (Edwards & Bremner, 1967). O modelo conceitual de hierarquia da agregação (Tisdall & Oades, 1982) define que os microagregados são unidos e estabilizados por agentes transitórios (polissacarídeos) e temporários (raízes e hifas fúngicas) formando macroagregados, sendo aplicável para solos onde a MOS é o principal agente de estabilização, o que não é válido para solos oxídicos (Oades & Waters, 1991).

Dentro dessa visão teórica da hierarquia da agregação os macroagregados devem ser mais ricos em C do que os microagregados uma vez que as classes maiores são compostas de classes de agregados menores mantidos juntos pela força dos agentes estabilizantes. No entanto, tem sido verificado maiores concentrações de C tanto em microagregados (Beare et al., 1994b) como em macroagregados (Elliott, 1986; Cambardella & Elliott, 1993b; Six et al., 1998; Zotarelli et al., 2005).

Oades (1984) propôs uma alteração ao modelo hierárquico, postulando que a MOP é o núcleo ao redor do qual as partículas primárias do solo são incrustadas formando macroagregados. Com a decomposição desse núcleo de MOP pela ação dos microorganismos, ocorre um enfraquecimento das ligações estabilizadoras dos macroagregados e eles se rompem, formando microagregados. Devido a incorporação de exsudatos microbianos durante o processo de decomposição da MOP, os microagregados oriundos de macroagregados são enriquecidos em MOS (Golchin et al., 1994a; Angers et al., 1997; Golchin et al., 1997; Six et al., 1998; Gale et al., 2000a,b).

Devido à natureza lábil dos agentes ligantes transitórios, os macroagregados são menos estáveis que os microagregados, perdendo a estabilidade em sistemas de manejo do solo sob PC (Carpenedo & Mielniczuk, 1990; Plante & McGill, 2002; Wendling et al., 2005), pois a constante mobilização do solo diminui a formação e a estabilização dos macroagregados. Por outro lado, o mínimo revolvimento do solo sob plantio direto e a conseqüente preservação dos macroagregados permitem o acúmulo de MOP (Bayer et al., 2002) constituída de resíduos parcialmente decompostos de plantas e hifas (Gregorich & Janzen, 1996). Esse acúmulo de MOP propicia que maior quantidade de C seja incorporada em microagregados e, a partir desses, em complexos organominerais primários, resultando por fim num incremento do estoque total de C no solo (Jastrow, 1996; Puget et al., 2000; Six et al., 2000a).

2.3 Fracionamento da matéria orgânica

Diversos métodos têm sido utilizados visando à determinação dos mecanismos de proteção física da MOS (Hassink et al., 1993; Skjemstad et al.,

1993; Hassink et al., 1997; Balesdent et al., 2000; Six et al., 2002). Dentre eles, o mais difundido é o fracionamento da MOS, que pode ser químico ou físico. O primeiro é adequado principalmente ao estudo da composição da MOS no que se refere ao tipo de compostos presente (ácidos fúlvicos, húmicos e huminas), obtidos de acordo com a solubilidade dos compostos orgânicos em solução extratora. Os métodos físicos, por outro lado, permitem estudar a relação entre a composição da MOS e a sua localização na estrutura do solo e interação com a fração mineral (Christensen, 1992).

O fracionamento físico pode ser densimétrico ou granulométrico, ou uma combinação de ambos. Tais métodos vêm sendo amplamente utilizados em estudos da MOS (Cambardella & Elliott, 1992; Beare et al., 1994a; Golchin et al., 1994a; Barrios et al., 1996; Besnard et al., 1996; Jastrow, 1996; Aoyama et al., 1999; Six et al., 1999b; Puget et al., 2000; Bayer et al., 2001; Roscoe et al., 2001; Bayer et al., 2002; Conceição, 2002; Freixo et al., 2002a; Pinheiro et al., 2004), visando avaliar a importância das interações entre componentes orgânicos e inorgânicos do solo no tempo de permanência da MOS (Christensen, 2001). O uso do fracionamento físico resulta em separação de reservatórios funcionais e dinâmicos da MOS, assim como o isolamento de complexos organominerais.

2.3.1 Fracionamento físico granulométrico

O fracionamento físico granulométrico baseia-se na separação de frações em função do tamanho de partículas, permitindo a separação de COM-secundários, ou a separação de COM-primários definidos em função das classes de tamanho: areia, silte e argila (Roscoe & Machado, 2002). A fração de MOS recuperada na fração tamanho areia ($> 53\mu\text{m}$) pelo método granulométrico, também chamada de fração grosseira, matéria orgânica particulada (MOP) ou carbono orgânico particulado (COP) (Cambardella & Elliott, 1992; Six et al., 1999b, 2002) é constituída principalmente por resíduos orgânicos em estágios iniciais de decomposição, sendo possível a identificação de fragmentos de material vegetal (Christensen, 2000) similar às frações leves obtidas pelo fracionamento densimétrico (Six et al., 2002). Devido à sua área superficial específica (ASE) reduzida e baixa densidade superficial de carga, a

fração tamanho areia apresenta pouco ou nenhum material orgânico associado a ela, tendo menor participação na manutenção de MOS como COM-primários (Baldock et al., 1992; Christensen, 1992). Por outro lado, as frações de tamanho silte e argila ($< 53\mu\text{m}$) contêm material mais humificado, sendo constituintes fundamentais dos COM-primários do solo (Christensen, 1996; Feller & Beare, 1997). Diferentes tipos de argila têm diferentes capacidades de ligar e estabilizar MOS, sendo isso uma função, entre outros fatores, da sua ASE (Baldock & Skjemstad, 2000; Six et al., 2002). Solos altamente intemperizados (comuns em regiões tropicais e subtropicais) são constituídos de argilas do tipo 1:1 e óxidos, que possuem menor ASE, enquanto solos de regiões de clima temperado são dominados por argilas 2:1 que possui maior ASE.

2.3.2 Fracionamento físico densimétrico

O fracionamento densimétrico baseia-se na diferença de densidade entre as frações orgânica e mineral do solo (geralmente maior que $2,6 \text{ g cm}^{-3}$). Durante o processo de decomposição, parte da MOS associa-se fortemente a partículas minerais do solo, acumulando-se em frações de maior densidade (Barrios et al., 1996) e a parte não decomposta que constitui a fração leve (FL) permanece no interior dos agregados (FLO) ou entre os agregados (FLL). A obtenção da FLL ocorre mediante agitação branda em líquido de densidade conhecida antes da dispersão completa dos agregados em COM-primários. A FLO é separada após a completa dispersão do solo em suas partículas primárias (por agitação ou sonicação) e a fração pesada (FP) corresponde ao C ligado aos COM-primários (Roscoe & Machado, 2002). O fracionamento físico densimétrico permite a obtenção de compartimentos relacionados com a localização, mecanismos de proteção e funções no solo: o primeiro (FLL), menos decomposto (Baldock et al., 1990; Christensen, 1992; Golchin et al., 1994a; Skjemstad et al., 1996; Pillon, 2000; Freixo et al., 2002b), mas mais exposto à ação dos agentes oxidativos tendo como único mecanismo de proteção a recalcitrância molecular (Sollins et al., 1996), o segundo (FLO), mais decomposto, porém protegido devido a recalcitrância e a sua localização dentro

de agregados e, um terceiro (FP), em que os três mecanismos de proteção estão atuantes.

A FLL é constituída por materiais orgânicos derivados principalmente de restos vegetais, além de resíduos microbianos (hifas fúngicas, esporos...). Sua composição bioquímica é comparável àquela de materiais vegetais e da liteira (Skjemstad et al., 1996; Pillon, 2000; Freixo et al., 2002b) sendo dominada por carboidratos de origem vegetal, principalmente celulose. Embora, ainda semelhante à liteira, esta fração já passou por algumas transformações, perdendo parte dos compostos de rápida decomposição como os carboidratos e proteínas.

A quantidade de FLL é influenciada pelo tipo de vegetação, normalmente havendo um acúmulo nos horizontes superficiais, pois o único mecanismo de proteção atuando na FLL é a recalitrância do material constituinte dessa fração (Sollins et al., 1996). Portanto, a FLL tende a ser a mais disponível para a microbiota dentre as frações densimétricas (Golchin et al., 1994b). Em sistemas dominados pela deposição superficial de liteira, como florestas e savanas densas, este acúmulo é mais acentuado que em sistemas onde predomina a deposição de liteira subterrânea (resíduos de raízes), como pastagens nativas e cultivadas (Roscoe et al., 2001). A FLL da MOS encontra-se depositada na superfície dos agregados, sendo também denominada de fração interagregados.

A FLO compreende um diversificado conjunto de compostos orgânicos, incluindo resíduos de plantas, peletes fecais, pêlos radiculares e estruturas fúngicas com um tamanho reduzido e um grau de decomposição mais avançado em comparação à FLL (Golchin et al., 1994b; Christensen, 2000; Pillon, 2000; Christensen, 2001; Freixo et al., 2002b). Assim como a FLL, a quantidade de FLO tende a decrescer com a profundidade, uma vez que o teor total de carbono também reduz com a profundidade. A FLO é também dita fração intra-agregados devido a sua localização no interior dos agregados, e os mecanismos dominantes para proteção dessas estruturas são a recalitrância molecular e, principalmente, a oclusão ou proteção física por agregados (Sollins et al., 1996).

Finalmente, a FP é constituída, basicamente, por materiais orgânicos em avançado estágio de decomposição, não identificáveis visualmente,

fortemente ligados à fração mineral, constituindo os COM-primários (Christensen, 1992). É uma fração dominada por compostos orgânicos de elevada recalcitrância, como remanescentes de cutina e suberina, assim como materiais resistentes sintetizados pela microbiota durante o processo de decomposição (Baldock et al., 1992). É considerada a mais estável das frações densimétricas, sendo caracterizada por uma baixa taxa de ciclagem, pois todos os processos de proteção da MOS (recalcitrância química, oclusão e proteção coloidal) podem estar envolvidos na sua estabilização no solo (Christensen, 2000).

Dados obtidos a partir da utilização de diferentes sistemas de fracionamento têm demonstrado que a fração leve ou particulada representa de 10 a 40% do C do solo. Dessa forma, os estoques de C são maiores na fração pesada ou associada aos minerais (Bayer et al., 2001, 2002; Conceição, 2002; Freixo et al., 2002a) sendo responsável, em muitas situações, por mais de 90% do carbono orgânico total do solo (Christensen, 1992, 2000; Roscoe & Machado, 2002). Comparação entre sistemas de preparo (PC versus PD), demonstrou incremento de 221 e 62%, respectivamente, para a fração particulada e associada aos minerais na camada 0-2,5 cm favorável ao solo em PD (Bayer et al., 2002) evidenciando a maior sensibilidade da fração lábil as alterações nos sistemas de manejo. Por outro lado, o maior aumento de C em termos absolutos ocorreu na MOS associada aos minerais.

2.3.2.1 Influência da metodologia nos resultados de proteção física da MOS

A ação de um único mecanismo de proteção sobre a FLL, o mecanismo de recalcitrância molecular, torna essa fração mais disponível a biota e, portanto, a menos provável de acumular no solo (Sollins et al., 1996). Em regiões de clima árido ou sujeitas a temperaturas baixas, os processos de decomposição são minimizados e, sob tais condições, é possível ocorrer a predominância da FLL como forma de acúmulo de C no solo (Christensen, 1992). Por outro lado, a ação de dois mecanismos de proteção (recalcitrância molecular e proteção física) sobre a FLO torna essa fração, conceitualmente, menos sujeita aos processos de decomposição (Sollins et al., 1996) e, dessa

forma, o seu acúmulo no solo é mais provável de ocorrer do que o acúmulo da FLL. A FP por possuir três mecanismos de proteção da MOS (recalcitrância molecular, proteção física e interação orgnomineral) é esperada ser a fração de maior acúmulo no solo. Considerando o exposto, ao relativizarmos os estoques de cada fração ao COT, obtêm-se um índice que permite comparar a importância de cada mecanismo na estabilização e estoque de C no solo.

No entanto, os resultados disponíveis na literatura nacional e estrangeira apontam situações divergentes entre estudos no tocante ao predomínio das frações no solo. Dessa maneira agrupou-se alguns resultados disponíveis baseados no aspecto metodológico da obtenção das frações orgânicas (Tabela 1). Selecionou-se apenas os estudos em que solução de iodeto de sódio (NaI) ou politungstato de sódio (PTS) foram utilizadas no fracionamento densimétrico para obtenção da FLL e FLO, por tratarem-se dos principais produtos em uso na atualidade. Dessa maneira, resultados como os obtidos por Cambardella & Elliott (1994), Six et al. (1999b; 2000a,c) ou Wander & Bidart (2000) embora importantes na discussão de proteção física da MOS, não foram utilizados na abordagem que se segue por combinarem a metodologia de fracionamento densimétrico e granulométrico, o que resulta em interpretações diferenciadas com relação ao uso de uma metodologia de forma isolada.

Com relação à densidade do produto, há uma predominância de soluções com densidade de 1,6 a 2,0 g cm⁻³ embora densidades mais elevadas ou menores que essas tenham sido utilizadas em estudos envolvendo a separação da fração leve total do solo (FL). Analisando o efeito do aumento da densidade da solução, verificou-se uma maior recuperação de C na FLO quando foram utilizadas soluções mais densas (Golchin et al., 1994a,b; Sohi et al., 2001; Rovira & Vallejo, 2003). Porém, a escolha da densidade ideal diverge entre os autores. Sohi et al. (2001) apontaram como densidade indicada para estudos de fracionamento físico da MOS 1,8 g cm⁻³, enquanto Golchin et al. (1994a) definiram a densidade de 1,6 g cm⁻³ como a ideal, embora os resultados indicassem um aumento de 184% na média dos solos avaliados, quando estes autores utilizaram a densidade de 2,0 g cm⁻³ ao invés de 1,6 g cm⁻³ (Golchin et al., 1994b).

Tabela 1. Proporção da fração leve livre (FLL) e leve oclusa (FLO) relativa ao carbono orgânico total (COT) e relação entre as duas frações densimétricas (FLO/FLL) utilizando iodeto de sódio (NaI) e politungstato de sódio (PTS) em diferentes densidades e granulometria inicial da amostra.

Fonte	Produto	Densidade	Granulometria inicial da amostra	FLL/COT	FLO/COT	FLO/FLL
		----g cm ⁻³ --	-----mm-----	-----%-----		
(Sohi et al., 2001) ^a	NaI	1,6	< 6,25	10,2	6,1	59
	NaI	1,7	< 6,25	12,3	10,4	84
	NaI	1,8	< 6,25	13,7	16,9	124
(Roscoe et al., 2001) ^b	NaI	1,7	< 2	14,3	1,1	8
(Freixo et al., 2002a) ^c	NaI	1,8	< 2	5,4	1,4	26
(Freixo et al., 2002c) ^d	NaI	1,8	< 2	5,2	0,8	15
(Golchin et al., 1994a) ^e	PTS	1,6	< 2	16,0	13,7	86
(Golchin et al., 1994b) ^f	PTS	1,8	< 2	16,0	29,4	184
	PTS	2,0	< 2	16,0	38,9	243
(Parfitt et al., 1997) ^g	PTS	1,6	< 6	6,4	17,3	270
(Rovira & Vallejo, 2003) ^h	PTS	1,6	< 2	26,1	7,5	29
	PTS	1,7	< 2	26,1	10,3	40
	PTS	1,8	< 2	26,1	17,2	68
(Leifeld & Kogel-Knabner, 2005) ⁱ	PTS	1,8	< 2	3,7	8,0	216

a) 0-23 cm, 3 solos, dados obtidos por interpolação gráfica, FLO recuperada com 1500 J de energia g⁻¹ de solo; b) latossolo, média de todos os dados experimentais, exceto horizonte B_w; c) latossolo, média de todos os dados experimentais (n= 60); d) latossolo, média de todos os dados experimentais (n= 60); e) 0-10 cm, 5 solos; f) 0-10 cm, 5 solos; g) 0-10 e 10-20 cm, 2 solos; h) horizonte "B", 13 perfis de solo sob floresta; i) 0-3 cm, 1 solo.

Freixo et al. (2002a,c) utilizaram a metodologia proposta por Sohi et al. (2001), mas os resultados obtidos não apresentaram o mesmo comportamento. Enquanto Sohi et al. (2001) para um solo argiloso, utilizando solução de NaI $1,8 \text{ g cm}^{-3}$, obtiveram rendimentos de C da FLO 1,8 vezes superior ao da FLL, Freixo et al. (2002a,c) obtiveram rendimento de C da FLO inferior ao da FLL em todos os tratamentos, solos e profundidades avaliadas, sendo em média 32 e 15% do estoque de COT de um Latossolo de Goiânia (GO) e de outro de Passo Fundo (RS), respectivamente. A explicação para as diferenças dos resultados obtidos entre os autores provavelmente reside no fato de Sohi et al. (2001) ter utilizado agregados inferiores a 6,25 mm como padrão inicial da amostra enquanto Freixo et al. (2002a,c) utilizaram solo moído a 2 mm.

A moagem do solo, provavelmente, libera MOP protegida do interior dos agregados. Para solos argilosos, em que a estabilidade estrutural é elevada, a massa de agregados maiores que 2 mm pode ser superior a 50% da massa do solo (Campos et al., 1995; Castro Filho et al., 2002; Madari et al., 2005; Wendling et al., 2005). Assim, a moagem desses macroagregados e, a conseqüente recuperação do material ocluso como pertencendo a FLL, pode levar a uma superestimação do estoque de C nessa fração. Da mesma forma que Freixo et al. (2002a,c), Roscoe et al. (2001), obtiveram menores rendimentos de C na FLO relativo a FLL, tendo porém, utilizado solução de NaI $1,7 \text{ g cm}^{-3}$, o que segundo os dados gerais obtidos por Sohi et al. (2001) resulta em uma subestimação de 40% do rendimento de C da FLO em comparação a solução de NaI $1,8 \text{ g cm}^{-3}$. A menor densidade da solução de NaI, aliada à moagem do solo, no entanto, possivelmente não é suficiente para justificar a pequena proporção obtida para a FLO relativa à FLL (8%), que não é coerente com a existência de dois mecanismos de proteção da MOS na FLO.

Golchin et al. (1994a) utilizando solução de PTS $1,6 \text{ g cm}^{-3}$ obtiveram rendimentos de C na FLO inferiores aos obtidos para a FLL, concordante com os resultados obtidos por Sohi et al. (2001). Porém, Parfitt et al. (1997) utilizando a metodologia e a densidade proposta por Golchin et al. (1994a), obtiveram rendimentos de C da FLO 2,7 vezes superiores aos da FLL. Assim como o discutido para as diferenças entre os resultados obtidos por Freixo et al. (2002a,c) e Sohi et al. (2001), a utilização de agregados menores

que 6 mm pode ser uma explicação para a maior recuperação de C da FLO na mesma densidade de PTS entre os estudos de Golchin et al. (1994a) e Parfitt et al. (1997). O aumento da densidade para 1,8 ou 2,0 g cm⁻³ resultou em aumentos no rendimento da FLO, evidenciando concentrações de C superiores às obtidas para a FLL (Golchin et al., 1994a,b) sendo resultados semelhantes obtidos para um Latossolo (Golchin et al., 1995).

Utilizando solução de PTS 1,8 g cm⁻³, Leifeld & Kogel-Knabner (2005) obtiveram resultados similares aos de Golchin et al. (1994b). De forma oposta, Rovira & Vallejo (2003) utilizando a metodologia de Golchin et al. (1994a), obtiveram a FLO inferior a FLL nas três densidades de solução de PTS. Os dados apresentados na Tabela 1 se referem apenas ao horizonte denominado pelos autores de "B" (espessuras variando de 5 a 31 cm), sendo que a predominância da FLL sobre a FLO nos horizontes "A" e "H" foi maior ainda. Nesse estudo, os resultados elevados de C na FLL parecem ter sentido por tratar-se de uma área sob floresta em região de clima seco do norte da Espanha, sob solo de origem calcárea, em que a taxa de decomposição pode ter sido baixa, permitindo a FLL acumular-se no solo.

Comparando os resultados obtidos com o uso da solução de NaI e de PTS temos que, para a densidade de 1,6 g cm⁻³, os resultados de Sohi et al. (2001) e Golchin et al. (1994a) possuem a mesma tendência indicando pouca adequação dessa densidade em estudos de proteção física da MOS. Comparando os resultados de Sohi et al. (2001) e Parfitt et al. (1997) a densidade não influenciou tanto quanto a moagem do solo a 2 mm. Dessa maneira, a utilização de agregados em estudos de proteção física da MOS com o uso do fracionamento físico densimétrico parece ser mais indicado por atender ao aspecto conceitual do mecanismo proposto (proteção por oclusão em agregados). De forma similar, ao comparar a densidade de 1,8 g cm⁻³ com iodeto verifica-se que a oclusão é um mecanismo mais importante que a recalitrância para os resultados obtidos por Sohi et al. (2001) do que nos obtidos por Freixo et al. (2002a,c).

Finalmente, desconsiderando os resultados obtidos por Rovira & Vallejo (2003) pelos motivos citados anteriormente, temos que para uma mesma densidade os resultados obtidos com solução de PTS são superiores aos obtidos com solução de NaI, independente do uso de agregados maiores

que 2 mm, embora a superioridade de rendimento da FLO quando do uso de amostras compostas por macroagregados intactos maiores de 2 mm.

Os resultados de literatura, embora escassos, certamente não se limitam aos apresentados nessa rápida revisão bibliográfica, porém podemos evidenciar pelo já exposto a dificuldade de definição de uma metodologia, produto ou densidade para ser utilizada em de estudos dos mecanismos de proteção da MOS. A utilização do NaI e PTS em fracionamentos densimétricos é corriqueira na pesquisa internacional, havendo um equilíbrio no número de linhas de pesquisa com ambos os produtos. Porém, estudos comparando a eficiência relativa desses dois produtos na recuperação das frações orgânicas do solo são escassos. Barrios et al. (1996) desenvolveram estudos utilizando fracionamento densimétrico com NaI, PTS e sílica gel, porém a utilização de metodologias diferenciadas para cada produto tornam as comparações da eficiência relativa dos mesmos difíceis de serem efetuadas.

3 HIPÓTESES E OBJETIVOS GERAIS

3.1 Hipóteses

O rendimento das frações físicas da MOS obtidas no fracionamento densimétrico é dependente do produto e densidade da solução utilizada.

A proteção física é um mecanismo importante na estabilização da MOS em solos subtropicais. Sistemas de manejo com menor revolvimento do solo possibilitam a formação e estabilização de macroagregados, que aumentam a proteção física da MOS, permitindo o incremento dos teores de MO do solo.

Diferenças na textura e mineralogia do solo permitem acúmulos diferenciados de MOS nos agregados de Latossolos e Argissolos sob condições subtropicais.

3.2 Objetivos

Avaliar a eficiência do iodeto e do politungstato de sódio e de diferentes densidades deste último produto na separação das frações físicas da MOS em dois solos com textura e mineralogia distinta e, a influência dos resultados obtidos com os dois produtos e diferentes densidades na avaliação da magnitude da proteção física como mecanismo de estabilização da MOS em diferentes sistemas de manejo.

Avaliar o efeito do sistema plantio direto nos estoques de C e na agregação de dois solos do Sul do Brasil com diferentes textura e mineralogia.

Determinar a magnitude da proteção física da MOS em solos subtropicais brasileiros a partir da alteração do acúmulo de C em diferentes frações físicas da MOS.

4 ESTUDO I: RENDIMENTO DA FRAÇÃO LEVE DA MATÉRIA ORGÂNICA EM FRACIONAMENTO DENSIMÉTRICO COM IODETO E POLITUNGSTATO DE SÓDIO

4.1 Introdução

O fracionamento físico da MOS baseado no tamanho (granulométrico) ou na densidade (densimétrico) tem sido amplamente utilizado em estudos de quantificação e caracterização dos compartimentos da MOS do solo (Cambardella & Elliott, 1992; Christensen, 1992; Cambardella & Elliott, 1993a; Golchin et al., 1994a,b; Freixo et al., 2002a,b,c; Diekow et al., 2005). O fracionamento granulométrico (Cambardella & Elliott, 1992) baseia-se na dispersão do solo mediante uso de agentes dispersantes e separação por peneiramento da matéria orgânica particulada (MOP) de tamanho areia (>53 μm). Particularmente, o fracionamento densimétrico permite estudar a relação entre a composição da MOS, sua localização na estrutura do solo e interação com a matriz mineral, com base na diferença de densidade entre a fração leve (FL) e fração pesada (FP), mediante o uso de produtos com densidade de 1,1 a 2,4 g cm^{-3} (Christensen, 1992).

A FL representa MOP derivada dos resíduos de plantas e hifas que ainda apresentam estruturas celulares reconhecíveis, cuja permanência no solo está condicionada à recalcitrância de seus compostos constituintes e à proteção física exercida pelos agregados (Sollins et al., 1996), podendo ser metodologicamente separada como fração leve livre (FLL) e fração leve oclusa (FLO). A FL é sensível às práticas de manejo, o que a torna uma importante fração na avaliação da qualidade do sistema de manejo no curto prazo. A FP representa a MOS em avançado estágio de decomposição, associada aos

minerais do solo (Cambardella & Elliott, 1993a), sendo mais estável e com maior tempo de residência no solo do que a FL (Christensen, 2001). Além da recalcitrância e proteção física, a FP é estabilizada no solo pela sua interação com a fração mineral, sendo o estoque de C nesta fração altamente dependente da textura e mineralogia do solo (Hassink et al., 1993; Feller & Beare, 1997)

Dentre os produtos utilizados no fracionamento densimétrico da MOS destaca-se o Nal com densidade máxima ao redor de $1,85 \text{ g cm}^{-3}$, e o PTS, que permite obtenção de soluções com densidade até $2,9 \text{ g cm}^{-3}$. Porém, a eficiência relativa desses produtos entre si não tem sido avaliada. Barrios et al. (1996) utilizaram Nal e PTS para obtenção da FL, porém a metodologia adotada diferiu para cada produto impedindo maiores comparações. Shang & Tiessen (2001) utilizaram PTS e Nal em estudos de fracionamento e comentam brevemente sobre a impossibilidade da utilização dos dados gerados com uso de Nal $1,7 \text{ g cm}^{-3}$ devido à baixa recuperação de C na FL não sendo no entanto atribuída uma razão clara para isso.

Um fator importante é a influência da densidade da solução na recuperação das frações densimétricas do solo, porém, trabalhos com esse enfoque com a obtenção somente da FL são escassos. Shang & Tiessen (2001) utilizando PTS nas densidades de 1,8, 2,0, 2,2 e $2,4 \text{ g cm}^{-3}$ em um método de extração paralela (uma amostra de solo para cada densidade utilizada) para a fração silte de um Latossolo tropical (190 g kg^{-1} de argila) encontraram incremento do C da FL de 39% pela utilização de solução na densidade $2,0 \text{ g cm}^{-3}$ em comparação a solução na densidade $1,8 \text{ g cm}^{-3}$ e de 43% quando utilizada solução com $2,2 \text{ g cm}^{-3}$ em comparação à solução $2,0 \text{ g cm}^{-3}$. Sohi et al. (2001) em trabalho comparando soluções com diferentes densidades de Nal não obtiveram aumento na recuperação da FLL pela alteração da densidade da solução de 1,6 para 1,7 e $1,8 \text{ g cm}^{-3}$ mas ocorreram aumentos de 10 a 170% para a separação da FLO. Golchin et al. (1994b) utilizando PTS encontraram 188% de aumento no C recuperado na FLO pela alteração da densidade de $1,6 \text{ g cm}^{-3}$ para $1,8 \text{ g cm}^{-3}$ e 48% pela mudança de $1,8 \text{ g cm}^{-3}$ para $2,0 \text{ g cm}^{-3}$ para solos com 170 g kg^{-1} de argila. Os autores observaram incrementos na recuperação de C de 90 e 19% para as alterações nas mesmas densidades anteriores para um Latossolo (720 g kg^{-1} de argila).

No presente estudo objetivou-se avaliar a eficiência da solução de NaI e de PTS e, de diferentes densidades da solução de PTS, no rendimento de C da FL da MOS em dois solos com textura e mineralogia distinta.

4.2 Material e métodos

Amostras da camada de 0-5 cm de um Argissolo Vermelho distrófico (Embrapa, 1999) de textura franco-argilo-arenosa, caulínico, substrato granito, localizado na Estação Experimental Agronômica da UFRGS, em Eldorado do Sul (RS), e de um Latossolo Vermelho distroférico (Embrapa, 1999) de textura muito argilosa, álico, de um experimento da Embrapa Agropecuária Oeste, localizado no município de Dourados (MS) foram utilizadas no presente estudo. Para o Argissolo foram coletadas amostras de área sob plantio direto por 18 anos na sucessão aveia (*Avena strigosa* Schreber)+ervilhaca (*Vicia sativa* L.) / milho (*Zea mays* L.)+caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) e adubada com 180 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ na cultura do milho. O Latossolo foi amostrado em uma área manejada sob pastagem permanente de braquiária (*Brachiaria decumbens*) por nove anos. As características dos solos são apresentadas na Tabela 2. As amostras de solo foram coletadas em mini-trincheiras de 10x40 cm, secas ao ar, moídas e passadas em peneira de 2,0 mm. Parte da amostra de solo foi analisada quanto ao teor de carbono orgânico total (COT), através do método de combustão seca em analisador Shimadzu TOC-V SH, e a outra parte, submetida ao fracionamento densimétrico.

Tabela 2. Características gerais dos solos.

Solo	Distribuição granulométrica			Fração Argila	
	Areia	Silte	Argila	Óxidos de Ferro	Carbono
	-----g kg ⁻¹ -----				
Argissolo Vermelho	540	240	220	56,3	50,4
Latossolo Vermelho	155	215	630	135,0	22,5

A FL e a FP foram separadas por densimetria (Golchin et al., 1994a), em soluções de NaI (d = 1,8 g cm⁻³) e PTS (d = 1,8, 2,0 e 2,2 g cm⁻³) sendo a densidade das soluções aferidas por meio de balança. O pH da solução de NaI

foi reduzido para 4,0 mediante adição de HCl 1N, para ser semelhante ao pH inicial da solução de PTS e evitar a solubilização de MOS. O fracionamento foi efetuado em triplicata para cada densidade. Um volume de 80 mL de solução de NaI ou PTS foi adicionado a 20 g de solo em tubo de centrifuga de 100 mL (Figura 1). A suspensão foi submetida à dispersão com ultra-som com energia de 250 J mL^{-1} para o Argissolo e 450 J mL^{-1} para o Latossolo, as quais foram previamente determinadas para a obtenção da máxima dispersão dos agregados em suas partículas primárias. Após a dispersão, a suspensão foi centrifugada a 2000 g por 90 minutos e a FL recuperada pela passagem do sobrenadante em filtros Whatman GF/C os quais foram lavados com água destilada para remoção do resíduo do sal. Os filtros com a FL foram secos em estufa a 60°C por 24 horas e, posteriormente, moídos em gral de ágata. Ambas as soluções de NaI e PTS foram recuperadas e recicladas de acordo com metodologia descrita em Six et al. (1999a).

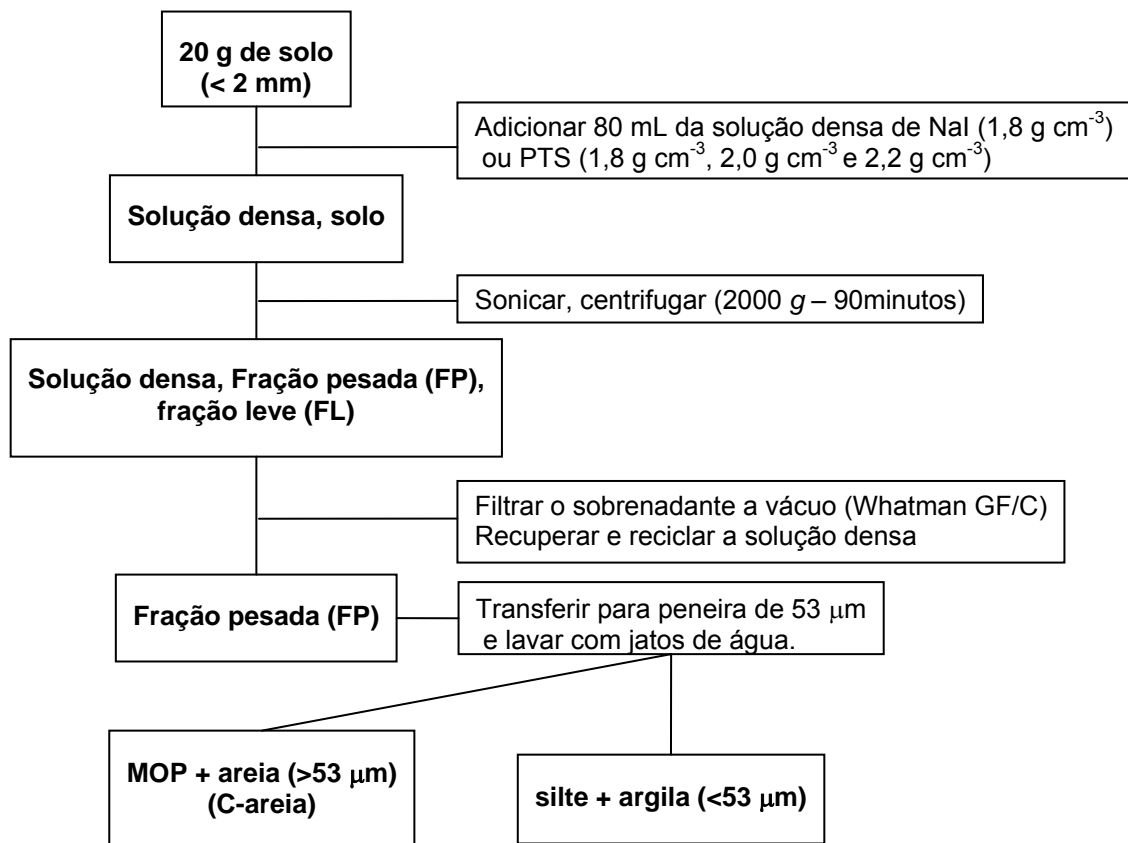


Figura 1. Esquema simplificado do fracionamento físico densimétrico para separação da fração leve (FL), fração pesada (FP) e da fração particulada residual de granulometria tamanho areia (C-areia).

A FP sedimentada no tubo foi submetida a fracionamento granulométrico (Cambardella & Elliott, 1992) mediante transferência do material para uma peneira de 53 μm e lavagem com jatos de água. O material retido na peneira, composto de areia e MOP, foi passado para potes de 100 mL e seco em estufa a 60°C, sendo essa fração denominada de C-areia. Visando avaliar a possibilidade de recuperação de argilominerais nas densidades mais elevadas da solução de PTS foram efetuadas análises de ferro total (Fe_t) (Fey & Dixon, 1983) para a FL e, para a fração argila (<2 μm) que foi obtida através de separação granulométrica (Gee & Bauder, 1986). A FL, a fração C-areia, a argila e o solo integral foram pesados, moídos e analisados quanto aos teores de C pelo método da combustão seca em analisador Shimadzu-TOC-V CSH. A concentração de C na FP foi obtida por diferença entre o C do solo integral e o C da FL. Dessa forma, o C da fração C-areia embora quantificado separadamente, foi contabilizado como pertencente à FP.

Visando a caracterização visual da FL e C-areia por microscopia ótica foi efetuado mais um fracionamento (quarta repetição). Após a obtenção da fração C-areia e transferência com água destilada da mesma para os potes de 100 mL, o material foi agitado com bastão de vidro e o sobrenadante contendo o material orgânico foi transferido para outro pote, completado a 50 mL e uma alíquota de 5 mL sifonada. A FL, a alíquota da fração C-areia e o restante do material orgânico dessa fração foram filtrados em filtro Whatman GF/C, liofilizados e visualizados em microscópio ótico com magnificação de 2 a 8 vezes para identificação visual dos materiais constantes na FL e C-areia e, fotografadas com câmera digital.

Os resultados do fracionamento foram submetidos à análise da variância considerando um delineamento inteiramente casualizado, sendo as diferenças entre médias avaliadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% e separadamente para cada solo.

4.3 Resultados e discussão

A utilização da solução de PTS resultou num aumento do rendimento de C na FL de 152% no Argissolo e de 166% no Latossolo em comparação à solução de NaI, ambas com a densidade 1,8 g cm^{-3} (Tabela 3). Possivelmente

uma causa seja a formação de complexos da MOS com o íon I^- aumentando a densidade da MOP e diminuindo a recuperação da FL com o uso do NaI. Além de proporcionar aumento do rendimento de C na FL, a utilização da solução de PTS $1,8 \text{ g cm}^{-3}$ também resultou em redução de 73 e 42% no C da fração C-areia, para o Argissolo e Latossolo, respectivamente, demonstrando uma eficiência maior do PTS em relação ao NaI na recuperação da FL da MOS.

Tabela 3. Efeito da solução de Iodeto de Sódio (NaI) e Politungstato de Sódio (PTS) e da alteração da densidade da solução de PTS na recuperação de carbono nas frações leve (FL), fração particulada residual de granulometria tamanho areia (C-areia) e pesada (FP) e, concentração de óxidos de ferro na FL, na camada de 0 a 5 cm.

Solo	Produto	Densidade	FL	C-areia	FP	Ferro
		g cm^{-3}g C kg^{-1} solo.....			.mg g^{-1} FL.
	NaI	1,8	1,83 d	1,67 a	19,52	24,90
Argissolo	PTS	1,8	4,62 c	0,44 b	16,74	24,30
		2,0	7,25 b	0,22 b	14,10	29,00
		2,2	8,76 a	0,22 b	12,60	32,00
	NaI	1,8	1,50 c	1,30 a	24,43	48,50
Latossolo	PTS	1,8	3,99 b	0,75 b	21,93	41,70
		2,0	6,31 a	0,44 bc	19,62	50,30
		2,2	6,64 a	0,40 c	19,29	49,30

Médias seguidas pela mesma letra na coluna, dentro de cada solo, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

A metodologia utilizada para a obtenção da fração C-areia foi a do fracionamento granulométrico (Cambardella & Elliott, 1992) e, portanto, o material retido nessa fração é, por conceito, MOP a qual deveria ter sido recuperada como FL. Isso foi corroborado pela análise de microscopia ótica que demonstrou ser a fração C-areia constituída basicamente de fragmentos de raízes e organismos da fauna do solo, hifas e resíduos de plantas em decomposição (Figura 2b e Figura 3) possuindo, portanto, semelhança com o material retido nos filtros como FL e observado também ao microscópio ótico (Figura 2a). Embora a concentração de C na fração C-areia obtida com o uso de solução de NaI $1,8 \text{ g cm}^{-3}$ em números absolutos aparentemente seja baixo (1,30 a $1,67 \text{ g C kg}^{-1}$ de solo), a mesma representou aproximadamente 8% do

COT no argissolo sendo mais de 85% do C recuperado como FL. Essa elevada proporção de C na fração C-areia comparativamente a FL é conceitualmente inexplicável uma vez que as partículas simples de granulometria areia são constituídas basicamente de quartzo e minerais primários no Argissolo, não possuindo grande capacidade de efetuarem ligações com a MOS (Elliott et al., 1991; Deneff et al., 2001).

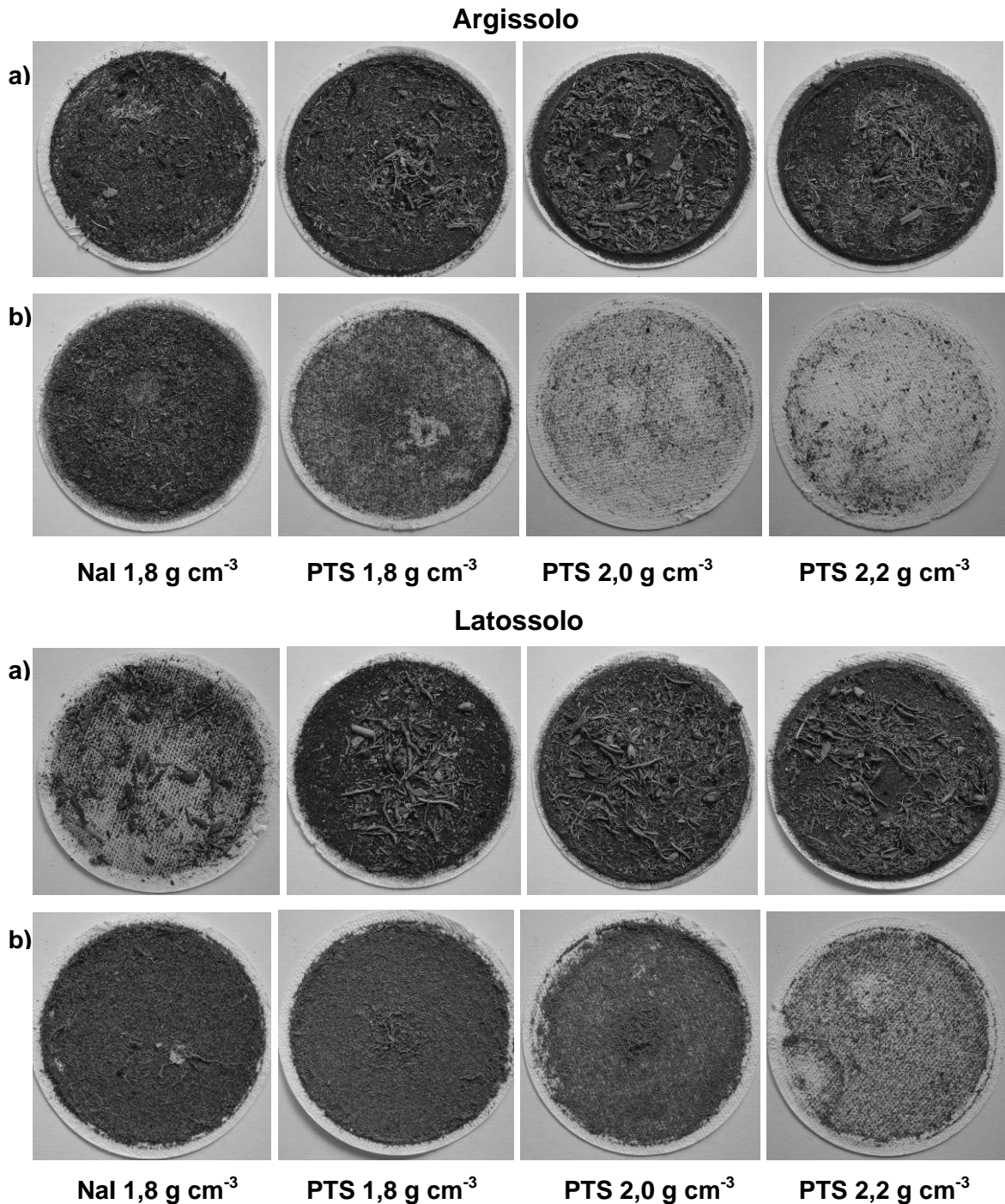


Figura 2. Visualização do aspecto dos filtros da fração leve (FL) (a) e do material retido na fração C-areia (b) do Argissolo de Eldorado do Sul e do Latossolo de Dourados.

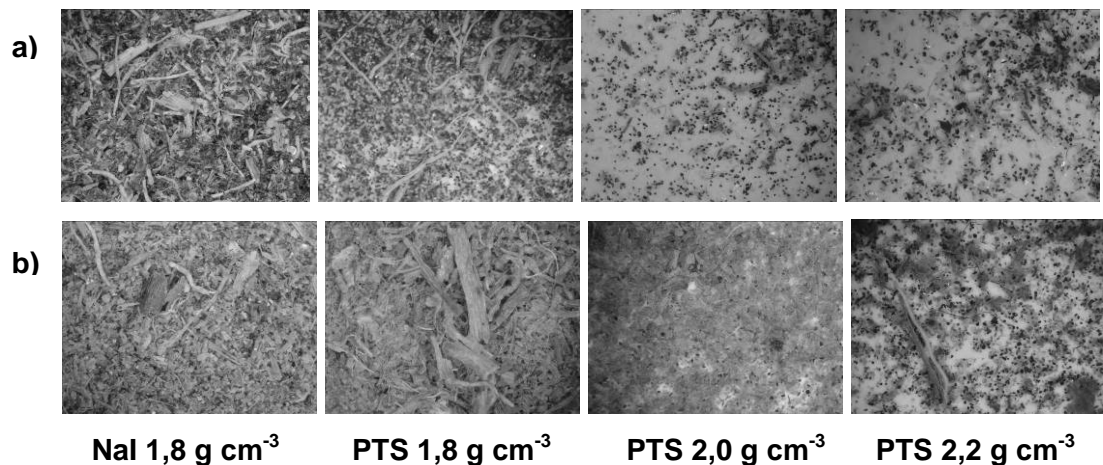


Figura 3. Detalhe do material recuperado na fração areia após a extração da fração leve da MOS do Argissolo de Eldorado do Sul (a) e do Latossolo de Dourados (b).

A recuperação de C na FL de ambos os solos aumentou aproximadamente 57% com o aumento da densidade da solução de PTS de $1,8 \text{ g cm}^{-3}$ para $2,0 \text{ g cm}^{-3}$ sendo acompanhado por uma diminuição do C na fração C-areia em 50% para o Argissolo e em 41% para o Latossolo. Assim, a redução no rendimento de C da fração C-areia foi de 87 e 66% no PTS $2,0 \text{ g cm}^{-3}$, relativo ao NaI $1,8 \text{ g cm}^{-3}$ para o Argissolo e o Latossolo, respectivamente. O teor de C recuperado na fração C-areia, com o uso de PTS $2,0 \text{ g cm}^{-3}$ representa aproximadamente 1% da concentração do COT em ambos os solos e 3 e 7% do C da FL obtido nessa densidade, para o Argissolo e o Latossolo, respectivamente. O subsequente incremento na densidade da solução de PTS de $2,0 \text{ g cm}^{-3}$ para $2,2 \text{ g cm}^{-3}$ resultou em aumentos menos expressivos na recuperação de C da FL (5 e 21% para o Latossolo e Argissolo, respectivamente) não ocorrendo diminuição do C na fração C-areia em ambos os solos. Além disso, o uso de solução de PTS $2,2 \text{ g cm}^{-3}$ dificultou o manuseio da amostra no momento da filtragem da FL devido a baixa consistência do “pellet” após a centrifugação.

Ao calcularmos a diferença entre a concentração de C da FL obtida pelo uso de PTS nas densidades $1,8$ e $2,0 \text{ g cm}^{-3}$ para o Argissolo, obtivemos o valor absoluto de $2,63 \text{ g kg}^{-1}$ enquanto que o mesmo cálculo para o C da fração C-areia resulta em $0,22 \text{ g kg}^{-1}$. Isso evidencia que o método do peneiramento utilizado na quantificação do C na fração C-areia apresentou uma baixa eficiência na recuperação do C não separado no fracionamento densimétrico.

Uma parcela significativa ($2,41 \text{ g C kg}^{-1}$ de solo) da FL do Argissolo obtido nas amostras utilizando PTS $2,0 \text{ g cm}^{-3}$ não foi recuperado como C-areia no peneiramento ($53 \mu\text{m}$) da fração pesada das amostras utilizando PTS $1,8 \text{ g cm}^{-3}$. Da mesma forma, para o Latossolo, ocorreu um aumento de $2,34 \text{ g C kg}^{-1}$ de solo na FL, com uma redução de apenas $0,31 \text{ g C kg}^{-1}$ de solo na fração C-areia. Assim, o uso do método granulométrico posterior ao densimétrico não representou uma alternativa eficiente para a quantificação do C da FL do solo quando foi utilizada solução de NaI, bem como quando do uso de densidades mais baixas da solução de PTS.

Dados de literatura, utilizando NaI, indicam o C na FP como predominante nos solos representando mais de 80% do COT (Roscoe et al., 2001; Sohi et al., 2001; Freixo et al., 2002a,b,c; Roscoe & Buurman, 2003; Pinheiro et al., 2004). No presente estudo utilizando NaI $1,8 \text{ g cm}^{-3}$ o C na FP correspondeu a 91 e 94% do COT para o Argissolo e Latossolo, respectivamente (Tabela 3). Porém, com o uso de PTS $2,0 \text{ g cm}^{-3}$ o C na FP passou a representar 66 e 76% do COT no Argissolo e Latossolo, respectivamente, sendo superiores aos obtidos por Golchin et al (1994b) que quantificaram 28 a 52% do COT na FP também com o uso de solução de PTS $2,0 \text{ g cm}^{-3}$. Assim, o C na FP diminuiu em $5,4 \text{ g kg}^{-1}$ entre NaI $1,8 \text{ g cm}^{-3}$ e PTS $2,0 \text{ g cm}^{-3}$ para o Argissolo (Tabela 3). Para o Latossolo ocorreu uma redução de $4,8 \text{ g kg}^{-1}$ para a FP na mesma comparação. Dessa forma, a importância da FP no estoque de MOS foi diminuída pela maior recuperação de C na FL com a utilização do PTS.

O aumento na recuperação de C como FL, pelo aumento da densidade de PTS, foi acompanhada por um acréscimo na concentração de ferro na FL (Tabela 3), sugerindo uma contaminação dessa fração orgânica com fração mineral (óxidos de Fe e argila). Considerando que com a utilização de NaI $1,8 \text{ g cm}^{-3}$ os filtros não apresentaram evidências de presença de argila, a fração obtida nessa densidade foi utilizada como referência da concentração de Fe_t na FL da MOS. Com o uso do PTS $1,8 \text{ g cm}^{-3}$ as amostras tiveram concentrações de Fe_t inferiores às obtidas para o NaI $1,8 \text{ g cm}^{-3}$. O uso de PTS $2,0$ e $2,2 \text{ g cm}^{-3}$ resultou em aumento na concentração de Fe_t para o Argissolo de 16 e 28%, respectivamente, relativo ao NaI $1,8 \text{ g cm}^{-3}$. Com base nos teores de Fe_t da fração argila (Tabela 2) estimou-se que a contaminação da FL com C

da fração argila variou de 6,8 a 10,4% no Argissolo e de 1,9 a 3,5% no Latossolo, a qual foi considerada baixa em todos os tratamentos. Esses percentuais são inferiores ao percentual de incremento de C na FL obtido pelo uso da densidade de $2,0 \text{ g cm}^{-3}$ em substituição a densidade de $1,8 \text{ g cm}^{-3}$ (57% para ambos os solos).

4.4 Conclusões

A solução de PTS foi mais eficiente na recuperação da FL do que a solução de NaI, ambos em densidade $1,8 \text{ g cm}^{-3}$.

A solução de PTS na densidade $2,0 \text{ g cm}^{-3}$ mostrou-se mais adequada para utilização em estudos de fracionamento densimétrico da MOS por aumentar o rendimento da FL.

5 ESTUDO II: FRACIONAMENTO DENSIMÉTRICO COM IODETO E POLITUNGSTATO DE SÓDIO EM ESTUDOS DE PROTEÇÃO FÍSICA DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO

5.1 Introdução

O estudo da MOS através do fracionamento físico possibilita a separação de compartimentos com dinâmicas e funções distintas no solo, permitindo analisar a relação entre a composição da MOS e a sua localização na estrutura do solo bem como a interação com a matriz mineral (Christensen, 1992). O fracionamento densimétrico baseia-se na diferença de densidade entre as frações orgânica e mineral pelo uso de soluções com densidades variando de 1,1 a 2,4 g cm⁻³ (Christensen, 1992, 2001). Dentre os produtos utilizados atualmente para separação das frações, os mais comuns são o iodeto de sódio (NaI) e o politungstato de sódio (PTS) basicamente devido a sua menor toxicidade em comparação às soluções orgânicas (Christensen, 1992).

Através do fracionamento densimétrico é possível a obtenção de três frações da MOS. A Fração Leve Livre (FLL) ou interagregados possui composição comparável àquela de materiais vegetais e, o único mecanismo de proteção atuante é a recalcitrância intrínseca da biomolécula (Sollins et al., 1996). A Fração Leve Oclusa (FLO) ou intra-agregados, compreende um diversificado conjunto de compostos orgânicos, com grau de decomposição mais avançado em comparação a FLL (Golchin et al., 1994a,b; Golchin et al., 1997; Christensen, 2000; Freixo et al., 2002b) sendo protegida pela recalcitrância molecular e, principalmente, pela oclusão ou proteção física em agregados (Sollins et al., 1996). A Fração Pesada (FP) é composta basicamente pela MO associada à fração mineral do solo, apresentando

estágio mais avançado de decomposição e com densidade superior a da solução utilizada no fracionamento (Christensen, 1992; Sollins et al., 1996). Nessa fração, em adição ao mecanismo de recalcitrância e de oclusão, a complexação ou proteção coloidal atua como mecanismo de estabilização da MOS.

Os resultados obtidos em estudos com fracionamento densimétrico da MOS são contrastantes e indicam a predominância da FLL sobre a FLO o que evidencia pequena relevância da proteção física na manutenção da MOS (Golchin et al., 1994a; Roscoe et al., 2001; Sohi et al., 2001; Freixo et al., 2002a,c; Rovira & Vallejo, 2003; Pinheiro et al., 2004) ou, evidenciam a FLO como predominante sobre a FLL (Golchin et al., 1994b; Parfitt et al., 1997; Wander & Bidart, 2000). Freixo et al. (2002a,c) estudando Latossolos da região de Goiânia (GO) e Passo Fundo (RS) utilizando solução de NaI encontraram menores estoques de C na FLO em todas as camadas do solo e sistemas de manejo demonstrando a predominância no solo da FLL. Para o Latossolo de Passo Fundo (Freixo et al., 2002c) o estoque de C na FLO representou aproximadamente 1% do COT com exceção da área de referência (mata nativa) onde o estoque de C da FLO foi de 2,7% do COT, enquanto a FLL apresentou 37% do COT do solo. Para um Latossolo Amarelo de Goiânia, Freixo et al. (2002a) verificaram maior oclusão no solo em PD do que no solo em PC somente para a camada de 0-5 cm, embora ainda com maior estoque de C na FLL do que na FLO. Na média dos tratamentos avaliados na camada de 0-5 cm o C na FLO representou aproximadamente 22% do C na FLL.

Em trabalho também sob condições de Cerrado brasileiro, Roscoe et al. (2001) comparando áreas de pastagem de braquiária com áreas de cerrado nativo utilizando solução de NaI $1,7 \text{ g cm}^{-3}$ encontraram valores de C na FLO correspondendo a apenas 11% do C na FLL. Pinheiro et al. (2004) avaliando um Latossolo em Paty de Alferes -(RJ), também verificaram que a FLL foi mais sensível às variações dos sistemas de manejo. As concentrações de C na FLL e FLO em área de pastagem com capim colônio foram de $22,1 \text{ g kg}^{-1}$ e $1,1 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente, representando o C no material ocluso 5% do C na FLL do solo.

Sohi et al. (2001) trabalhando com solução de NaI em densidades de 1,6, 1,7 e $1,8 \text{ g cm}^{-3}$ e amostras a partir de agregados com diâmetro inferior a

6,25 mm, para solos de diferentes texturas, obtiveram concentração de C na FLO superiores as concentrações na FLL para um solo argiloso e na densidade de $1,8 \text{ g cm}^{-3}$. Diferentemente de Sohi et al. (2001), Parfitt et al. (1997) em trabalho também efetuado com agregados de diâmetro inferior a 6 mm, porém utilizando solução de PTS de densidade $1,6 \text{ g cm}^{-3}$, demonstraram que a FLO foi 3 a 4 vezes superior à FLL. Por outro lado, Golchin et al. (1994a) trabalhando com solução de PTS na densidade de $1,6 \text{ g cm}^{-3}$ encontrou a FLO inferior a FLL. Porém, quando a densidade foi elevada para 1,8 e $2,0 \text{ g cm}^{-3}$ (Golchin et al., 1994b) a FLO passou a ser 3,6 a 5,4 vezes superior à FLL demonstrando a importância da utilização de maiores densidades da solução em estudos de proteção física da MOS.

O objetivo desse estudo foi avaliar o efeito do uso de soluções de NaI e de PTS na densidade de $1,8 \text{ g cm}^{-3}$, sobre o rendimento de C das FLL, FLO e FP e o efeito do aumento da densidade do segundo produto sobre o rendimento de C no fracionamento densimétrico em dois solos com textura e mineralogia distintas, bem como avaliar a influência dos resultados obtidos com os dois produtos na avaliação da magnitude da proteção física como mecanismo de estabilização da MOS em diferentes sistemas de manejo.

5.2 Material e métodos

Blocos indeformados de solo da camada de 0-5 cm foram coletados de dois experimentos de longa duração. O primeiro solo amostrado foi um Argissolo Vermelho distrófico (Embrapa, 1999), textura franco-argilo-arenosa, caulínico, substrato granito, localizado na Estação Experimental Agronômica da UFRGS, em Eldorado do Sul (RS), tendo sido o experimento instalado em 1985. O clima da região, segundo classificação de Köppen, é subtropical de verão úmido quente do tipo fundamental Cfa e a precipitação média anual é de 1440 mm. O segundo solo amostrado foi um Latossolo Vermelho distroférico (Embrapa, 1999), textura muito argilosa, álico, de um experimento instalado em 1995, pertencente a Embrapa Agropecuária Oeste, localizado no município de Dourados (MS). O clima de ocorrência é o Aw (Köppen), com estação quente e chuvosa no verão e acentuadamente seca no inverno. Demais características dos solos encontram-se na Tabela 2.

No Argissolo, foram amostrados o sistema de culturas aveia/milho sob preparo convencional do solo (PC AM) e aveia (*Avena strigosa*)+ervilhaca (*Vicia sativa*) / milho (*Zea mays*)+caupi (*Vigna unguiculata*) (PD AVMC) sob plantio direto. No Latossolo amostrou-se o preparo convencional (PC) na sucessão aveia/soja (*Glicine max*) e pastagem permanente (Pastagem) de braquiária (*Brachiaria decumbens*). As amostras do Argissolo foram coletadas no final do ciclo das culturas de inverno do ano de 2003, antes do preparo do solo para a semeadura da cultura de verão, na primeira quinzena de outubro, enquanto que as amostras do Latossolo foram coletadas após a colheita das culturas de verão, no mês de abril de 2004, antecedendo a estação seca.

Os agregados de solo foram separados em peneira de malha de 9,51 mm, secos ao ar e submetidos ao fracionamento densimétrico da MOS visando a obtenção da FLL e FLO (Golchin et al., 1994a), utilizando NaI 1,8 g cm⁻³ e PTS nas densidades 1,8, 2,0 e 2,2 g cm⁻³. O pH da solução de ambos os produtos foi mantido em 4,0 e o fracionamento foi efetuado em triplicatas.

No fracionamento físico densimétrico 20 g de solo (agregados com diâmetro inferior a 9,51mm) foram colocados em tubo de centrifuga de 100 mL contendo 80 mL de solução de NaI ou PTS (Figura 4). O tubo foi fechado com rolha e invertido lenta e manualmente por cinco vezes, visando à liberação da FLL e evitando o rompimento dos agregados. A suspensão foi centrifugada a 2000 g por 90 minutos e o sobrenadante contendo a FLL da MOS filtrado, sob vácuo, em filtro Whatman GF/C, previamente pesado. Para retirar o excesso de sal (NaI ou PTS) o filtro+FLL foi lavado com água destilada, sendo seco a 60°C por 24 horas e quantificado quanto à massa do filtro+FLL. Para separar a FLO, a solução de NaI ou PTS foi retornada ao tubo contendo o “pellet” que foi ressuspenso e, submetido à dispersão com ultra-som, mediante energia de 250 J mL⁻¹ para o Argissolo e 450 J mL⁻¹ para o Latossolo. Após a dispersão, a suspensão foi novamente centrifugada e a FLO obtida por filtração da mesma forma que a FLL. As soluções de NaI e de PTS foram recuperadas e recicladas segundo Six et al. (1999a), sendo o teor de C monitorado por meio de análise em Analisador Shimadzu.

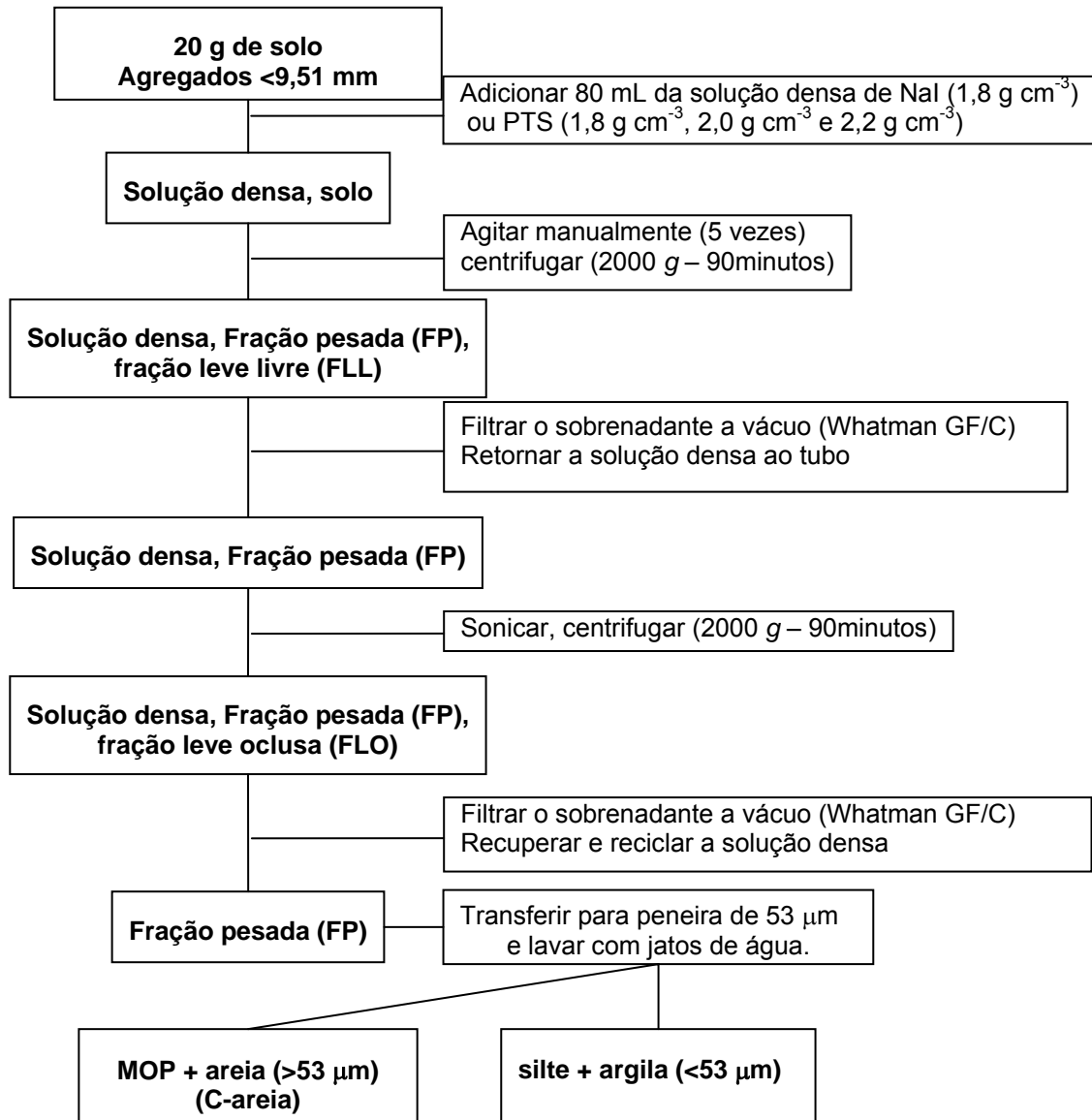


Figura 4. Esquema simplificado do fracionamento físico densimétrico para separação da fração leve livre (FLL), leve oclusa (FLO), fração pesada (FP) e a fração particulada residual de granulometria tamanho areia (C-areia).

Após a obtenção da FLO o material que restou no tubo, correspondendo a FP, foi ressuspenso e submetido a fracionamento granulométrico (Cambardella & Elliott, 1992) mediante transferência do material para uma peneira de 53 μm e lavagem com jatos de água. O material retido na peneira, composto de areia e MOP, foi passado para potes de 100 mL e seco em estufa a 60°C, sendo essa fração denominada de C-areia. As frações densimétricas, a obtida em peneira (C-areia) e o solo integral foram analisados em relação aos teores de C pelo método da combustão seca em analisador Shimadzu-TOC-V CSH. O C da fração pesada foi obtido por diferença entre o

COT do solo e o C da FLL+FLO, sendo, portanto, o C da fração C-areia considerado como pertencente à FP para fins de discussão do estoque dessa fração. Os estoques de C para as frações e para o solo inteiro foram calculados em massa equivalente de acordo com o proposto por Ellert & Bettany (1995) considerando o tratamento sob sistema conservacionista como referência.

Os resultados foram submetidos à análise da variância separadamente para cada solo considerando um delineamento inteiramente casualizado, sendo a diferença entre médias avaliada pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

5.3 Resultados e discussão

5.3.1 Concentração de C na FLL, na FLO e na fração C-areia

Considerando a densidade $1,8 \text{ g cm}^{-3}$ para ambos os produtos, o uso de solução de PTS aumentou o rendimento de C na FLO (176 a 726%) não ocorrendo incremento no rendimento de C da FLL em comparação ao uso de solução de NaI (Tabela 4). Assim, houve aumento no rendimento de C da FLO com o uso de solução de PTS $2,0 \text{ g cm}^{-3}$ de $0,60$ e $1,83 \text{ g kg}^{-1}$ para o Argissolo em PC e PD, respectivamente, e de $1,62$ e $3,27 \text{ g C kg}^{-1}$ para o Latossolo em PC e sob Pastagem, respectivamente. Portanto, a subestimação da FLO pelo uso de solução de NaI foi mais acentuada no Latossolo (85 a 88%) do que no Argissolo (64 a 73%)

A concentração de C na FLL utilizando solução de NaI foi superior a da FLO independente do sistema de manejo e do tipo de solo. Para o Argissolo o rendimento de C na FLL foi 1,6 e 1,8 vezes superior ao da FLO para o solo em PC e em PD, respectivamente (Tabela 4). Para o Latossolo essa superioridade foi de 2,3 e 3,3 vezes para o solo em PC e para o solo da Pastagem, respectivamente. Assim, quando se utiliza o NaI, o menor teor de C na FLO em relação à FLL pode ser considerado um indicativo de que o mecanismo de oclusão possui menor importância sobre a proteção e estabilização da MOS, devido ao maior acúmulo de C na FLL (proteção apenas pela recalcitrância molecular) ou como FP (proteção por oclusão, proteção coloidal e recalcitrância molecular), do que como FLO (proteção por oclusão).

Tabela 4. Recuperação de C da Fração leve livre (FLL), leve oclusa (FLO), fração particulada residual de granulometria tamanho areia (C-areia) e da fração pesada (FP), para sistemas de uso e manejo do solo em um Argissolo Vermelho subtropical e um Latossolo Vermelho tropical, obtidas com o uso de iodeto de sódio (NaI) e politungstato de sódio (PTS) em diferentes densidades.

Solo	Sistemas de manejo	Produto	Densidade	FLL	FLO	C-areia	FP
			-----g cm ⁻³ -----	-----g C kg ⁻¹ de solo-----			
Argissolo	PC ¹	NaI	1,8	0,53 aB	0,34 cA	0,37 aB	8,72 aB
		PTS	1,8	0,37 aB	0,94 bB	0,18 bB	8,28 abB
		PTS	2,0	0,50 aB	1,44 abB	0,18 bB	7,65 bcB
		PTS	2,2	0,57 aB	1,61 aB	0,09 bB	7,42 cB
	PD ²	NaI	1,8	1,22 bA	0,68 dA	1,55 aA	14,24 aA
		PTS	1,8	1,25 bA	2,51 cA	0,56 bA	12,37 bA
		PTS	2,0	1,73 aA	4,99 bA	0,20 cA	9,42 cA
		PTS	2,2	2,08 aA	5,91 aA	0,16 cA	8,14 dA
Latossolo	PC ³	NaI	1,8	0,63 bB	0,28 cA	0,56 aB	15,92 aB
		PTS	1,8	0,65 bB	1,90 bB	0,40 aB	14,28 bB
		PTS	2,0	1,16 aB	2,50 abB	0,30 bB	13,18 cB
		PTS	2,2	1,08 aB	2,48 aB	0,21 bA	13,28 cB
	Pastagem ⁴	NaI	1,8	1,48 aA	0,45 dA	1,21 aA	25,03 aA
		PTS	1,8	1,98 aA	3,72 cA	0,73 bA	21,25 bA
		PTS	2,0	2,33 aA	4,83 bA	0,47 cA	19,79 cA
		PTS	2,2	2,03 aA	5,56 aA	0,26 cA	19,36 cA

¹-PC= Preparo convencional no sistema aveia/milho; ²- PD= plantio direto no sistema aveia+vica/milho+caupi; ³-PC= preparo convencional no sistema trigo/soja

⁴- Pastagem permanente de *Brachiaria decumbens*. Médias seguidas pelas mesmas letras (minúsculas) na coluna comparam densidades e produtos dentro dos sistemas de uso e manejo em cada solo e por letras maiúsculas comparam sistemas de preparo entre si dentro de cada produto e densidade num mesmo solo, não diferindo entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Dessa forma, os resultados obtidos neste estudo com NaI, bem como os resultados de literatura utilizando esse produto (Roscoe et al., 2001; Sohi et al., 2001; Freixo et al., 2002a,c; Pinheiro et al., 2004), permitem definir a FLL como a mais dependente e sensível às variações dos sistemas de manejo e preponderante no solo sobre a FLO. Assim, o processo de proteção por oclusão tem menor importância com relação à concentração de C mantido como resíduos menos decompostos (FLL).

Porém, comparando as duas frações densimétricas entre si, quando foi utilizada solução de PTS na mesma densidade da solução de NaI ($1,8 \text{ g cm}^{-3}$) ocorre uma inversão na interpretação dos resultados. Enquanto com o NaI $1,8 \text{ g cm}^{-3}$ a FLL foi superior a FLO, ao usarmos PTS $1,8 \text{ g cm}^{-3}$, a FLO passou a ser preponderante sobre a FLL. Dessa maneira, o efeito da oclusão como mecanismo de proteção da MOS tornou-se evidente, pois foi recuperado de 2 a 3 vezes mais C na FLO do que na FLL da MOS quando do uso de PTS $1,8 \text{ g cm}^{-3}$, em todos os sistemas de uso e manejo do solo.

Para os resultados obtidos com NaI $1,8 \text{ g cm}^{-3}$, o uso do Argissolo em sistema conservacionista (PD) resultou em maiores concentrações de C como FLL em relação ao solo em PC. Esse resultado evidenciou a importância da ausência do revolvimento no solo em PD que, associado à manutenção da palhada em superfície, altera o microclima do solo em comparação ao solo sob PC resultando em diminuição na taxa de decomposição da MOS. No entanto, para a FLO não houve diferenças significativas comparativamente ao solo em PC, o que não seria esperado uma vez que nessa fração além do mecanismo de proteção por recalcitrância molecular existe o mecanismo de proteção por oclusão que estaria atuando de forma a reduzir a velocidade de decomposição da MOS de forma mais efetiva no solo sem revolvimento. O mesmo ocorreu para o Latossolo entre o solo em PC e o solo sob pastagem em que as diferenças no rendimento de C da FLO foram de apenas $0,17 \text{ g C kg}^{-1}$ de solo, estatisticamente semelhantes. Dessa forma, enquanto para ambos os solos a concentração de C na FLL foi maior no solo sob sistema conservacionista, para a FLO não ocorreram aumentos na concentração de C pelo uso de sistemas sem revolvimento, quando a solução de NaI foi utilizada no fracionamento físico densimétrico. Porém, ao utilizarmos PTS $1,8 \text{ g cm}^{-3}$ a concentração de C na FLO foi 1,9 a 2,7 vezes superiores nos sistemas sem revolvimento relativo ao

solo em PC, sendo as diferenças de 1,57 e 1,82 g C kg⁻¹ de solo para o Argissolo e o Latossolo, respectivamente.

A proporção do COT protegido pelo mecanismo de oclusão foi muito semelhante entre os sistemas de manejo no argissolo quando do uso de solução de Nal, sendo de 3,5 e 4,3% para o solo em PC e PD, respectivamente indicando dessa forma que embora o estoque de COT tenha aumentado 68% pelo uso do solo em PD, esse incremento não ocorreu devido ao aumento de C na FLO. Porém, quando foi utilizado solução de PTS 1,8 g cm⁻³ a importância da oclusão como mecanismo de proteção da MOS em sistemas sem revolvimento do solo se destacou. A concentração de C na FLO representou no Argissolo em PC 9,8% do COT, enquanto que o acúmulo de material orgânico pela proteção física em agregados do solo em PD resultou em concentração de C na FLO de 15,5% do COT. Assim, diferentemente do obtido pelo uso de Nal 1,8 g cm⁻³, com o uso do PTS a razão FLO/COT foi 58% superior no solo em PD do que no solo em PC.

O melhor desempenho do PTS na mesma densidade do Nal foi evidenciado não somente pelo aumento da concentração de C das frações leves, mas também pela redução da MOP residual obtida como C-areia (Tabela 4) a qual constituiu-se basicamente em material livre não recuperado na separação da FLL e da FLO e, portanto, contabilizado como FP. Isso foi corroborado pela análise de microscopia ótica a qual demonstrou ser a fração C-areia constituída basicamente de fragmentos de raízes e organismos da fauna do solo, hifas e resíduos de plantas em decomposição conforme evidenciado no estudo anterior (Figura 3) possuindo, portanto, semelhança com o material recuperado como FLL ou FLO e observado também ao microscópio ótico (Figura 2).

Para o Argissolo em PC, a concentração de C na fração C-areia foi reduzida em 50% com o uso de Nal 1,8 g cm⁻³ sendo alterada de 0,37 g kg⁻¹ para 0,18 g kg⁻¹ (PTS 1,8 g cm⁻³) (Tabela 4). No Argissolo em PD a redução foi mais expressiva (64%), sendo a concentração de C reduzida de 1,55 g kg⁻¹ pelo uso do Nal 1,8 g cm⁻³ para 0,56 g kg⁻¹ com o uso de solução de PTS 1,8 g cm⁻³. Com o uso do Nal 1,8 g cm⁻³ quantificou-se 3,9 e 9,6% do COT na fração C-areia, para o Argissolo em PC e em PD, respectivamente. Para o Latossolo, o C na fração C-areia obtido com o uso de Nal 1,8 g cm⁻³, representou 3,3 e

4,5% do COT para o solo sob PC e Pastagem, respectivamente, sendo menores que o obtido por Freixo et al. (2002a,c) e Roscoe et al. (2001) em estudos também com Latossolos que foram de 2,3 a 10,6% do COT na média dos resultados experimentais. Com a utilização do PTS $1,8 \text{ g cm}^{-3}$ a concentração de C na fração C-areia foi reduzida para valores próximos a 2 e 3,5% do COT em ambos os solos.

O aumento da densidade da solução de PTS de $1,8$ para $2,0 \text{ g cm}^{-3}$ aumentou a concentração de C na FLL em $0,48 \text{ g kg}^{-1}$ para o Argissolo em PD e em $0,51 \text{ g kg}^{-1}$ para o Latossolo em PC. O aumento na densidade da solução de PTS de $1,8 \text{ g cm}^{-3}$ para $2,0 \text{ g cm}^{-3}$ proporcionou aumento no rendimento de C da FLO para todos os sistemas de manejo, sendo de $0,50$ e $2,48 \text{ g cm}^{-3}$ para o argissolo em PC e PD, respectivamente, e de $0,60$ e $1,11 \text{ g cm}^{-3}$ para o latossolo sob PC e Pastagem, respectivamente. Esses resultados significaram incrementos variando de 31 a 98%, semelhantes aos obtidos por Golchin et al. (1994b) utilizando PTS, os quais verificaram aumento de 48% e 19% no C recuperado na FLO pela alteração da densidade de $1,8 \text{ g cm}^{-3}$ para $2,0 \text{ g cm}^{-3}$ para solos com 170 e 720 g kg^{-1} de argila, respectivamente. Por sua vez, o uso de solução de PTS na densidade $2,2 \text{ g cm}^{-3}$ resultou em recuperação de C significativamente semelhante ao obtido para a densidade de $2,0 \text{ g cm}^{-3}$ para a maioria dos sistemas avaliados, indicando a maior adequação da solução de PTS na densidade $2,0 \text{ g cm}^{-3}$ na quantificação do rendimento de C das frações densimétricas em estudos sobre a proteção física da MOS em diferentes solos e sistemas de manejo.

5.3.2 Diferenças no estoque de C nas frações entre os sistemas de uso e manejo do solo

A maior recuperação de C pelo uso de solução de PTS $2,0 \text{ g cm}^{-3}$ teve influência nas diferenças obtidas nos estoques de C da FLL e FLO entre os sistemas de manejo para o Argissolo e para o Latossolo. Enquanto com o uso do NaI $1,8 \text{ g cm}^{-3}$ a diferença no estoque de C na FLL entre os sistemas PC e PD foi de $0,52 \text{ Mg ha}^{-1}$ no argissolo (Tabela 5), ao usar solução de PTS $2,0 \text{ g cm}^{-3}$ ela passou para $0,91 \text{ Mg ha}^{-1}$, significando um incremento de 75% na recuperação do C na FLL pelo uso da solução de PTS $2,0 \text{ g cm}^{-3}$.

Tabela 5. Estoque de C na fração leve livre (FLL), leve oclusa (FLO), fração particulada residual de granulometria tamanho areia (C-areia), pesada (FP) e no solo integral (COT) e relação da variação das frações com a variação do COT (Δ fração/ Δ COT) em dois sistemas de uso e manejo do solo, duas densidades e dois produtos para a camada de 0-5 cm de um Argissolo Vermelho subtropical e de um Latossolo Vermelho tropical.

Solo	Sistema de uso e manejo	Produto	Densidade da solução ---g cm ⁻³ ----	FLL	FLO	C-areia	FP	COT	Δ fração/ Δ COT			
									FLL	FLO	C-areia	FP
				-----Mg ha ⁻¹ -----								
Argissolo												
	PC ¹	Nal	1,8	0,40b	0,26a	0,28b	6,54b	7,20b				
	PD ²	Nal	1,8	0,92a	0,51a	1,16a	10,68a	12,10a	0,11	0,05	0,18	0,84
	PC	PTS	2,0	0,38b	1,08b	0,14a	5,74b	7,20b				
	PD	PTS	2,0	1,29a	3,74a	0,15a	7,07a	12,10a	0,19	0,54	0,01	0,27
Latossolo												
	PC ³	Nal	1,8	0,41b	0,18a	0,36b	10,35b	10,94b				
	Pastagem ⁴	Nal	1,8	0,96a	0,29a	0,79a	16,27a	17,52a	0,08	0,02	0,06	0,90
	PC	PTS	2,0	0,75b	1,62b	0,20b	8,57b	10,94b				
	Pastagem	PTS	2,0	1,51a	3,14a	0,30a	12,86a	17,52a	0,12	0,23	0,02	0,65

¹-PC= Preparo convencional no sistema aveia/milho; ²- PD= plantio direto no sistema aveia+vica/milho+caupi; ³-PC= preparo convencional no sistema trigo/soja
⁴- Pastagem permanente de *Brachiaria decumbens*. Médias seguidas de mesma letra dentro de cada solo comparam preparos entre si dentro de cada produto, não diferindo estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%.

Δ =PD-PC; para o Argissolo e Pastagem-PC; para o Latossolo.

Porém, é com relação a FLO que as diferenças se tornaram mais expressivas. O uso de Nal resultou em quantificação de estoque de C no PD de $0,51 \text{ Mg ha}^{-1}$ na FLO, sendo estatisticamente semelhante para o solo em PC ($0,26 \text{ Mg ha}^{-1}$). Com a utilização do PTS $2,0 \text{ g cm}^{-3}$ o estoque de C no Argissolo em PD ($3,74 \text{ Mg ha}^{-1}$) foi 3,5 vezes superior ao estoque obtido para o solo em PC ($1,08 \text{ Mg ha}^{-1}$). Dessa forma, comparativamente a solução de Nal, o uso de solução de PTS proporcionou a recuperação de $2,41 \text{ Mg C ha}^{-1}$ a mais como FLO entre os sistemas de preparo, ressaltando o efeito do uso de sistema sem revolvimento do solo na manutenção da MOS protegida como FLO. Isso significa que a utilização de um sistema com menor revolvimento do solo associado à maior complexidade de culturas possibilitou a entrada no sistema de energia e matéria favorecendo os processos ordenativos que levam a melhoria da qualidade do solo (Vezzani, 2001) e ao surgimento das propriedades emergentes como a agregação e possibilitando uma proteção mais efetiva da MOS por oclusão (Golchin et al., 1997).

No Latossolo, a diferença no estoque de C da FLL entre o solo em PC e o manejado com pastagem foi de $0,55$ e $0,76 \text{ Mg ha}^{-1}$ utilizando o Nal $1,8 \text{ g cm}^{-3}$ e PTS $2,0 \text{ g cm}^{-3}$, respectivamente. Já para a FLO as diferenças foram de $0,11 \text{ Mg ha}^{-1}$ utilizando Nal $1,8 \text{ g cm}^{-3}$ e $1,52 \text{ Mg ha}^{-1}$ com o uso do PTS $2,0 \text{ g cm}^{-3}$. Assim, enquanto com o Nal $1,8 \text{ g cm}^{-3}$ a importância de sistemas conservacionistas na preservação da MOS é pequena, com o uso do PTS $2,0 \text{ g cm}^{-3}$ fica claro a relevância desses sistemas na proteção e no acúmulo da MOS.

Com o uso de Nal houve a quantificação de $6,54 \text{ Mg C ha}^{-1}$ como FP para o Argissolo em PC e $10,68 \text{ Mg C ha}^{-1}$ para o Argissolo em PD (Tabela 5). Assim, a FP representou, respectivamente, 91 e 88% do C acumulado no solo nesses sistemas. Com o uso de PTS $2,0 \text{ g cm}^{-3}$ a quantificação de C como FP no Argissolo foi reduzida representando 80 e 58% do COT do solo em PC e PD, respectivamente. Para o Latossolo, 95 e 93% do C foram quantificados como FP para o PC e Pastagem, respectivamente, com o uso do Nal. Ao usarmos PTS $2,0 \text{ g cm}^{-3}$ somente 78 e 73% do C foi quantificado como FP para o PC e Pastagem, respectivamente.

Para o Argissolo evidenciou-se que para o sistema com revolvimento, onde seria esperado que a maior parte da MOS estivesse na FP,

a subestimação do estoque da FLO pelo uso do Nal foi menor do que para o sistema conservacionista. Isso pode estar associado à baixa capacidade do Nal em recuperar MOP no procedimento, sendo portanto, esse material quantificado como FP. Para ambos os solos apenas em torno de 20% do COT encontravam-se na fração leve nos sistemas com revolvimento com o uso da solução de PTS $2,0 \text{ g cm}^{-3}$. Para os sistemas conservacionistas, 42 e 27% do COT foram mantidos como fração leve no Argissolo e no Latossolo, respectivamente, evidenciando que para sistemas tropicais, embora o maior teor de argila do solo que aumenta a proteção física da MOS, a taxa de decomposição da MOS é maior devido às elevadas temperaturas.

O mecanismo de oclusão, quando da utilização de solução de Nal $1,8 \text{ g cm}^{-3}$ pode ser considerado de pouca importância, pois apenas 5% do acúmulo de MOS entre os sistemas de preparo no Argissolo e 2% entre os sistemas de uso e manejo no Latossolo, foram quantificados na FLO, ocorrendo maior estoque de C na FP (84 e 90% para o Argissolo e Latossolo, respectivamente) (Tabela 5). Com o uso da solução de PTS $2,0 \text{ g cm}^{-3}$ a proteção física por oclusão no Argissolo foi o mecanismo mais importante de proteção da MOS, sendo responsável por 54% do acúmulo de MOS entre os sistemas de preparo. Para o Latossolo, de textura mais argilosa (Tabela 2) esse mecanismo, embora importante, foi responsável pelo acúmulo de 23% da MOS entre os sistemas de uso e manejo do solo, sendo a maior parte da MOS (65%) acumulada na FP (Tabela 5).

Assim, os resultados obtidos com o uso de PTS são mais condizentes com o maior percentual de macroagregados que ocorrem no solo em PD do que em PC (Campos et al., 1995; Castro Filho et al., 2002; Zotarelli et al., 2005) demonstrando a relação entre o mecanismo de oclusão e o aumento do estoque de MOS. Dessa maneira, a hipótese que o uso de sistemas com menor revolvimento do solo possibilitam a formação de macroagregados e a estabilização da MOS pelo mecanismo de proteção física foi confirmada quando foi utilizada a metodologia com solução de PTS $2,0 \text{ g cm}^{-3}$ não ocorrendo o mesmo com relação ao uso da solução de Nal $1,8 \text{ g cm}^{-3}$.

5.4 Conclusões

A solução de NaI possui baixa eficiência na recuperação das frações leves da MOS, sendo a magnitude da subestimação maior na FLO do que na FLL.

Com o uso da solução de NaI ocorreu predominância da FLL sobre a FLO enquanto com o uso de solução de PTS a FLO foi superior a FLL sendo condizente com a existência de dois mecanismos (recalcitrância e oclusão) de proteção na FLO.

Para a FLL o uso da solução de NaI $1,8 \text{ g cm}^{-3}$ resultou em maiores concentrações de C no solo nos sistemas conservacionistas enquanto para a FLO as concentrações não diferiram entre sistemas de manejo.

O uso do solo em sistemas conservacionistas aumentou a proteção da MOS por oclusão em agregados, quando avaliada com o uso de PTS, o mesmo não ocorrendo quando do uso de solução de NaI.

Em estudos de proteção física da MOS o uso de PTS $2,0 \text{ g cm}^{-3}$ é mais adequado que o uso de soluções de NaI.

6 ESTUDO III: PROTEÇÃO FÍSICA DA MATÉRIA ORGÂNICA EM UM ARGISSOLO VERMELHO DISTRÓFICO NA REGIÃO SUBTROPICAL BRASILEIRA

6.1 Introdução

A utilização de sistemas de manejo com intenso revolvimento da camada arável conduz à degradação das características físicas, químicas e biológicas do solo, principalmente para os que apresentam textura arenosa (Balesdent et al., 2000) e em regiões cujas precipitações pluviométricas possuem elevado potencial erosivo. A ausência de revolvimento do solo, associada às adições constantes de resíduos orgânicos são condições necessárias para a manutenção do potencial produtivo de áreas sob tais condições edafoclimáticas. Para solos em que a matéria orgânica é o principal agente de formação e estabilização da estrutura (Tisdall & Oades, 1982; Oades & Waters, 1991) o uso de sistemas de manejo sem revolvimento do solo resulta em aumento da estabilidade de agregados (Reinert et al., 1984; Silva & Mielniczuk, 1997b; Campos et al., 1999) e dos estoques de MOS (Silva, 1993), demonstrando uma inter-relação entre esses dois atributos.

Um dos mecanismos propostos para a manutenção do estoque de MOS é a proteção física em agregados (Sollins et al., 1996), que restringe o acesso dos microorganismos e de suas enzimas (Lynch & Bragg, 1985), diminuindo a taxa de decomposição da MOS. Estudos dessa natureza envolvendo solos de textura arenosa implantados sob sistemas de manejos distintos ainda não foram desenvolvidos e são importantes no entendimento dos mecanismos de proteção da MOS em condições subtropicais do Brasil.

Dessa forma, os objetivos desse estudo foram avaliar o efeito do uso de preparo convencional do solo e do plantio direto nos estoques da MOS e na estabilidade de agregados, determinar a magnitude dos mecanismos de proteção da MOS, bem como a influência da mudança do sistema de manejo do solo nos mecanismos de proteção da MOS em um solo de textura franco-argilo-arenosa no Sul do Brasil.

6.2 Material e métodos

6.2.1 Área experimental

A área experimental localiza-se no município de Eldorado do Sul, na Estação Experimental Agronômica (EEA) da UFRGS, sendo o solo classificado como Argissolo Vermelho distrófico (Embrapa, 1999), textura franco-argilo-arenosa (220 g kg⁻¹ de argila), caulínítico, substrato granito, com 56 g kg⁻¹ de Fe₂O₃. A localização geográfica é 30°50'52" de latitude sul e 51°38'08" de longitude oeste. O clima da região, segundo classificação de Koeppen, é o subtropical de verão úmido quente do tipo fundamental, com temperatura média anual de 19,4°C. A precipitação média anual é de 1440 mm (Moreno, 1961).

O experimento foi implantado em 1985, sendo considerado um referencial em manejo do solo no Sul do Brasil. Anterior à implantação do experimento toda a área foi utilizada, durante 15 anos, sob sistema de preparo convencional, apresentando por ocasião da instalação do experimento degradação das características físicas, químicas e biológicas do solo. O experimento segue o delineamento experimental de blocos casualizados, com os tratamentos dispostos em um esquema de parcela subdividida, com três repetições. As parcelas principais medem 15 x 20 m, constituídos de três sistemas de preparo [convencional (PC), reduzido (PR) e plantio direto (PD)]. Cada sistema de preparo é composto de três sistemas de cultura (5x20 m) [aveia (*Avena strigosa* Schreb)/milho (*Zea mays* L.), aveia+vica (*Vicia sativa* L.)/milho e aveia+vica/milho+caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp)] e duas doses de adubação nitrogenada (0 e 180 kg ha⁻¹ de N) aplicada ao milho, caracterizando as subparcelas (5x10 m).

O manejo das culturas de cobertura de inverno é realizado com rolo-faca e, posteriormente, são efetuadas as operações de preparo do solo antecedendo a cultura do milho. No PC, o resíduo é incorporado mediante uma aração e duas gradagens. No PR, o preparo do solo é efetuado com um escarificador de hastes, incorporando parcialmente os resíduos ao solo. No sistema PD não há revolvimento do solo, exceto na linha de semeadura, sendo os resíduos das culturas de cobertura mantidos sobre a superfície. A adubação nitrogenada consiste da utilização da dose de 180 kg ha^{-1} de N mineral, na forma de uréia, aplicada parceladamente na cultura do milho. Nos primeiros nove anos (1985-1994) foi aplicada anualmente a dose de 120 kg ha^{-1} de N, sendo desde então (1994-2004) conduzido com a utilização da dose de 180 kg ha^{-1} de N. A cultura do caupi é implantada intercalar ao milho, tendo seu pleno desenvolvimento após a colheita da cultura comercial, permanecendo vegetativa até seu manejo mecânico antes da implantação das culturas de inverno (aveia+vica). Detalhes deste experimento encontram-se em Lovato (2001).

No presente estudo foram utilizados os tratamentos de aveia/milho (AM) e aveia+vica/milho+caupi (AVMC), implantados em PC e PD, nas subsubparcelas sem adubação nitrogenada. O tratamento campo natural (CN), de área adjacente, foi utilizado como referência das condições originais da área experimental, por não ter sido perturbado com ações antrópicas.

6.2.2 Amostragem do solo

A coleta de solo foi realizada na primavera, ao final do ciclo das culturas de inverno do ano de 2003, antecedendo o preparo do solo para a semeadura da cultura de verão, correspondendo à primeira quinzena de outubro. A amostragem foi realizada nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm para avaliação do estoque de carbono orgânico total (COT). Para isso foram abertas trincheiras de 20 x 40 cm transversais às linhas de semeadura, coletadas as amostras com auxílio de espátula, identificadas e acondicionadas em sacos plásticos para transporte. Para análise de agregados foram coletados blocos indeformados de 20 x 10 cm nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm, com

auxílio de espátula, cuidadosamente acondicionados em potes plásticos rígidos e identificados.

6.2.3 Análises laboratoriais

6.2.3.1 Carbono orgânico do solo

As amostras foram secas ao ar, moídas manualmente com rolo até passar em peneira de 2 mm. Posteriormente, foram subamostradas e moídas em gral de ágata até a granulometria de 250µm e determinado o carbono orgânico total (COT) em analisador de combustão seca (Shimadzu-TOC-V CSH).

6.2.3.1.1 Cálculo do estoque de carbono

Para calcular os estoques de COT utilizou-se o método da massa equivalente de solo segundo o procedimento proposto por Ellert & Bettany (1995), demonstrado a seguir, considerando a massa do solo (equação 1).

$$M_{\text{solo}} = \rho_s \times E \times 10000 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1} \quad (1)$$

onde:

M_{solo} = massa do solo por unidade de área (Mg ha⁻¹)

$\rho_{s \text{ trat.}}$ = densidade do solo (Mg m⁻³)

E = espessura da camada amostrada (m)

A área sob vegetação nativa foi utilizada como referência e a massa de solo de cada camada do solo em campo natural foi tomada como base de cálculo para as camadas correspondentes do solo nos sistemas PC e PD, sendo as espessuras ajustadas. A espessura da camada de solo a ser adicionada ou subtraída para atingir o valor da massa equivalente (solo referência) foi determinada pela equação 2.

$$E_{\text{ad/sub}} = \frac{(M_{\text{ref.}} - M_{\text{trat.}}) \times 0,0001 \text{ ha m}^{-2}}{\rho_{s \text{ trat.}}} \quad (2)$$

onde:

$E_{ad/sub}$ = espessura de solo a ser adicionada ou subtraída de determinada camada do tratamento para atingir o valor correspondente de massa equivalente (m)

$M_{ref.}$ = massa equivalente de solo da respectiva camada na área de referência ($Mg\ ha^{-1}$)

$M_{trat.}$ = massa de solo da respectiva camada do tratamento ($Mg\ ha^{-1}$)

$\rho_{s\ trat.}$ = densidade do solo na camada do tratamento ($Mg\ m^{-3}$)

As massas de C orgânico por unidade de área em massa equivalente de solo ($Estoque_{equiv}$), expressas em $Mg\ ha^{-1}$, foram obtidas pela equação 3.

$$Estoque_{equiv} = conc \times \rho_s \times E \times 10000\ m^2\ ha^{-1} \times 0,001\ Mg\ kg^{-1} \quad (3)$$

onde:

$Estoque_{equiv}$ = massa de C orgânico por unidade de área ($Mg\ ha^{-1}$)

Conc = concentração de C orgânico ($kg\ Mg^{-1}\ solo$)

ρ_s = densidade do solo na camada amostrada ($Mg\ m^{-3}$)

E = espessura da camada calculada (m) obtida pela equação (2) mais/menos a camada desejada.

As densidades utilizadas com suas respectivas massas de solo são apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6. Densidade e massa do solo nas três camadas para os tratamentos amostrados em um Argissolo Vermelho.

Profundidades	Densidades			Massa		
	PC ¹	PD ¹	CN ²	PC	PD	CN
----- cm -----	----- $Mg\ m^{-3}$ -----			----- $Mg\ ha^{-1}$ -----		
0-5	1,51	1,43	1,50	752	715	750
5-10	1,57	1,67	1,57	785	835	785
10-20	1,60	1,65	1,63	1600	1650	1630

¹- Soler (2003)

²- Lovato (2001)

6.2.3.2 Estabilidade dos agregados de solo

Os blocos de solo, na condição friável, foram manualmente desagregados até toda a amostra passar em peneira de 9,5 mm. Os agregados foram secos a sombra por 72 horas e armazenados em potes para as análises de estabilidade em água e a seco e fracionamento físico da MOS.

A avaliação da distribuição de agregados estáveis em água foi efetuada segundo metodologia proposta por Carpenedo & Mielniczuk (1990). Foram pesadas, em duplicatas, amostras com 50 gramas de solo e umedecidas por capilaridade, durante uma noite, em papel filtro. Após, as mesmas foram transferidas para tubos plásticos de 1000 mL, com diâmetro de 7,2 cm e altura de 23,5 cm, contendo 500 mL de água e colocadas em agitador rotativo por 2 minutos a 16 rpm. A seguir as amostras foram transferidas, com auxílio de jatos de água, para um agitador de oscilação vertical, composto de quatro baldes com capacidade individual de 10 L. Os agregados foram dispostos em um conjunto de peneiras de 4,76; 2,00; 1,00; 0,50 e 0,25 mm, montado dentro de cada balde, agitadas em água com 42 oscilações por minuto, durante 15 minutos, de forma que a água quando no nível mínimo atingisse a superfície superior dos agregados na peneira de 4,76 mm.

O material que passou na última peneira e ficou retido em cada balde do agitador foi transferido para outro conjunto de peneira de 0,105 e 0,053 mm colocados sobre recipiente de 10 L. O conjunto de duas peneiras foi suavemente imerso na água do recipiente dez vezes, sem permitir a entrada de água sobre a peneira superior. O material (< 0,053 mm) que restou no recipiente com água foi floculado com 50 mL de alúmen de potássio (5% m/v).

O conteúdo das sete peneiras foi transferido para latas previamente taradas e, seco por 24 horas a 105°C. Depois de pesado, o conteúdo de cada lata foi retornado para a respectiva peneira, disperso em solução de NaOH 1N e lavado com auxílio de jatos de água. Após a dispersão do solo, as partículas simples retidas em cada peneira foram retornadas para as latas e secas para determinação do material não agregado.

Para análise de estabilidade a seco foi utilizado o mesmo conjunto de peneiras da estabilidade úmida mais as duas peneiras adicionais (0,105 mm e 0,053 mm), formando um conjunto de 7 peneiras. Foram pesados 50 gramas

de agregados, os quais foram agitados em agitador a seco durante um minuto a 30% de sua capacidade máxima. Essa energia foi determinada em testes preliminares para apenas separar os agregados com o mínimo de dispersão adicional.

Dessa forma, foram obtidas oito classes de agregados em ambos os métodos e calculados a percentagem de agregados (AGR), para cada classe (equação 4), o diâmetro médio ponderado (DMP) (equação 5) e o índice de estabilidade de agregados (IEA) (equação 6).

$$AGR = \frac{mAGRi}{\sum mAGRi} \times 100 \quad (4)$$

Onde;

AGR = agregados por classe de peneira (%)

mAGRi = massa de agregados da classe i (menos fração areia)

$\sum mAGRi$ = massa total de agregados das n-classes (menos fração areia)

$$DMP = \frac{\sum (mAGRi \times ci)}{\sum mAGRi} \quad (5)$$

Onde;

DMP = Diâmetro médio ponderado (mm)

ci = valor médio da classe de agregado obtido por

(diâmetro malha superior + diâmetro malha inferior)/2

$$IEA = \frac{DMP_u}{DMP_s} \quad (6)$$

Onde;

IEA = Índice de estabilidade de agregados

DMP_u = Diâmetro médio ponderado úmido (mm)

DMP_s = Diâmetro médio ponderado seco (mm)

6.2.3.3 Fracionamento físico da MOS

Da amostra de solo armazenada (agregados <9,51 mm), aproximadamente 100 g foram peneiradas manualmente em peneira de 2 mm e obtidas duas frações (maior e menor que 2 mm) as quais foram pesadas para determinar a proporção de cada uma na amostra total e armazenadas individualmente em potes de 100 mL. Esse procedimento foi necessário a fim

de obter uma subamostra de agregados representativa no fracionamento físico da MOS do solo.

6.2.3.3.1 Fracionamento granulométrico

A metodologia adotada foi descrita em Cambardella & Elliott (1992). Foram pesados 20 gramas de agregados, obtidos proporcionalmente das classes maior e menor que 2 mm, colocados em frascos tipo “snap-cap” de 100 mL e adicionados 60 mL de hexametáfosfato de sódio (5 g L^{-1}). As amostras foram agitadas durante 15 horas em agitador horizontal (150 oscilações por minuto) e a suspensão passada em peneira de 0,053 mm com auxílio de jato de água. O material retido na peneira foi transferido para recipientes plásticos de 100 mL, seco em estufa a 50°C , pesado, moído e analisado quanto ao teor de COT em analisador Shimadzu. O C do material que ficou na peneira corresponde ao carbono orgânico particulado (COP). O carbono associado aos minerais (CAM) foi obtido por diferença entre o COT e o COP.

6.2.3.3.2 Fracionamento densimétrico

A metodologia adotada foi a mesma apresentada no estudo II com duas pequenas alterações (Figura 5). Foram utilizadas 10 gramas de agregados menores que 9,51 mm, pois testes adicionais demonstraram haver um maior rendimento das frações orgânicas com a diminuição da razão solo/solução e, foi eliminada a etapa de separação granulométrica da fração C-areia. A energia de sonicação utilizada foi de 250 J mL^{-1} , tendo sido determinada previamente como suficiente para a dispersão do solo em partículas primárias, monitoradas pela variação no teor de argila na curva de dispersão.

As frações FLL e FLO foram analisadas em relação aos teores de C pelo método da combustão seca em analisador Shimadzu-TOC-V CSH, sendo o C da fração pesada obtido por diferença entre o COT e o C da FLL+FLO. Os estoques de C nas frações da MOS foram calculados em massa equivalente de acordo com o proposto por Ellert & Bettany (1995), considerando o tratamento sob vegetação nativa como referência.

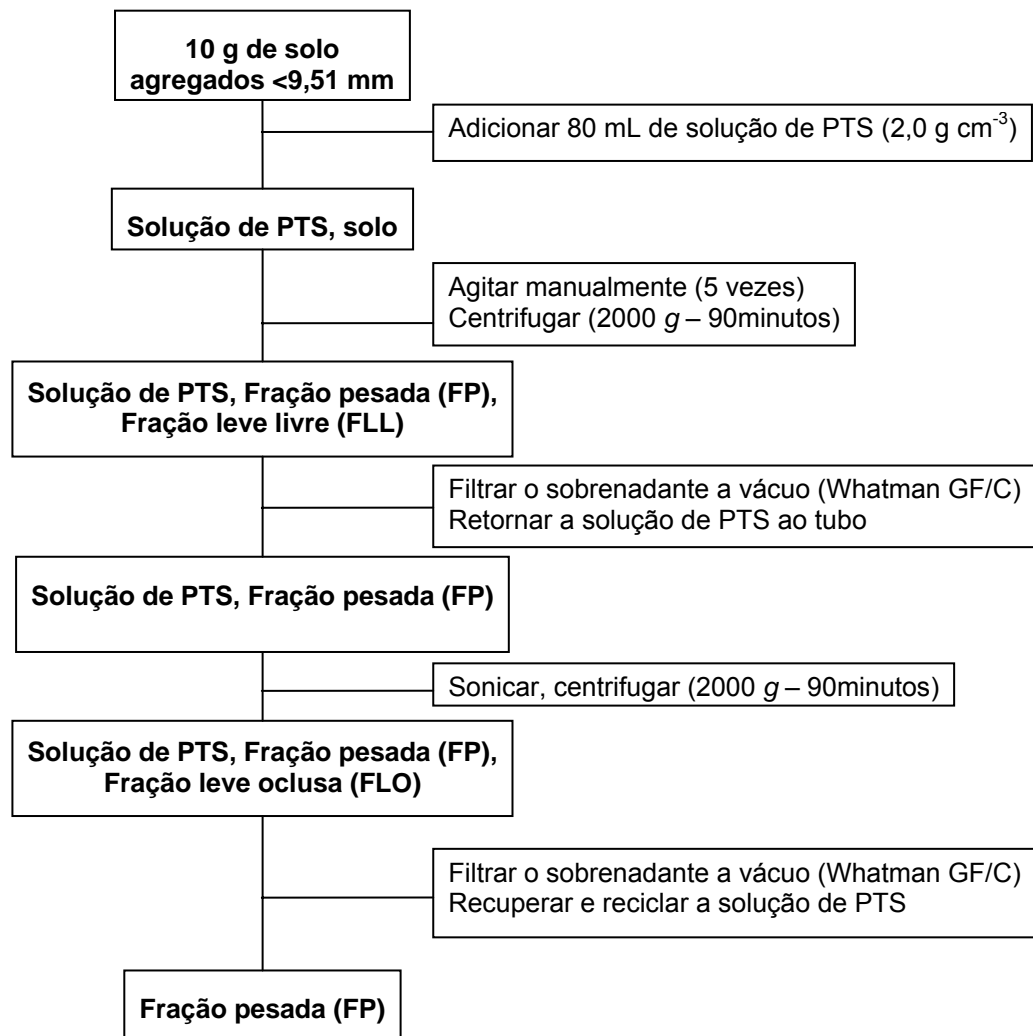


Figura 5. Esquema simplificado do fracionamento físico densimétrico da matéria orgânica do solo com politungstato de sódio (PTS) separando a fração leve livre (FLL), leve oclusa (FLO) e a fração pesada (FP) da matéria orgânica.

A discussão envolvendo proteção da MOS é bastante complexa e, dessa maneira utilizamos duas formas principais de interpretação:

a) A magnitude dos mecanismos de proteção da MOS foi definida pela participação relativa do estoque de C em cada compartimento relativo ao estoque de COT no solo integral $[(\text{estoque fração}/\text{estoque COT}) * 100]$. A relativização do estoque das frações ao estoque de COT no solo permitiu a comparação da influência dos sistemas de manejo e do tipo de solo no mecanismo de proteção da MOS.

b) A magnitude do mecanismo de proteção da MOS na variação do estoque de COT no solo entre os sistemas de preparo do solo foi obtida pela

variação dos estoques de cada fração (Δ fração, Mg ha^{-1}) entre os sistemas de preparo com relação à variação do estoque de COT entre os sistemas de preparo (Δ fração/ Δ COT). O mesmo tipo de abordagem permitiu a avaliação da importância dos mecanismos de proteção da MOS entre sistemas de culturas.

6.2.4 Análise estatística

Os resultados foram submetidos à análise da variância e as diferenças entre médias avaliadas pelo teste de Tukey ao nível de 5%, utilizando o programa computacional SANEST. Os resultados referentes ao CN não foram incluídos na análise estatística por não apresentarem delineamento experimental. Os resultados de teores e estoque de C para o solo integral e frações da MOS foram analisados individualmente para cada camada de solo. Para os resultados obtidos na determinação de estabilidade de agregados do solo em água a análise estatística foi efetuada individualmente para cada classe de agregados dentro de cada camada de solo.

6.3 Resultados e discussão

6.3.1 Carbono orgânico do solo

A utilização do sistema PC resultou em uma homogeneidade da concentração de C ao longo do perfil do solo pela incorporação dos resíduos culturais em profundidade (Figura 6), enquanto no solo em PD ocorreu a maior concentração de C na camada de 0-5 cm devido à adição do material orgânico em superfície. Essa camada é a que está mais sujeita às variações de umidade e temperatura (Salton & Mielniczuk, 1995), especialmente na ausência de cobertura do solo, como ocorre no solo em PC. Essas condições mais oxidativas existentes no solo em PC, associadas ao aumento do fracionamento e contato dos resíduos vegetais com o solo devido à incorporação, favoreceram o processo de decomposição da MOS resultando em menores concentrações comparativamente ao solo em PD (Figura 6).

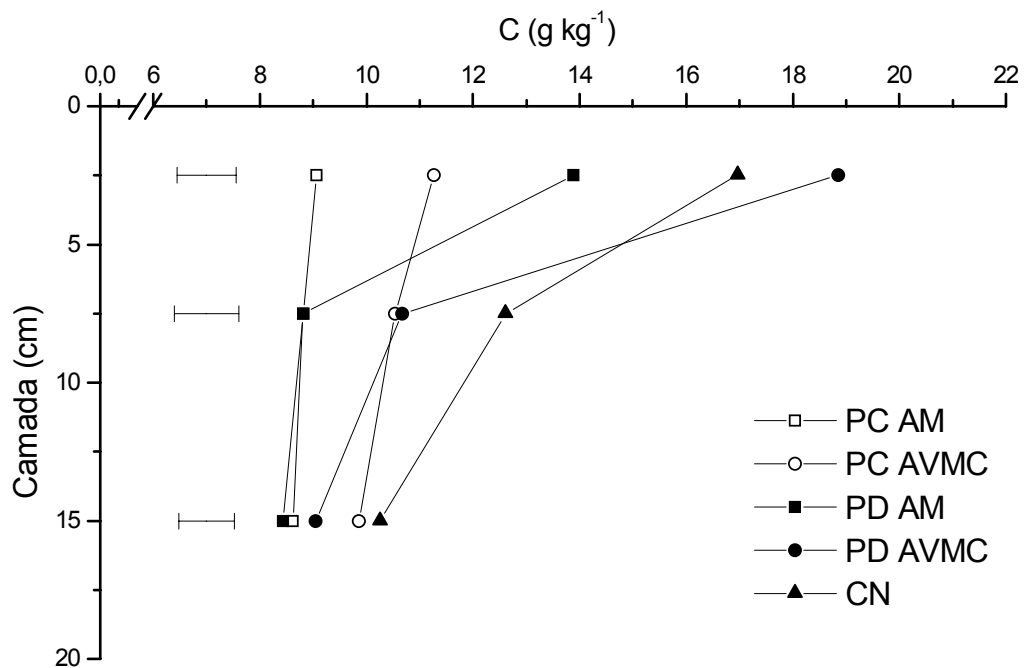


Figura 6. Teor de carbono orgânico nas camadas de um Argissolo submetido a sistemas de manejo durante 18 anos. Barras indicam valor para DMS 5%. PC= preparo convencional, PD= plantio direto, CN= campo nativo, A=aveia, M=milho, V= vica e C=caupi.

Os estoques de C na camada de 0-5 cm no solo em PD foram superiores aos obtidos para o solo em PC em ambos os sistemas de culturas. Para as camadas de 5-10 e 10-20 cm, não houve diferença entre os sistemas de preparo no sistema de cultura AM, enquanto para o sistema AVMC o solo sob PC apresentou estoques de C superiores ao solo sob PD para essas duas camadas. A utilização de um sistema incluindo um maior número de espécies (AVMC), com a inserção de leguminosas de inverno e verão, aumentou o estoque de C na camada de 5-10 cm, independente do sistema de preparo utilizado (Tabela 7), enquanto para a camada de 10-20 cm não houveram diferenças. Esse efeito superior do sistema AVMC nas duas camadas superficiais do solo está, provavelmente, associado a maior disponibilidade de N para o desenvolvimento das culturas devido a fixação biológica pelas leguminosas (Lovato et al., 2004), além da atuação do sistema radicular que explora o solo de forma diferenciada. No solo manejado em PD AVMC, o acúmulo de MOS em superfície superou o estoque do CN demonstrando que sistemas de uso agrícola com ausência de revolvimento do solo e manutenção de adições constantes de resíduos são eficientes na manutenção/ recuperação

dos teores de MOS. Esse aporte adicional de C no sistema permite o solo se organizar em níveis de qualidade superiores (Conceição et al., 2005) aumentando o nível das propriedades emergentes como a agregação e, conseqüentemente, aumentando a proteção física da MOS.

Tabela 7. Estoque de carbono orgânico total (COT) em um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo.

Sistemas de manejo	-----Camada (cm)-----			
	0-5	5-10	10-20	0-20
-----Mg ha ⁻¹ -----				
PC AM	6,80bB	6,92aB	14,04aA	27,76bB
AVMC	8,45bA	8,27aA	16,07aA	32,79bA
PD AM	10,41aB	6,93aB	13,75aA	31,08aB
AVMC	14,14aA	8,38aA	14,75aA	37,27aA
CN	12,72	9,90	16,70	39,32

Médias seguidas de mesma letra na coluna comparam sistemas de preparo dentro de um mesmo sistema de culturas (minúsculas) e sistemas de cultura dentro dos sistemas de preparo (maiúsculas), não diferindo entre si pelo teste de Tukey a 5% para cada profundidade. PC= preparo convencional, PD= plantio direto, CN= campo nativo, A=aveia, M=milho, V= vica e C=caupi.

Para a camada de 0-20 cm o estoque de COT no solo em PD foi superior ao obtido para o solo em PC, em ambos os sistemas de cultura. O maior estoque de C no solo em PD deve-se provavelmente a menor taxa de decomposição (K_2), determinada por Bayer (1996) como sendo de 2,5% no solo em PD e 5,4% no solo em PC. Dessa maneira, embora as adições de resíduos tenham sido semelhantes entre os sistemas de preparo (Lovato et al., 2004), as condições reinantes no solo em PD permitiram uma maior expressão dos mecanismos de proteção da MOS.

6.3.2 Agregação do solo

A distribuição da massa de solo da camada de 0-5 cm por classe de agregados estáveis em água demonstrou um predomínio de agregados grandes (Figura 7). Para essa camada, a percentagem de agregados na classe 9,51-4,76 mm para os tratamentos implantados sob PD foi aproximadamente o dobro dos obtidos para os tratamentos mantidos sobre PC (Figura 7).

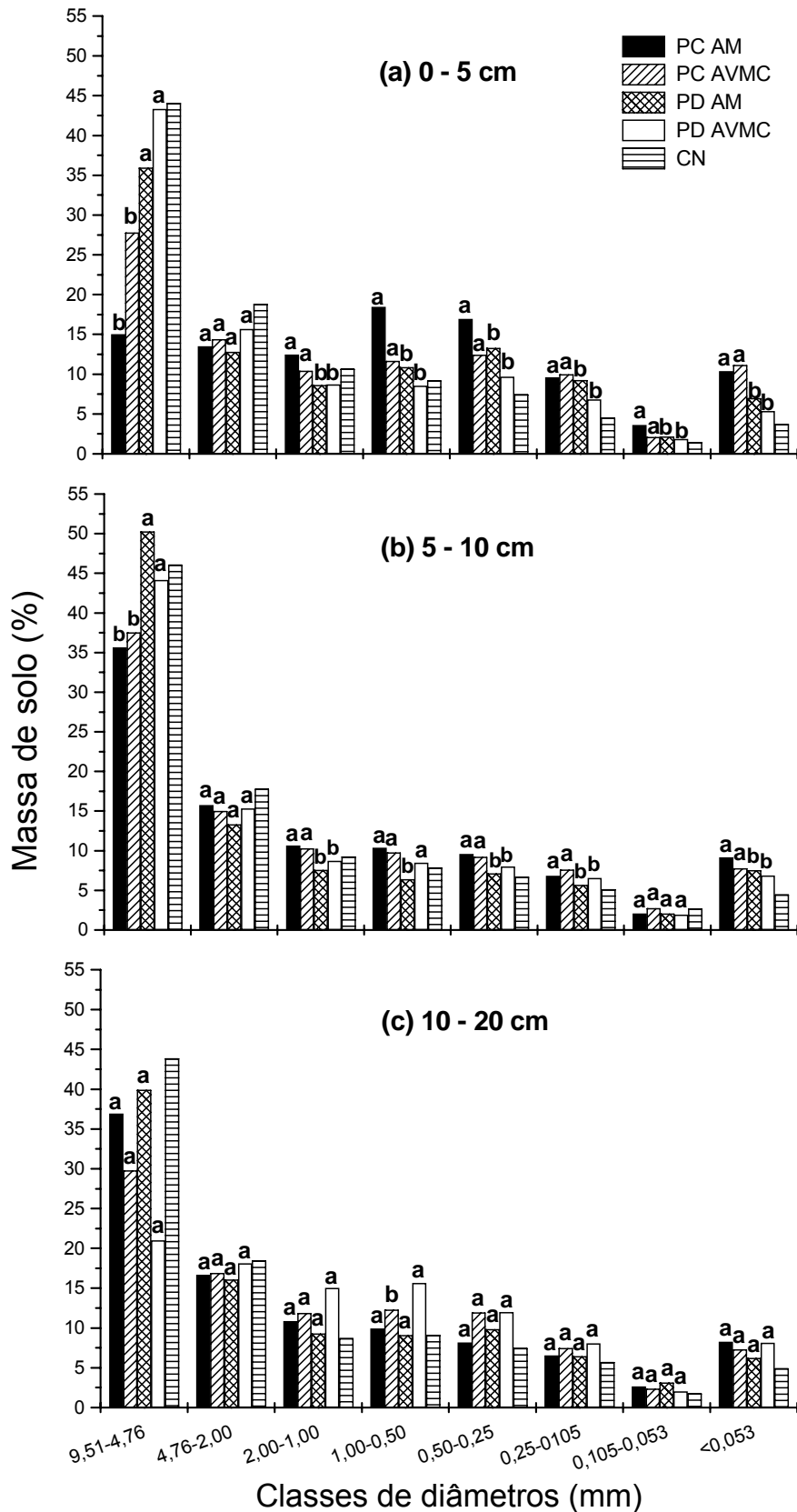


Figura 7. Distribuição de agregados de solo estáveis em água, por classe de diâmetro de agregados, nos sistemas de manejo. Médias seguidas de mesma letra nas classes de diâmetro, em cada profundidade, comparam sistemas de preparo dentro de um mesmo sistema de culturas não diferindo pelo teste de Tukey a 5%. PC= preparo convencional, PD= plantio direto, CN= campo nativo, A=aveia, M=milho, V= vica e C=caupi.

O aumento dos agregados maiores de 4,76 mm foi associado à uma menor proporção de agregados nas classes menores que 1 mm (Figura 7) evidenciando que essas estruturas menores se mantiveram unidas resultando em agregação superior no solo em PD, estando de acordo com o proposto por Golchin et al. (1997) de que os resíduos adicionados ao solo funcionam como um núcleo orgânico de formação de agregados. Dentro dessa concepção, uma vez iniciado o processo de decomposição, a liberação de exsudatos microbianos estabiliza os agregados. À medida que esse núcleo de MO é decomposto a produção de agentes ligantes diminui até que ocorra a ruptura das estruturas grandes em estruturas menores.

Havendo adição de resíduos orgânicos ao solo, essas estruturas menores se rearranjam em estruturas grandes novamente, permanecendo estáveis até que a energia das ligações dos agentes estabilizantes sejam menores que a energia dos agentes externos que atuam sobre os agregados (Dexter, 1988). Dessa forma, em solos onde a MOS é o principal agente de formação e estabilização dos agregados, um nível superior de agregação somente pode ser alcançado e mantido pelo fluxo constante de energia e matéria no sistema (Vezzani, 2001), que possibilita a manutenção dos agentes ligantes (Tisdall & Oades, 1982).

O padrão de distribuição dos agregados estáveis em água na camada de 5-10 cm (Figura 7b) foi o mesmo verificado para a camada de 0-5 cm (Figura 7a), com predomínio de agregados da classe 9,51-4,76 mm que representaram praticamente a metade da massa do solo. Para o solo em PC houve um aumento na proporção de agregados nessa classe em comparação a camada de 0-5 cm, reflexo dos menores efeitos das variações de umidade e temperatura que ocorrem em profundidade no solo (Salton & Mielniczuk, 1995; Balesdent et al., 2000). Na camada de 10-20 cm o efeito da deposição em profundidade dos resíduos orgânicos que resultaram em maior estoque de COT no PC (Tabela 7), no sistema AVMC, também se refletiu na tendência de ocorrer mais agregados na classe 9,51-4,76 mm no solo sob PC do que no solo sob PD (Figura 7c).

Considerando o solo no sistema PC AM como representativo das condições de degradação quando da instalação do experimento, houve uma redução de 55% nos agregados maiores que 2 mm relativo ao CN para a

camada de 0-5 cm (Figura 8), devido a diminuição do estoque de C e a perda da estabilidade dos agregados do solo, associado ao revolvimento do solo. Os sistemas de manejo com menor revolvimento do solo, ao acumularem mais carbono em superfície, favoreceram a formação e estabilização de estruturas grandes. Dessa forma, para a camada de 0-5 cm, nos sistemas conservacionistas, acima de 50% dos agregados apresentaram diâmetro médio superior a 2 mm (Figura 8). A recuperação da agregação no solo em PD, uma vez que o experimento foi instalado sob área em avançado estado de degradação, atingindo patamares similares ao sistema de referência (CN), também pode ser observada na profundidade de 5-10 cm demonstrando o potencial desse sistema de manejo em melhorar as características do solo. Para a camada de 10-20 cm os maiores estoques de C no solo sob PC em relação ao solo sob PD no sistema AVMC (Tabela 7) resultaram em maior quantidade de agregados maiores que 2 mm (Figura 8), demonstrando a interdependência entre o estoque de C e a agregação do solo.

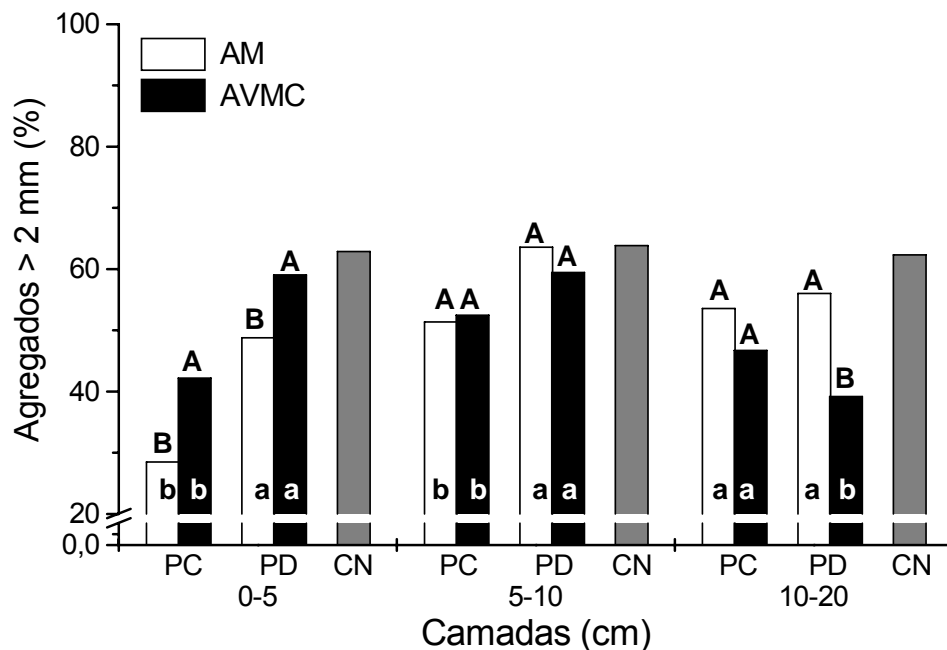


Figura 8. Percentagem de agregados de solo > 2 mm estáveis em água, em três camadas de um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo. PC= preparo convencional, PD= plantio direto, CN= campo nativo, A=aveia, M=milho, V= vica e C=caupi. Médias seguidas de mesma letra em cada profundidade comparam sistemas de preparo dentro de um mesmo sistema de culturas (minúsculas) e sistemas de cultura dentro de sistemas de preparo (maiúsculas), não diferindo entre si pelo teste de Tukey a 5%. PC= preparo convencional, PD= plantio direto, CN= campo nativo, A=aveia, M=milho, V= vica e C=caupi.

Os macroagregados são definidos conceitualmente como estruturas maiores que 0,25 mm (Tisdall & Oades, 1982), resultantes da manutenção de estruturas menores estáveis aproximadas entre si pela ação do desenvolvimento radicular, pelos ciclos de umedecimento e secagem, entre outros fatores. No solo em PD em comparação ao solo em PC, houve um aumento dos macroagregados na camada de 0-5 cm (Figura 9), com conseqüente redução dos microagregados, demonstrando que ocorreu a incorporação de estruturas pequenas na formação de estruturas maiores e estáveis estando de acordo com a teoria da hierarquia de agregação proposta por Tisdall & Oades (1982).

Entre os sistemas de cultura não houve variações na proporção de macroagregados (Figura 9) evidenciando que a ausência de revolvimento foi um fator preponderante na melhoria da agregação do solo. A percentagem de macroagregados do solo em CN foi a maior em todas as camadas, evidenciando a grande capacidade agregante das gramíneas (Salton, 2005) devido ao seu sistema radicular abundante e agressivo (Silva & Mielniczuk, 1997a) e, provavelmente neste caso, uma produção contínua de exsudatos ao longo da maior parte do ano.

Para a camada de 5-10 cm a maior percentagem de macroagregados do solo em PD se manteve em relação ao solo em PC. Como a deposição dos resíduos culturais no solo em PD ocorre na superfície, a melhoria das características físicas ao longo do perfil ocorre com o passar dos anos, destacando a importância do uso prolongado de um sistema de manejo nas melhorias das características do solo nas camadas mais profundas.

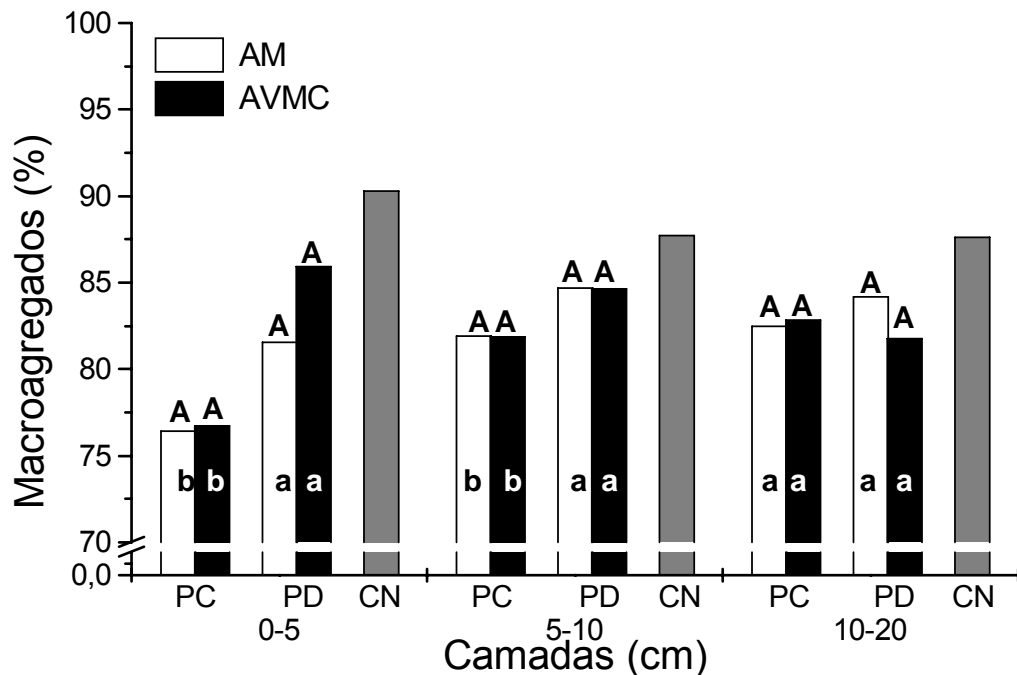


Figura 9. Percentagem de macroagregados de solo estáveis em água, para as três camadas, nos sistemas de manejo. Médias seguidas de mesma letra em cada profundidade comparam sistemas de preparo dentro de um mesmo sistema de culturas (minúsculas) e sistemas de cultura dentro de sistemas de preparo (maiúsculas), não diferindo entre si pelo teste de Tukey a 5%. PC= preparo convencional, PD= plantio direto, CN= campo nativo, A=aveia, M=milho, V= vica e C=caupi.

As variações na distribuição dos agregados estáveis em água (Figura 7) se refletiram no diâmetro médio ponderado úmido (DMPu) (Tabela 8) que foi menor no solo em PC em relação ao solo em PD nas camadas de 0-5 e 5-10 cm, enquanto diferenças entre sistemas de preparo não foram detectadas nas camadas mais profundas. O diâmetro médio ponderado seco (DMPs) não variou entre os sistemas de manejo em todas as camadas, demonstrando que esse índice não foi um bom indicador da qualidade estrutural do solo.

As diferenças entre os tratamentos podem ser interpretadas pela relação entre o DMPu e o DMPs através do índice de estabilidade de agregados (IEA) (Tabela 8). Esse índice permite verificar a relação existente entre a agregação do solo quando seco e a resistência desses agregados ao peneiramento úmido, sendo valores próximos de 1,0 indicativos de solos bem agregados e com alta estabilidade em água. A elevada estabilidade de agregados a seco na camada de 0-5 cm e 5-10 cm do solo em PC, similar ao

solo sob PD, não se confirmou no DMPu que foi inferior ao do solo sob PD e ao do solo sob CN. Assim, o IEA foi menor nos sistemas com revolvimento do solo em comparação ao solo em PD. Provavelmente, os agregados no solo em PC tenham sido formados pela ação mecânica de preparo do solo, não possuindo agentes ligantes efetivos para manterem-se unidos quando sujeitos a agitação em água. Para a camada de 0-5 cm, o IEA foi superior a 0,85 para os sistemas de manejo implantados em PD, sendo próximo ao obtido para o CN. Na média dos sistemas de culturas o solo em PD apresentou IEA superior ao solo em PC para as camadas de 0-5 e 5-10 cm.

Tabela 8. Diâmetro médio ponderado seco (DMPs) e úmido (DMPu) dos agregados de solo e índice de estabilidade de agregados (IEA) em um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo.

Sistemas de manejo		DMPs	DMPu	IEA
-----mm-----				
-----0-5 cm-----				
PC	AM	3,06 ns	1,94 bA	0,63 bA
	AVMC	3,67	2,78 bA	0,76 bA
PD	AM	3,84	3,28 aA	0,85 aA
	AVMC	4,06	3,87 aA	0,95 aA
CN		4,07	4,05	1,00
-----5-10 cm-----				
PC	AM	5,29 ns	3,36 bA	0,64 bA
	AVMC	4,77	3,47 bA	0,73 bA
PD	AM	5,31	4,24 aA	0,80 aA
	AVMC	5,19	3,91 aA	0,75 aA
CN		4,18	4,12	0,99
-----10-20 cm-----				
PC	AM	5,14 ns	3,48 aA	0,68 ns
	AVMC	4,86	3,03 aA	0,62
PD	AM	4,90	3,65 aA	0,74
	AVMC	4,69	2,52 aB	0,54
CN		4,46	3,99	0,89

Médias seguidas de mesma letra na coluna comparam sistemas de preparo dentro de um mesmo sistema de culturas (minúsculas) e sistemas de cultura dentro de sistemas de preparo (maiúsculas), para cada profundidade, não diferindo entre si pelo teste de Tukey a 5%. PC= preparo convencional. PD= plantio direto, CN= campo nativo, A=aveia, M=milho, V= vica e C=caupi.

A importância da matéria orgânica na formação e estabilização dos agregados do solo é evidenciada pela elevada correlação entre o teor de COT e o DMPu para a camada de 0-5 cm (Figura 10). Esse efeito não foi evidente para as demais camadas onde as diferenças nos estoques de C entre os sistemas de manejo também foi menor (Tabela 7).

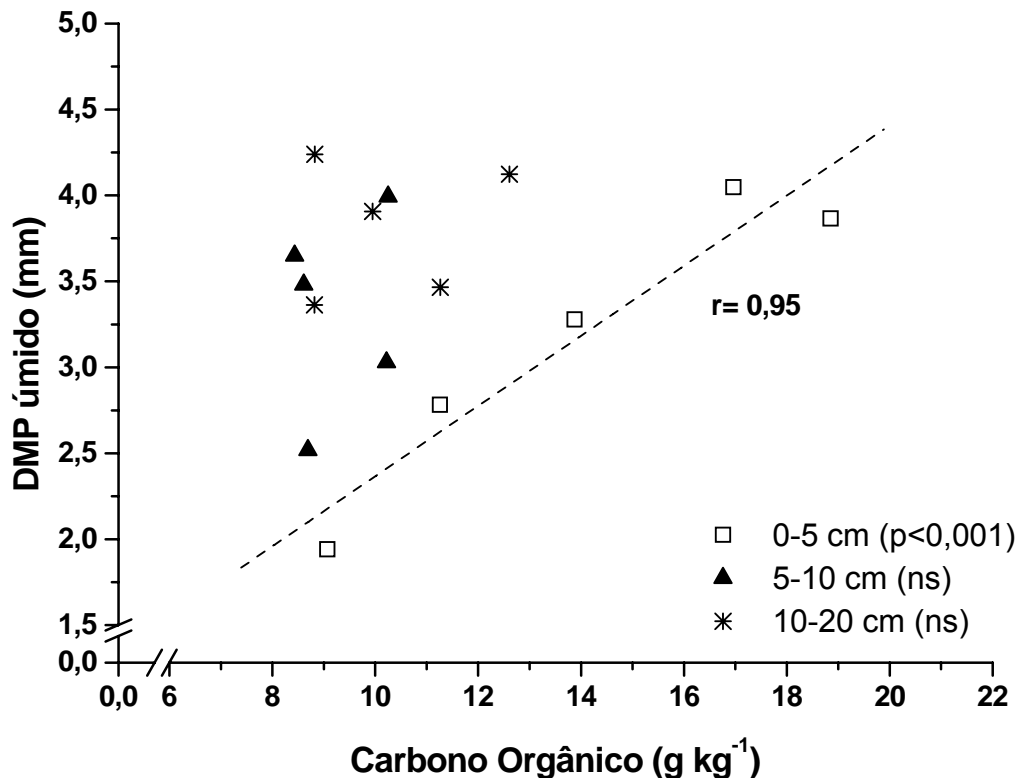


Figura 10. Relação entre o carbono orgânico do solo e o diâmetro médio ponderado (DMP) úmido para as três camadas e cinco sistemas de manejo.

6.3.3 Fracionamento físico da MOS

6.3.3.1 Fracionamento granulométrico

A concentração do carbono orgânico particulado (COP, >53 μm) na camada de 0-5 cm foi superior à verificada nas camadas de 5-10 e 10-20 cm em ambos os sistemas de preparo do solo (Apêndice 3). Isso advém dessa camada concentrar as adições de resíduos, especialmente no solo em PD, e ser uma região de intenso desenvolvimento radicular (Silva & Mielniczuk, 1997a).

Os estoques de COP foram superiores no solo em PD em relação ao solo em PC na camada de 0-5 cm (Tabela 9), enquanto na camada de 5-10 cm para o sistema de cultura AVMC o solo sob PC acumulou mais COP que o solo sob PD. Entre os sistemas de culturas, houve aumento de $1,26 \text{ Mg ha}^{-1}$ no COP pela utilização de sistemas com leguminosas (AVMC) para o solo em PD na camada de 0-5 cm, sem que houvesse efeito nas camadas mais profundas. Para o carbono associado aos minerais (CAM), o incremento pelo uso do sistema AVMC foi de $2,47 \text{ Mg ha}^{-1}$ para o solo em PD, relativo ao sistema AM, na camada de 0-5 cm. As diferenças entre os sistemas de cultura, dentro do mesmo sistema de preparo nessa camada, foram de 66% estando diretamente correlacionadas com as diferenças nas adições de C pelas culturas (Lovato, 2001) que foram na média anual para 13 anos de condução desse mesmo experimento 78% superiores nos sistemas de cultura utilizando AVMC em comparação ao sistema AM. Se por um lado o aumento em termos absolutos na camada de 0-5 cm foi maior no CAM, em termos relativos esses aumentos foram menores, sendo de 41 e 54% pela mudança de sistema de preparo nos sistemas de cultura utilizando AM e AVMC, respectivamente contra os 138 e 133% obtidos para o COP na mesma comparação. Isso demonstra a maior sensibilidade do COP às alterações de manejo, servindo como um indicador de qualidade a curto prazo dos sistemas de manejo utilizados (Conceição, 2002).

Como no solo em PC ocorreu a incorporação do resíduo, com conseqüente distribuição do estoque de MOS ao longo do perfil, integramos os estoques de COP e CAM para toda a camada (0-20 cm). A diferença no estoque de COP foi de $1,12 \text{ Mg ha}^{-1}$ entre o sistema de culturas AM e AVMC na média dos sistemas de preparo, enquanto para o CAM essas diferenças foram de $4,49 \text{ Mg ha}^{-1}$, favoráveis ao sistema AVMC. Assim, a utilização de leguminosas no sistema contribuiu para o aumento tanto da COP como do CAM. Considerando que o maior desenvolvimento radicular ocorre na camada superficial, o maior aumento do COP pelo uso de leguminosas possivelmente tenha contribuído para o aumento dos macroagregados (Figura 9) e, conseqüentemente para a melhoria da qualidade do solo.

Tabela 9. Estoque de carbono orgânico particulado (COP), de C associado aos minerais (CAM) e relação entre o COP e o carbono orgânico total (COT) nas três camadas de um Argissolo Vermelho subtropical sob diferentes sistemas de manejo.

Sistemas de manejo	COP	CAM	COP/COT
-----Mg ha ⁻¹ -----			
-----0-5 cm-----			
PC AM	0,82bA	5,98bB	0,12
AVMC	1,38bA	7,07bA	0,16
PD AM	1,95aB	8,46aB	0,19
AVMC	3,21aA	10,93aA	0,23
CN	1,83	10,89	0,14
-----5-10 cm-----			
PC AM	0,60aB	6,32aB	0,09
AVMC	0,79aA	7,48aA	0,10
PD AM	0,50aA	6,43aB	0,07
AVMC	0,51bA	7,87aA	0,06
CN	0,87	9,03	0,09
-----10-20 cm-----			
PC AM	0,95ns	13,09ns	0,07
AVMC	1,18	14,89	0,07
PD AM	0,66	13,09	0,05
AVMC	0,64	14,11	0,04
CN	1,15	15,55	0,07

Médias seguidas de mesma letra na coluna comparam sistemas de preparo dentro de um mesmo sistema de culturas (minúsculas) e sistemas de cultura dentro de sistemas de preparo (maiúsculas), não diferindo entre si pelo teste de Tukey a 5% para cada profundidade. PC= preparo convencional. PD= plantio direto, CN= campo nativo, A=aveia, M=milho, V= vica e C=caupi.

Por outro lado, a manutenção de MOS protegida nos agregados pelo uso do solo em PD se reflete também na capacidade de complexação com os argilominerais devido ao maior tempo de ciclagem da MOS nos macroagregados, aumentando o período de interação do material particulado com os argilominerais e permitindo as reações de complexação ocorrerem mais efetivamente (Six et al., 1998). Isto é evidenciado pelo aumento do CAM que foi de 3,03 Mg ha⁻¹ entre o solo em PC e o solo em PD, superiores, portanto, aos incrementos obtidos para o COP (0,88 Mg ha⁻¹), na média dos

sistemas de cultura. Assim o efeito da redução do preparo foi efetivo tanto no aumento do estoque de C na fração particulada quanto na fração associada aos minerais.

A proporção de C lábil em relação ao estoque total de C (COP/COT) na camada de 0-5 cm aumentou com a diminuição do preparo do solo e aumento da complexidade dos sistemas de cultura, superando o CN que é o sistema referência das condições naturais do solo da área experimental. Nas camadas mais profundas os valores de COP foram menores, sendo inferiores a 10% do COT.

6.3.3.2 Fracionamento densimétrico

As concentrações de C da FLL variaram de 2,01 g kg⁻¹ de solo na camada superficial a 0,11 g kg⁻¹ na camada de 10-20 cm, enquanto as concentrações de C da FLO foram de 4,78 a 0,81 g kg⁻¹ nessas mesmas camadas (Figura 11). Entre os sistemas de culturas, tanto no solo em PC como no solo em PD houve aumento das concentrações de C da FLL e da FLO nas camadas de 0-5 e 5-10 cm (Figura 11a,b), quando foram utilizados sistemas com leguminosas (AVMC), sendo mais acentuados na primeira camada devido as maiores adições de C nesse sistema (Lovato et al., 2004).

A concentração de C na FLL decresceu em profundidade no solo em PD (Figura 11) o que está de acordo com a deposição superficial de resíduos que ocorre nesse sistema de manejo (Tabela 7). Entretanto, no solo em PC também houve redução nas concentrações de C em profundidade, embora a incorporação de resíduos que ocorreu devido ao preparo do solo, o que evidencia que essa fração, cujo mecanismo de proteção no solo é apenas arecalcitrância, foi mais decomposta. Para a FLO, da mesma forma que ocorreu com a concentração de C no solo integral (Tabela 7), houve uma distribuição homogênea da concentração de C entre as camadas amostradas no solo em PC (média de 1,25 g kg⁻¹ para o sistema AM e 1,9 g kg⁻¹ para o AVMC) e um predomínio de material ocluso na camada de 0-5 cm no solo sob PD (Figura 11a).

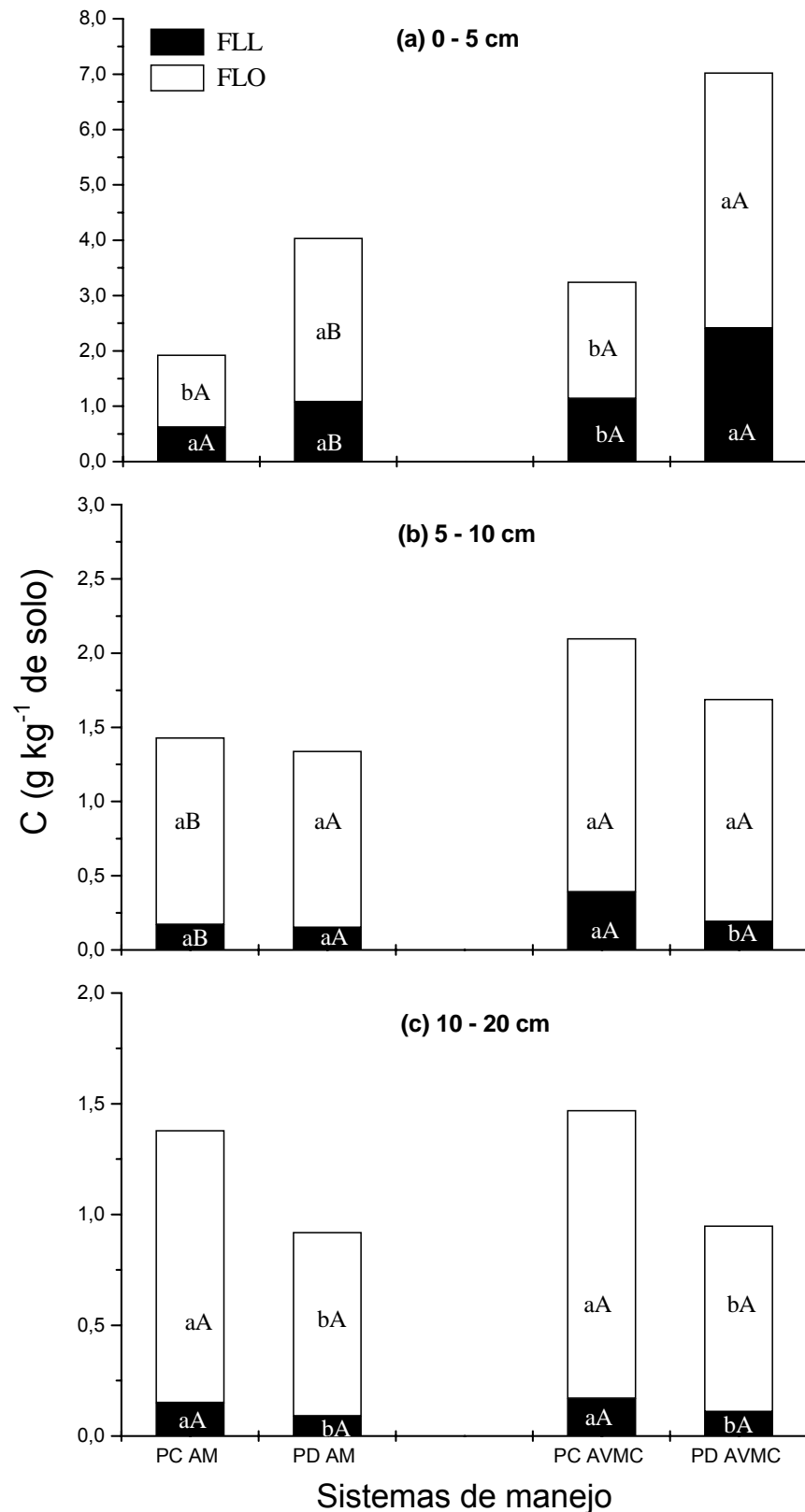


Figura 11. Concentração de carbono (C) na fração leve livre (FLL) e na fração leve oclusa (FLO) para as camadas de 0-5 (a), 5-10 (b) e 10-20 cm (c) de um Argissolo Vermelho subtropical. Para cada fração, letras minúsculas comparam sistemas de preparo dentro de cada sistema de culturas e maiúsculas comparam sistemas de cultura dentro de cada sistema de preparo, não diferindo pelo teste de Tukey a 5%. PC= preparo convencional, PD= plantio direto, CN= campo nativo, A=aveia, M=milho, V= vica e C=caupi.

A elevada correlação obtida entre o DMPu (Tabela 8) e a concentração de C na FLO para a camada de 0-5 cm (Figura 12) reforça a possível influência de sistemas com maior agregação na oclusão de C no solo (Figura 11) devido ao mecanismo de auto-proteção existente entre a MOS e os agregados, servindo o material orgânico de núcleo formador dos agregados e os produtos de sua decomposição estabilizando os mesmos (Golchin et al., 1997), diminuindo o acesso dos microrganismos e suas enzimas aos compostos orgânicos.

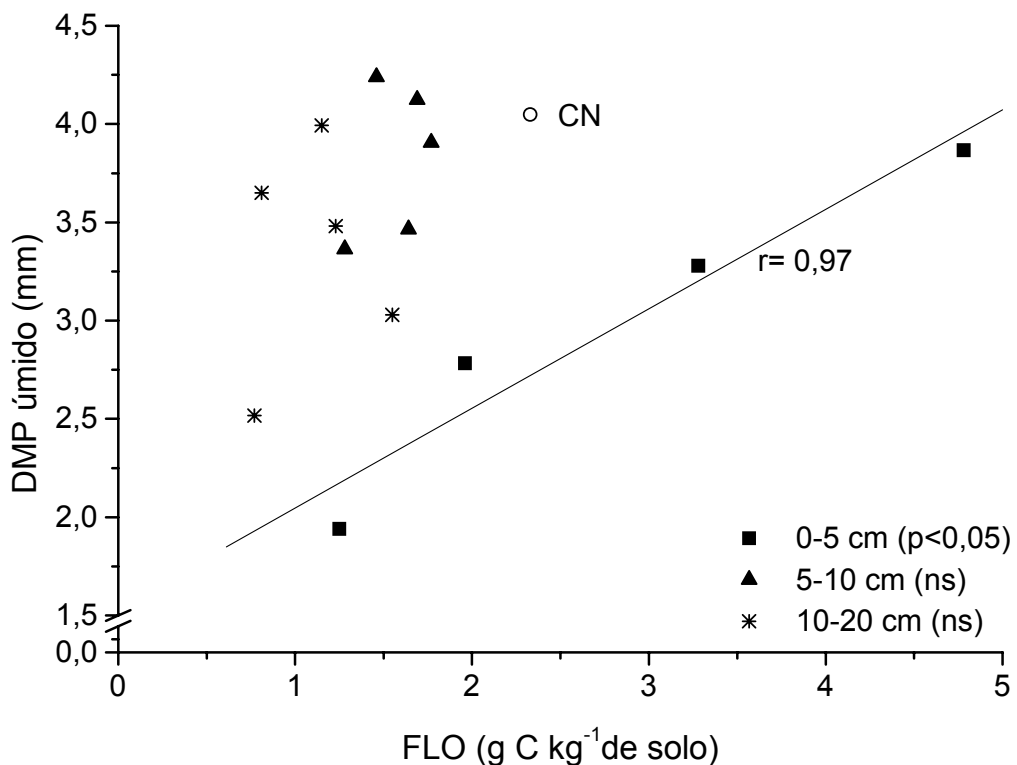


Figura 12. Relação entre a concentração de C na fração leve oclusa (FLO) e o diâmetro médio ponderado úmido (DMP) para três camadas de um Argissolo Vermelho subtropical. CN= campo nativo da camada de 0-5 cm, não incluído na correlação.

O aumento da concentração de C na FLL e FLO nos sistemas sob PD resultou em maior estoque dessas frações na camada de 0-5 cm (Tabela 10) o que é concordante com as adições de resíduos que ocorrem em superfície e as condições menos oxidativas mantidas no solo em PD. Para a FLL o aumento foi de 0,35 (não significativo) e 0,95 Mg C ha⁻¹ para o sistema de cultura AM e AVMC, respectivamente, no solo em PD em relação ao solo em PC. Para a FLO, as diferenças foram mais expressivas representando 1,24

e 1,88 Mg C ha⁻¹ entre os sistemas de preparo, nos sistemas AM e AVMC, respectivamente. Essa maior oclusão no sistema com uso de leguminosas está provavelmente relacionada à maior presença de macroagregados de tamanho grande (> 2 mm) na camada superficial do solo sob PD AVMC relativo ao solo sob PD AM (Figura 8).

Tabela 10. Estoque de carbono nas frações leve livre (FLL) leve oclusa (FLO) e na fração pesada (FP) da matéria orgânica e, relação de cada fração com o carbono orgânico total (COT) para as camadas amostradas de um Argissolo Vermelho.

Sistemas de manejo		FLL	FLO	FP	FLL/COT	FLO/COT	FP/COT
		-----Mg ha ⁻¹ -----			-----%-----		
		-----0-5 cm-----					
PC	AM	0,46 aA	0,98 bA	5,36 bB	6,8	14,4	78,8
	AVMC	0,86 bA	1,58 bA	6,01 bA	10,1	18,7	71,1
PD	AM	0,81 aB	2,22 aB	7,38 aB	7,8	21,3	70,9
	AVMC	1,81 aA	3,46 aA	8,87 aA	12,8	24,5	62,7
CN		0,84	1,87	10,00	6,6	14,7	78,6
		-----5-10 cm-----					
PC	AM	0,13 aB	0,99 aB	5,80 aB	1,9	14,3	83,7
	AVMC	0,31 aA	1,34 aA	6,63 aA	3,7	16,2	80,1
PD	AM	0,12 aA	0,94 aA	5,87 aB	1,7	13,5	84,8
	AVMC	0,15 bA	1,18 aA	7,05 aA	1,7	14,1	84,2
CN		0,29	1,20	8,41	2,9	12,1	85,0
		-----10-20 cm-----					
PC	AM	0,25 aA	2,00 aA	11,79 aB	1,7	14,3	84,0
	AVMC	0,28 aA	2,11 aA	13,68 aA	1,7	13,1	85,1
PD	AM	0,14 bA	1,35 bA	12,26 aB	1,0	9,8	89,2
	AVMC	0,18 bA	1,37 bA	13,21 aA	1,2	9,3	89,6
CN		0,36	1,71	14,63	2,2	10,3	87,6

Médias seguidas de mesma letra na coluna comparam sistemas de preparo dentro de um mesmo sistema de culturas (minúsculas) e sistemas de cultura dentro de sistemas de preparo (maiúsculas), não diferindo entre si pelo teste de Tukey a 5% para cada profundidade. PC= preparo convencional. PD= plantio direto, CN= campo nativo, A=aveia, M=milho, V= vica e C=caupi.

Na camada de 5-10 cm não ocorreu efeito do preparo do solo para o sistema de cultura AM em todas as frações enquanto para o sistema AVMC ocorreu maior estoque de C no solo em PC relativo ao solo em PD. Para o solo sob PC o uso de leguminosas resultou em maiores estoques de C na maioria das frações, comparativamente ao sistema com a utilização de AM.

Na camada de 10-20 cm o revolvimento da camada arável no solo em PC, associado com o baixo aporte de resíduos em profundidade no solo em PD, resultou em maiores estoques de C na FLL e na FLO para o solo sob PC em ambos os sistemas de culturas. Considerando o efeito do revolvimento na incorporação do material em diferentes camadas, somamos os estoques de C da camada arável (0-20 cm) para ambas as frações. Dessa forma, para o sistema de cultura AM os estoques de C foram de 0,84 e 3,97 Mg ha⁻¹ para o solo em PC e 1,06 e 4,50 Mg ha⁻¹ para o solo em PD, na FLL e FLO, respectivamente. Portanto, a maior proteção de material orgânico em profundidade no solo em PC não foi suficiente para compensar totalmente os efeitos benéficos obtidos pela manutenção da palhada em superfície no solo sob PD.

6.3.3.2.1 Magnitude dos mecanismos de proteção da MOS

A importância de cada mecanismo na proteção da MOS foi avaliada pelo estoque de C em cada fração da MOS em relação ao estoque de COT do solo. Para todas as camadas e sistemas de manejo o estoque de C na FLO foi superior ao da FLL, o que é coerente com a existência de dois mecanismos de proteção da MOS na FLO (recalcitrância e oclusão). Da mesma forma, na FP ocorreu a maior proporção do estoque de COT do solo, sendo coerente com a proposição da presença na FP dos mecanismos de recalcitrância, oclusão e proteção coloidal (Sollins et al., 1996) ocorrendo assim níveis crescentes de proteção da MOS (FLL<FLO<FP).

Considerando que a FLL se mantém no solo protegida apenas pela própria recalcitrância molecular (Sollins et al., 1996), o estoque dessa fração é função das adições de resíduos e da velocidade de decomposição (Six et al., 1999b), sendo de curto tempo a permanência no sistema solo se houverem condições que facilitem a sua degradação (Six et al., 1998; Paustian et al., 2000). O estoque de C nessa fração também é dependente do período do ano (Spycher et al., 1983), sendo maior quando a coleta das amostras for posterior e próxima do manejo das culturas, principalmente para os sistemas de preparo com revolvimento do solo que incorporam os resíduos culturais em toda a camada arável (Golchin et al., 1997; Six et al., 1999b). Outrossim, a FLO é

mantida no solo pela sua própria recalcitrância e pela capacidade do solo em proteger os materiais orgânicos dentro de agregados, tornando-os mais dificilmente acessíveis aos microorganismos e suas enzimas e reduzindo a velocidade de decomposição dos mesmos (Christensen, 2000).

Efetuada a razão FLL/COT (Tabela 10) verificamos que na camada superficial (0-5 cm) a proporção do COT mantido pelo mecanismo de recalcitrância foi semelhante entre o solo em PC e em PD, no sistema AM, enquanto no sistema AVMC ocorreu o acúmulo de C como FLL relativo ao solo em PC. Na FLO o mecanismo de proteção física foi responsável pela manutenção de 14 e 21% do estoque do COT no solo em PC e em PD, respectivamente, no sistema de cultura AM. Dessa maneira, o mecanismo de proteção física foi aproximadamente 2 e 3 vezes mais importante no acúmulo de C no solo em PC e em PD, respectivamente, do que o mecanismo de recalcitrância. Por outro lado, comparando os sistemas de manejo entre si, a importância da oclusão na manutenção do estoque de C no solo aumentou em 50% pela utilização do solo em PD relativo ao solo em PC.

O mecanismo de proteção coloidal foi o mais importante na manutenção dos estoques de C no solo, sendo que o C na FP representou de 62,7 a 78,8% do estoque de COT do solo na camada de 0-5 cm, concordando com resultados de literatura que indicam ser essa a fração responsável pela manutenção da maior parte do estoque de COT (Christensen, 1992; Cambardella & Elliott, 1994; Six et al., 1999b; Roscoe & Machado, 2002). No entanto, o uso do solo em PD diminuiu a importância desse mecanismo de proteção da MOS em relação ao solo em PC na camada de 0-5 cm, demonstrando que o não revolvimento do solo com a manutenção de uma maior agregação (Figura 8) diminuiu a velocidade de decomposição da MOS (Golchin et al., 1997; Six et al., 1998) permitindo a MOS acumular em estruturas menos decompostas (FLL e FLO) e reduzindo o estoque de C associado com a matriz mineral (FP).

Para as camadas de 5-10 e 10-20 cm a proporção de C na FLL diminuiu consideravelmente para todos os sistemas de manejo em relação a camada de 0-5 cm. Para o solo em PC AM, embora a incorporação dos resíduos vegetais nessas camadas, ocorreu a redução da proporção de C na FLL sem que no entanto tenha ocorrido redução na proporção de C estocado

como FLO. Isso permite pressupor que as condições oxidativas existentes no solo em PC aumentaram a decomposição do material orgânico que estava livre no solo, enquanto que o material orgânico protegido nos agregados sofreu menor influência. Para o solo sob PD AVMC a diminuição da proporção de C na FLL e na FLO teve como consequência um aumento significativo do estoque de C na FP que passou de 62,7% na camada superficial para 89,6% do COT na camada de 10-20 cm.

6.3.3.2.2 Variação no estoque de C nas frações entre os sistemas de culturas

Para avaliar a influência do uso de leguminosas no aumento do estoque de C nas frações e no solo integral calculou-se a variação de cada fração e do C no solo integral entre os sistemas de cultura em cada sistema de preparo ($\Delta \text{ Mg ha}^{-1}$) (Tabela 11). Assim, foi possível determinar a importância de cada mecanismo de proteção da MOS no aumento do estoque total de C do solo pelo cálculo da variação da fração relativa à variação do estoque de COT ($\Delta \text{ fração}/\Delta \text{ COT}$).

O uso de leguminosas contribuiu para o aumento no estoque de C em todas as frações e camadas, independente do sistema de preparo do solo. Para a camada de 0-5 cm no solo em PC e PD, 23 e 27% do material orgânico, respectivamente, se manteve no solo exclusivamente pela recalcitrância (FLL). Para a FLO que possui dois mecanismos de proteção (recalcitrância e oclusão), ocorreram 37 e 33% das diferenças nos estoques em função do uso de leguminosas no PC e no PD, respectivamente (Tabela 11). Em ambos os sistemas de preparo, o estoque de C como FP foi responsável por 40% da diferença no estoque total de MOS pela utilização do sistema de cultura AVMC. Esses resultados evidenciam que a utilização de um sistema mais complexo com maiores adições de resíduos aumentou a agregação, protegendo a MOS e, provavelmente, diminuindo a velocidade de decomposição e associação com a fração organomineral demonstrado pela partição semelhante de C entre a FLO e a FP na camada superficial.

Tabela 11. Variação no estoque de C (Δ) na fração leve livre (FLL), leve oclusa (FLO), pesada (FP) e no solo integral (COT) entre os sistemas de cultura dentro de cada sistema de preparo e relação da variação das frações com a variação do COT para um Argissolo subtropical.

Sistemas de preparo	Δ (Mg ha ⁻¹)				Δ fração/ Δ COT* 100		
	FLL	FLO	FP	COT	FLL	FLO	FP
-----0-5 cm-----							
PC	0,39	0,60	0,65	1,64	23	37	40
PD	1,00	1,24	1,49	3,73	27	33	40
-----5-10 cm-----							
PC	0,17	0,35	0,83	1,35	13	26	61
PD	0,03	0,25	1,18	1,45	2	17	81
-----10-20 cm-----							
PC	0,04	0,11	1,88	2,03	2	6	92
PD	0,04	0,02	0,95	1,01	3	2	95
-----0-20 cm-----							
PC	0,60	1,06	3,37	5,03	12	21	67
PD	1,06	1,51	3,62	6,19	17	24	59

Δ = Estoque de C (AVMC) – estoque de C (AM), PC= preparo convencional e PD= plantio direto

Os resultados para a camada de 5-10 cm e 10-20 cm demonstram que grande parte do incremento do estoque de C pelo uso de leguminosas ocorreu na FP. Para o solo em PD 95% das diferenças no acúmulo de COT (1,01 Mg ha⁻¹) entre o sistema AVMC e o AM ocorreram na FP, sendo coerente com uma maior interação mineral do material orgânico na camada de 10-20 cm, uma vez que praticamente não ocorreu adição de resíduos em profundidade, com exceção do aporte via senescência do sistema radicular ou atividade biológica. Para o solo em PC, no entanto, as diferenças no estoque de COT foram de 2,03 Mg ha⁻¹ e 93% desse estoque acumularam como FP resultante da incorporação dos resíduos culturais em profundidade, pela aração e gradagem, que aumenta a exposição do material orgânico à atividade microbiana acelerando a decomposição e a interação com a matriz mineral do solo.

A integração dos estoques de C da camada arável (0-20 cm) evidenciou a importância do não revolvimento do solo na proteção física da MOS, pois ocorreu praticamente o dobro do material mantido como FLL e FLO no sistema em PD comparativamente ao solo sob PC. No solo em PC, 67% da

variação dos estoques entre o sistema AM e AVMC ocorreu na FP sendo superiores aos 58% obtidos para o solo em PD. Isso pode ser decorrente das condições oxidativas do ambiente no solo em PC que, aliado a resíduos com baixa relação C/N como as leguminosas, acelerou a velocidade de decomposição. Isso reduziu a formação de macroagregados estáveis que protegem a MOS da decomposição, possibilitando a fração orgânica associar-se com a FP (Cambardella & Elliott, 1993b; Six et al., 1999b; 2000a).

6.3.3.2.3 Variação no estoque de C nas frações entre os sistemas de preparo do solo

De forma similar ao efetuado na Tabela 11 para o efeito dos sistemas de culturas, calculou-se a importância dos sistemas de preparo do solo na proteção da MOS (Tabela 12). Para simplificação da discussão são apresentados apenas os resultados da camada de 0-5 cm, onde os efeitos dos sistemas de manejo foram mais pronunciados, e da camada de 0-20 cm.

Tabela 12. Variação no estoque de C (Δ) na fração leve livre (FLL), leve oclusa (FLO), pesada (FP) e no solo integral (COT) entre os sistemas de preparo dentro de cada sistema de cultura e relação da variação das frações com a variação do COT para um Argissolo Vermelho.

Sistemas de cultura	Δ (Mg ha ⁻¹)				Δ fração/ Δ COT * 100		
	FLL	FLO	FP	COT	FLL	FLO	FP
-----0-5 cm-----							
AM	0,35	1,24	2,02	3,61	10	34	56
AVMC	0,95	1,88	2,86	5,69	17	33	50
-----0-20 cm-----							
AM	0,23	0,53	2,56	3,32	7	16	77
AVMC	0,69	0,98	2,82	4,48	15	22	63

Δ = Estoque de C (PD) – estoque de C (PC). PC= preparo convencional, PD= plantio direto, CN= campo nativo, A=aveia, M=milho, V= vica e C=caupi.

Na camada de 0-5 cm uma pequena parcela do aumento do COT entre o solo em PC e o solo em PD ocorreu na FLL (10 e 17%) enquanto a FLO foi responsável por 1/3 da variação do estoque de C entre os sistemas de manejo. Assim, embora na FP ocorressem os maiores estoques de C, o

aumento do estoque de C no solo pela utilização do sistema plantio direto ao longo dos 18 anos de condução do experimento em relação ao uso do solo em PC foi consequência tanto do incremento de C na FP (50-56%) como nas frações leves (44-50%).

Considerando a camada de 0-5 cm, houve maior efeito do preparo do solo no sistema de cultura AVMC do que no sistema de cultura AM, com o aumento do estoque de C em todas as frações e no solo integral. Para a camada de 0-20 cm a utilização de um sistema com consorciação de leguminosas teve influência na variação dos estoques do COT e da FP entre os sistemas de preparo, resultando em aumento do estoque de C na FLL e FLO. O efeito do sistema de preparo foi similar considerando os resultados da camada de 0-5 e 0-20 cm, porém na camada arável do solo ocorreu um aumento na proporção de C estocado como FP entre os sistemas de preparo.

Para a camada de 0-20 cm, o sistema AM apresentou pequena variação entre os preparos sendo apenas 7% do estoque de COT acumulado como FLL, enquanto o mecanismo de oclusão foi responsável por 16% da proteção ou do acúmulo da MOS. Nesse sistema as maiores diferenças no acúmulo de C ocorreram na FP. Para o sistema AVMC o maior número de culturas na sucessão resultou em maior proporção do estoque de C como FLO (22%) em relação ao sistema AM, sendo esse resultado reflexo do efeito positivo do uso do solo em PD no estoque de MOS em todas as frações na camada de 0-5 cm, associada com pequenas variações nas demais camadas em relação ao solo sob PC. A FP foi responsável pela maior parte (63%) do acúmulo de COT no solo em PD em relação ao solo em PC. Dessa maneira, não somente ocorreu maior estoque de COT no solo em PD AVMC, como a MOS foi constituída de uma proporção maior de material orgânico lábil, que exerce significativa influência nos processos biológicos do solo.

6.4 Conclusões

A utilização do solo em plantio direto resultou em aumento nos estoques de MOS e na estabilidade de agregados, principalmente na camada de 0-5 cm.

Os mecanismos de recalcitrância molecular, oclusão e proteção coloidal tiveram ordem de importância crescente na proteção da MOS (FLL<FLO<FP) para todos os sistemas de manejo do solo.

O mecanismo de oclusão foi responsável por mais de 30% do acúmulo de C no solo em PD em comparação ao solo em PC.

O uso do solo em PD aumentou a proteção física da MOS por oclusão em agregados, sendo esse mecanismo o responsável pela maior parte do acúmulo de C na camada arável do solo para o sistema de cultura AVMC.

7 ESTUDO IV: PROTEÇÃO FÍSICA DA MATÉRIA ORGÂNICA EM UM LATOSSOLO VERMELHO ARGILOSO NA REGIÃO SUBTROPICAL BRASILEIRA

7.1 Introdução

O plantio direto é um sistema de produção agrícola que se mantém em expansão, representando atualmente cerca de 22 milhões de hectares no Brasil (FEBRAPDP, 2006). Nesse contexto, produtores da região agrícola correspondente ao Planalto Médio e Missões do estado do Rio Grande do Sul foram pioneiros na introdução dessa técnica no estado no final da década de 70, no século passado (Mielniczuk, 1999). Atualmente esse sistema de cultivo é utilizado em aproximadamente 10 milhões de hectares na região sul do Brasil (FEBRAPDP, 2006), determinando incrementos significativos no estoque de C em áreas conduzidas sob esse sistema conservacionista em solos subtropicais brasileiros (Bayer & Mielniczuk, 1999; Bayer et al., 2000a; 2000b; 2000c; Amado et al., 2001; Bayer, 2003).

A taxa anual de acúmulo de C em solos subtropicais brasileiros sob plantio direto varia entre 0,15 e 0,81 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹ (Bayer et al., 2006), demonstrando o potencial desses solos em acumular C quando submetidos a sistemas conservacionistas de manejo. O acúmulo de C contribui para uma melhoria significativa das características físicas, químicas e biológicas do solo, essenciais para que o mesmo desempenhe suas funções agrônomicas e ambientais de forma sustentável (Vezzani, 2001; Mielniczuk et al., 2003). No entanto, o incremento do estoque de C em solos sob plantio direto não tem sido tão evidente em Latossolos subtropicais argilosos com altos teores de óxidos de ferro (Bayer, 1996; Freixo et al., 2002c) o que demonstra que a

textura do solo, bem como sua mineralogia, são fatores que controlam a dinâmica da MOS (Hassink et al., 1993; Feller & Beare, 1997).

Dessa forma a hipótese que norteia este estudo é de que solos argilosos possuem uma maior capacidade de acumular MOS sendo o estoque de C menos afetado pelas alterações dos sistemas de manejo devido a sua maior estabilidade estrutural. Assim, os objetivos deste estudo foram avaliar o efeito do plantio direto nos estoques da MOS e na estabilidade de agregados em comparação ao solo sob preparo convencional, bem como determinar a magnitude dos mecanismos de proteção da MOS em um experimento de longa duração conduzido em um Latossolo Vermelho de textura muito argilosa no Sul do Brasil.

7.2 Material e métodos

7.2.1 Área experimental

O experimento localiza-se no município de Santo Ângelo, na região fisiográfica das Missões, nas coordenadas 28°30' de latitude sul e 54°27' de longitude oeste, na área experimental do Centro de Atividades Agrícolas e Florestais da Cooperativa Triticola Santo Ângelo (CAAF-COTRISA). O clima da região é tropical úmido sem estiagens prolongadas, sendo a temperatura média anual de 19,5 °C e a precipitação média anual de 1850 mm (Dalla Rosa, 1981). O solo é um Latossolo Vermelho distroférico (Embrapa, 1999), textura muito argilosa (680 g kg⁻¹ de argila) com 246 g kg⁻¹ de Fe₂O₃.

O experimento foi instalado em 1979 e maiores detalhes experimentais podem ser obtidos em Dalla Rosa (1981), Merten (1988) e Bayer (1996). As parcelas principais medem 10 x 40 m, sendo divididas em duas subparcelas (com e sem aplicação de N em cobertura) num delineamento experimental em blocos ao acaso, com duas repetições. O experimento sofreu duas alterações na seqüência de culturas ao longo da sua condução. Em 1986 as parcelas originais foram divididas em duas subparcelas, sendo uma mantida com sucessão de trigo e soja e a outra cultivada com a sucessão aveia/milho. Em 1999, todo o experimento passou a ser manejado sob um único sistema de

rotação de culturas, preservando a forma de condução dos sistemas de preparo e da adubação nitrogenada (Tabela 13).

Para o presente estudo foi amostrado o solo nas subparcelas sem adubação nitrogenada, que correspondiam às parcelas cultivadas com trigo/soja e aveia/milho no período de 1986-1999 (Tabela 13), implantadas em plantio direto (PD) e preparo convencional (PC). Em propriedade adjacente, mas pertencente a posição semelhante na paisagem, foi amostrada uma área de referência (Mata) também em duas repetições. A amostragem do solo ocorreu na segunda quinzena de novembro de 2004, após a colheita de grãos da cultura do nabo forrageiro (*Raphanus raphanistrus*), antecedendo ao preparo do solo para implantação da cultura de verão.

Tabela 13. Seqüência de culturas utilizadas ao longo da condução do experimento em um Latossolo Vermelho na região subtropical do Brasil (1979-2004).

Safras	Sistemas de preparo			
	PC		PD	
1979-1985	Trigo/soja		Trigo/soja	
1986-1999	Trigo/soja	Aveia/milho	Trigo/soja	Aveia/milho
1999/2000	Trigo/soja		Trigo/soja	
2000/2001	Trigo/milho		Trigo/milho	
2001/2002	Aveia/soja		Aveia/soja	
2002/2003	Nabo/milho		Nabo/milho	
2003/2004	Trigo/soja		Trigo/soja	
2004	Nabo		Nabo	

Fonte: Merten (1988), Dalla Rosa (comunicação pessoal).

7.2.2 Amostragem do solo

Os procedimentos adotados para a amostragem do solo foram os mesmo descritos no estudo anterior (item 6.2.2). Para essa área experimental foi procedida a amostragem para determinação da densidade do solo pelo método do anel volumétrico (Embrapa, 1997) (Apêndice 5) tendo sido utilizada a densidade da área da Mata para correção do estoque de C no solo em PC e em PD por massa equivalente (Ellert & Bettany, 1995).

7.2.3 Determinações

As determinações foram as mesmas descritas para o estudo anterior nos itens 6.2.3.1, 6.2.3.2 e 6.2.3.3. Para o fracionamento físico densimétrico da MOS a energia de dispersão foi de 420 J mL⁻¹.

7.2.4 Análise estatística

A análise estatística seguiu o mesmo procedimento adotado no estudo anterior, descrito no item 6.2.4.

7.3 Resultados e discussão

Os resultados obtidos não demonstraram efeito residual dos sistemas de culturas trigo/soja e aveia/milho utilizados no período de 1986-1999 para todas as determinações efetuadas. Dessa forma, utilizamos os resultados na média dos sistemas de culturas, sendo abordado apenas o efeito dos sistemas de preparo do solo.

7.3.1 Carbono orgânico do solo

O uso de sistema com revolvimento do solo (PC) resultou em estoque de C na camada superficial do solo representando cerca de 38% do obtido no solo sob mata. Por outro lado, a utilização da área experimental por 25 anos em plantio direto resultou em aumento dos estoques de C aproximadamente 19% superior ao solo sob PC (Tabela 14), demonstrando o potencial desse sistema de preparo do solo em recuperar os estoques de MOS do solo. Para ambos os sistemas de preparo houve menores concentrações de C em profundidade (Apêndice 5), não ocorrendo a homogeneidade de C ao longo do perfil para o solo em PC como foi verificado no Argissolo de Eldorado do Sul (Figura 6). O estoque de C evidenciou diferenças apenas em superfície entre os sistemas de preparo seguindo a tendência de estudos efetuados com Latossolos para a região (Freixo et al., 2002c; Sisti et al., 2004; Zotarelli et al., 2005).

Os estoques de C no solo de mata foram superiores aos dos sistemas agrícolas em todas as camadas, evidenciando o efeito da utilização da área em PC no período anterior a implantação do experimento. Os estoques de C no presente estudo foram inferiores aos obtidos para um Latossolo da região de Passo Fundo (RS) (Freixo et al., 2002c), porém a pequena diferença obtida por esses autores entre as áreas cultivadas e o solo de referência (Mata) indicam que, possivelmente, a área experimental possuía um histórico de utilização antecedendo a implantação do experimento que não tenha resultado em reduções significativas do estoque de MOS. Similarmente aos resultados obtidos por Freixo et al., (2002c) e Zotarelli et al. (2005) para Latossolos os estoques de C somente foram significativamente diferentes entre o solo em PC e o solo em PD para a camada de 0-5 cm evidenciando a grande resistência desses solos a degradação e conseqüente perda de C em condições experimentais com ausência de erosão do solo.

Tabela 14. Estoque de carbono orgânico total (COT) em um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo.

Sistemas de manejo	camada (cm)			
	0-5	5-10	10-20	0-20
	-----Mg ha ⁻¹ -----			
PC	9,10 b	11,76 a	19,18 a	40,03 a
PD	10,88 a	10,99 a	18,49 a	40,36 a
Mata	23,87	17,58	24,42	65,88

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. PC= Preparo convencional, PD= Plantio direto.

7.3.2 Agregação do solo

A maior concentração de C em superfície no solo em PD se refletiu em uma maior proporção de agregados estáveis em água na classe maior que 4,76 mm, sendo 75% superior à massa de agregados obtidos para o solo em PC (Figura 13). Embora a concentração de COT do solo em PD tenha sido inferior ao do solo da Mata, a distribuição de agregados estáveis em água para todas as classes de diâmetro de agregados foi muito semelhante entre esses tratamentos demonstrando a importância da utilização de sistemas agrícolas sem revolvimento do solo na melhoria das características físicas do solo.

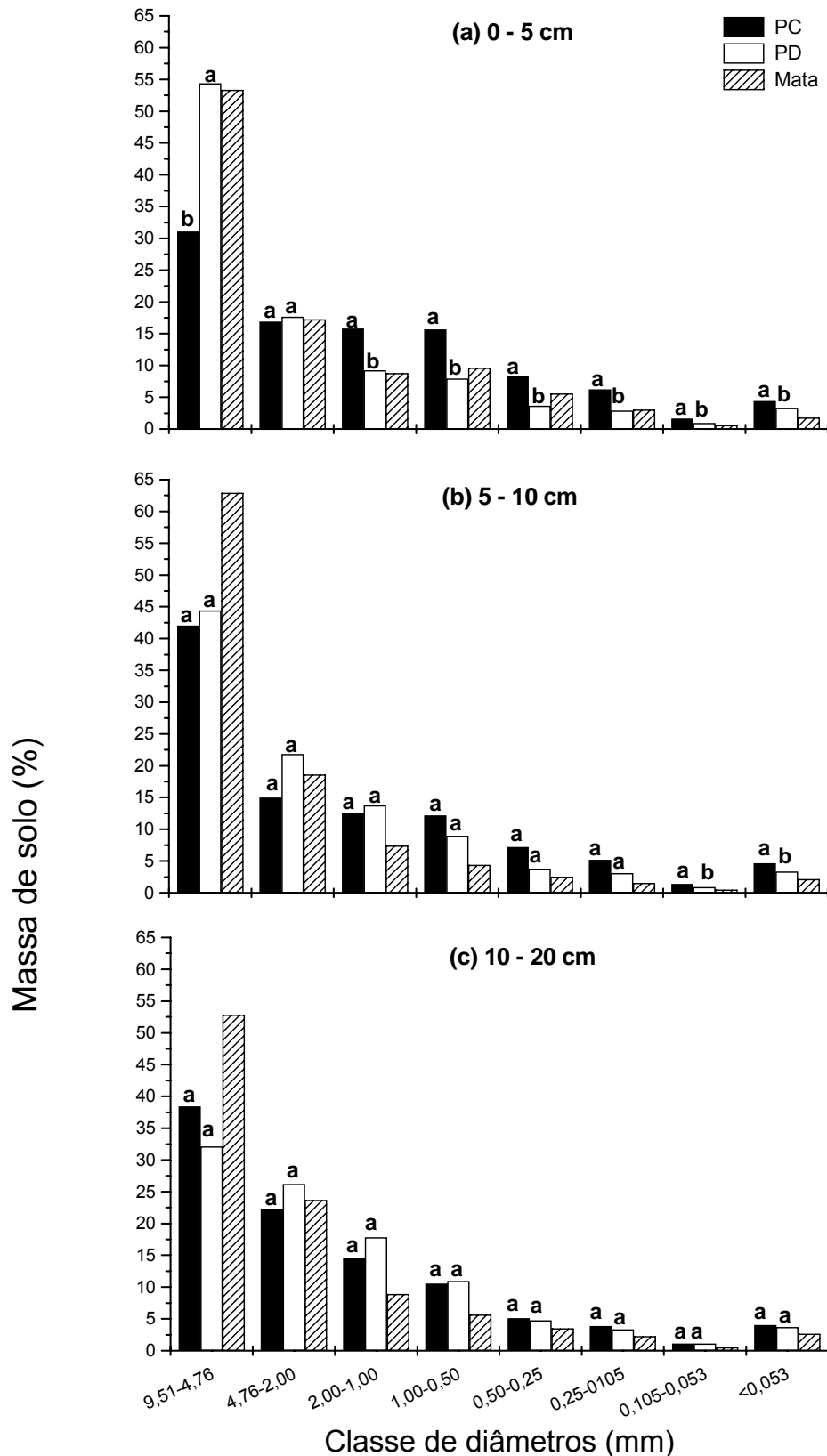


Figura 13 Distribuição de agregados de solo estáveis em água, por classe de diâmetro de agregados, na camada de 0-5 (a), 5-10 (b) e 10-20 cm (c) de um Latossolo Vermelho. Médias seguidas de mesma letra nas classes de diâmetro, em cada profundidade, comparam sistemas de preparo dentro de um mesmo sistema de culturas não diferindo entre si pelo teste de Tukey a 5%. PC= preparo convencional, PD= plantio direto.

A maior proporção de agregados grandes no solo em PD ocorreu a partir da união de agregados de classes intermediárias (0,25 a 2 mm), como evidenciado pelo aumento da massa de solo nas classes de agregados 9,51-4,76 mm nesse sistema de manejo em comparação ao solo em PC, na camada de 0-5 cm (Figura 13). Para a camada de 5-10 cm há similaridade na distribuição dos agregados estáveis em água entre o solo em PC e o solo em PD na classe 9,51-4,76 mm que ainda foi a predominante com mais de 40% da massa de solo. Para a camada mais profunda houve um decréscimo na proporção de agregados grandes, a exceção do solo sob mata, aumentando a participação de agregados da classe 4,76-2,00 mm (Figura 13).

A elevada estabilidade estrutural do Latossolo resultou em mais de 50% da massa do solo presente como agregados maiores que 2 mm em todos os sistemas de manejo, sendo inclusive, no solo de mata mais de 70% da massa do solo nessa classe de agregados. O aumento dos agregados maiores que 2 mm entre o solo em PC e o solo em PD para a camada de 0-5 cm foi de 50% elevando de 48 para 72% a massa do solo agregado nessa classe de diâmetro. Para a camada de 5-10 cm ainda ocorreu aumento na proporção de agregados maiores que 2 mm pelo uso do solo em PD, porém na camada de 10-20 cm a estabilidade foi similar entre os sistemas de preparo. Essa proporção de agregados de diâmetro 9,51-2,00 mm na camada de 0-5 cm do solo em PD é provavelmente resultado do maior estoque de C que auxilia na formação e estabilização dos agregados.

Os ciclos de umedecimento e secagem do solo podem atuar tanto como agregantes quanto como destruidores da estrutura do solo (Denef et al., 2001). Quando ocorre a contração da matriz do solo pela secagem, há uma maior coesão das partículas coloidais entre si resultando em agregação. Porém, quando ocorre o umedecimento rápido do solo, há uma destruição dos agregados baseados em dois processos: o umedecimento diferencial de pontos dos agregados gerando planos de fraqueza e o aumento da pressão interna do ar pelo encapsulamento do mesmo dentro dos poros quando da entrada da água levando ao rompimento do agregado quando a pressão interna for maior que a força que mantém as partículas do solo unidas (slaking). As maiores variações de umidade na camada superficial do solo em PC (Salton & Mielniczuk, 1995), devido à ausência de cobertura do solo, pode ter como

conseqüência uma maior ocorrência do fenômeno de destruição dos agregados pelo aumento da pressão interna quando da ocorrência de chuvas resultando em maiores percentagens de estruturas pequenas como verificado na Figura 13a.

Os macroagregados são, conceitualmente, os mais afetados por mudanças nos sistemas de manejo do solo (Tisdall & Oades, 1982). Um maior percentual de macroagregados de solo é importante por diminuir a velocidade de decomposição da MOS, aumentando o tempo de permanência do material particulado como núcleo de agregação (Golchin et al., 1997) e, possibilitando a formação de microagregados enriquecidos em MOS (Six et al., 2000a). A função da MOS como núcleo de agregação é evidenciada no solo de mata que apresentou, nas três profundidades amostradas, praticamente toda a massa de solo mantida como estruturas maiores que 250 μm (Figura 14), resultante da adição contínua de MOP ao solo com atuação efetiva dos agentes ligantes transitórios e temporários.

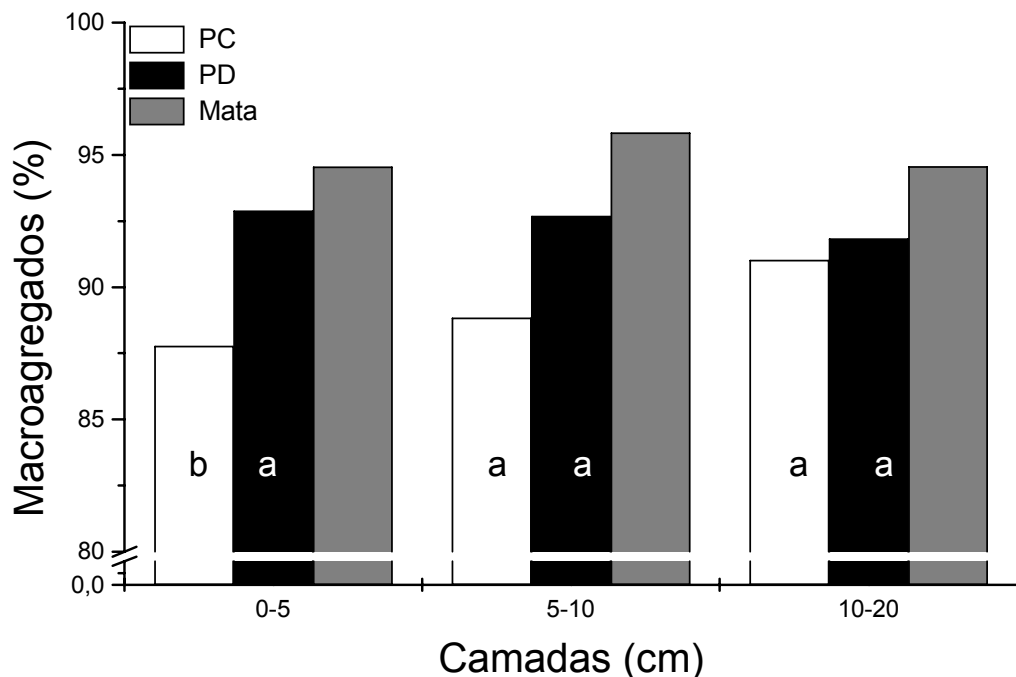


Figura 14. Percentagem de macroagregados de solo estáveis em água, em três camadas de um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo. PC= Preparo convencional, PD= Plantio direto. Médias seguidas de mesma letra dentro de cada profundidade não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Para a camada de 0-5 cm, aproximadamente 93% da massa de solo foi constituída de macroagregados no solo sob PD enquanto para o solo manejado sob PC ocorreram 88% de macroagregados. Para a mesma área experimental (Silva, 1993) reportou macroagregação similar para o solo de mata e de 77% para o solo sob PC na subparcela de trigo/soja. A maior macroagregação no solo em PC obtida no presente estudo pode ser resultante da utilização na área experimental, desde 1999, de culturas como o milho e aveia (Tabela 13) que possuem maior potencial de aporte de resíduos ao solo.

A manutenção no solo de estruturas grandes e estáveis resultou em valores elevados de DMP na determinação de estabilidade tanto a seco quanto a úmido (Tabela 15). O solo sob PC apresentou menor DMPu nas duas primeiras camadas, em ambos os sistemas de cultura, em comparação ao solo sob PD. Para a camada de 0-5 cm o aumento da concentração de C no solo em PD em relação ao solo em PC, foi acompanhado pelo aumento de 48% no DMPu. Como consequência da diminuição da presença de estruturas grandes em profundidade no solo em PD (Figura 13c) o DMPu também diminuiu em profundidade.

Tabela 15. Diâmetro médio ponderado seco (DMPs) e úmido (DMPu) dos agregados de solo e índice de estabilidade de agregados (IEA) em um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo.

Sistemas de manejo	DMPs	DMPu	IEA
-----mm-----			
-----0-5 cm-----			
PC	3,52 a	3,19 b	0,90 a
PD	4,39 a	4,70 a	1,08 a
Mata	4,19	4,62	1,10
-----5-10 cm-----			
PC	4,87 a	3,82 a	0,79 a
PD	4,95 a	4,20 a	0,85 a
Mata	5,39	5,28	0,98
-----10-20 cm-----			
PC	4,79 a	3,82 a	0,80 a
PD	5,20 a	3,55 a	0,69 b
Mata	5,03	4,76	0,95

PC= Preparo convencional, PD= Plantio direto. Médias seguidas de mesma letra na coluna dentro de cada profundidade não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

A avaliação de agregados a seco pode ser utilizada como um índice de estabilidade de agregados, porém, a existência de estruturas grandes quando o solo está seco, formadas muitas vezes por processos mecânicos de compressão do solo, não significa necessariamente que os agregados possuam estabilidade e resistência à desagregação em água (Kemper & Rosenau, 1986). Dessa maneira a razão entre o DMP úmido com o DMP seco resulta num índice (IEA) que nos indica o quanto da massa do solo é efetivamente estabilizada por processos biológicos.

O IEA obtido para os agregados de solo da camada de 0-5 cm foi próximo de 1, demonstrando a elevada estabilidade estrutural do Latossolo (Tabela 15). Para a camada de 5-10 cm o solo sob PC apresentou IEA similar ao obtido para o solo sob PD, enquanto para a camada mais profunda ocorreram maior IEA no solo sob PC, sendo coerente com a tendência de maiores estoques de C verificados nessa camada (Tabela 14).

O resultado obtido para o IEA do solo sob PC foi superior ao obtido por Silva (1993) para o solo nessa mesma área experimental que foi de 0,43. A alteração do sistema de monocultura trigo/soja para uma rotação com introdução de espécies gramíneas com maior potencial de agregação (Silva & Mielniczuk, 1997a) provavelmente seja uma das explicações para a elevada estabilidade estrutural do solo em PC verificada no presente estudo.

7.3.3 Fracionamento físico da MOS

7.3.3.1 Fracionamento granulométrico

A deposição de resíduos em superfície no solo em PD aumentou o estoque de COP em 57% em relação a camada de 0-5 cm do solo em PC, sendo a diferença entre os sistemas de preparo de $0,76 \text{ Mg ha}^{-1}$ (Tabela 16). O maior estoque de COP no solo sob PD provavelmente foi o responsável pelo aumento da estabilidade dos macroagregados (Figura 14) resultando numa maior resistência ao rompimento quando sujeito a agitação em água. Para as camadas de 5-10 cm e 10-20 cm não houve diferenças entre os sistemas de preparo. A razão COP/COT aumentou com a ausência do revolvimento do solo sendo para o solo sob PD 76% da obtida para o solo sob mata para a camada

de 0-5 cm, demonstrando o potencial desse sistema em acumular material orgânico em estágio inicial de decomposição que contribuem para os processos biológicos do solo. O carbono associado aos minerais (CAM) representou a maior proporção do C presente no solo em todos os sistemas de manejo sendo que para a camada de 10-20 cm o CAM representa praticamente todo o C do solo.

Tabela 16. Estoque de carbono orgânico particulado (COP), de C associado aos minerais (CAM) e relação entre o COP e o carbono orgânico total (COT) do solo nas camadas de solo amostradas de um Latossolo Vermelho.

Sistemas de manejo	COP	CAM	COP/COT
-----Mg ha ⁻¹ -----			
-----0-5 cm-----			
PC	1,34b	7,75b	0,15
PD	2,10a	8,78a	0,19
Mata	5,99	17,88	0,25
-----5-10 cm-----			
PC	1,41a	10,34a	0,12
PD	0,74a	10,25a	0,07
Mata	1,66	15,93	0,09
-----10-20 cm-----			
PC	1,03a	18,15a	0,05
PD	0,81a	17,67a	0,04
Mata	2,50	21,93	0,10

PC= Preparo convencional, PD= Plantio direto. Médias seguidas de mesma letra dentro de cada profundidade não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

7.3.3.2 Fracionamento densimétrico

A concentração de C na FLL da MOS foi similar entre os sistemas de preparo para todas as camadas, evidenciando a baixa influência do manejo no mecanismo de proteção da MOS por recalitrância molecular, variando de 0,16 a 1,24 g kg⁻¹ para o solo sob uso agrícola (Figura 15). As maiores concentrações ocorreram na superfície (0-5 cm) com uma concentração de C na FLL 13 e 57% inferiores para a camada de 10-20 cm para o solo sob PC e PD, respectivamente. A menor concentração de C na FLL em profundidade é coerente com a deposição em superfície dos resíduos no solo sob PD, porém, para o solo sob PC, seria esperada maior concentração em profundidade

devido ao revolvimento do solo, o que não ocorreu. Uma possível causa para isso pode ser devido a coleta ter sido efetuada após a colheita da cultura hiberna, estando a camada superficial do solo em PC sob maior influência da adição de resíduos via sistema radicular do que as camadas mais profundas.

A utilização do solo em PD resultou em concentração de C na FLO de $1,97 \text{ g kg}^{-1}$ a mais em relação ao solo em PC na camada de 0-5 cm (Figura 15), enquanto para a camada de 5-10 cm ocorreu o oposto tendo o solo sob PC $1,01 \text{ g kg}^{-1}$ a mais como FLO que o solo sob PD. Para a camada de 10-20 cm as concentrações de C na FLO foram similares entre os sistemas de preparo.

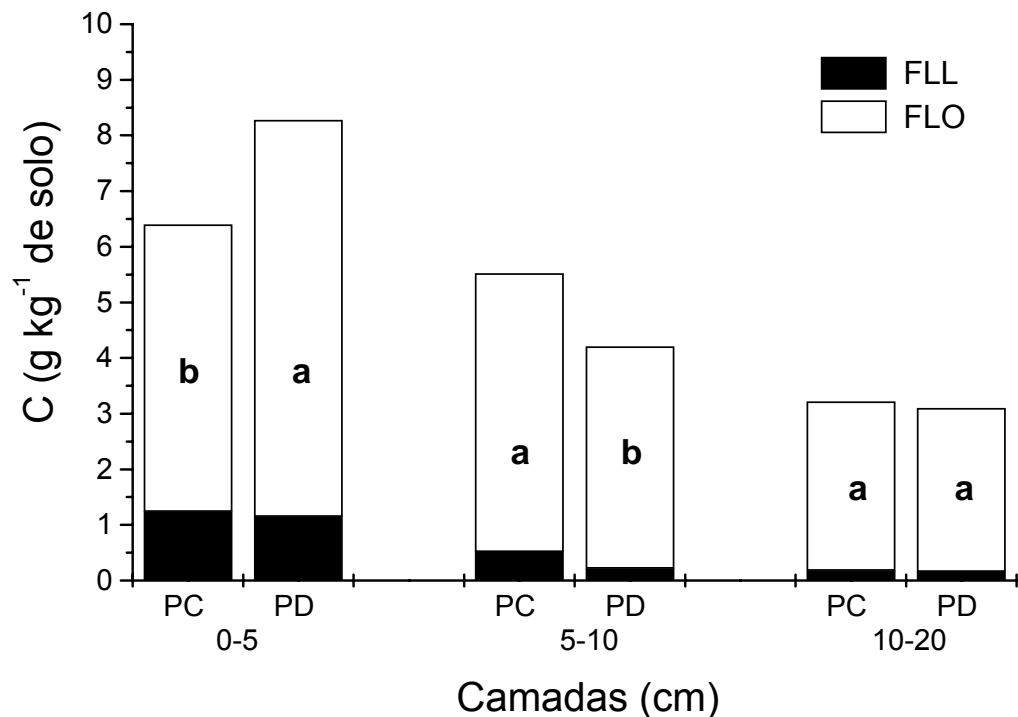


Figura 15. Concentração de C nas frações leve livre (FLL) e leve oclusa (FLO) em três camadas de um Latossolo Vermelho sob plantio direto (PD) e preparo convencional do solo (PC). Médias de C da FLO seguidas de mesma letra em cada profundidade não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. Para o C da FLL não houve diferenças significativas entre os sistemas de preparo do solo em todas as camadas.

O estoque de C na FLO foi superior ao estoque de C da FLL em todos os sistemas de uso e manejo do solo nas camadas amostradas (Tabela 17). A partir da relação FLO/COT, verificou-se que a proporção de C protegido por oclusão variou de 17,1 a 26,2% enquanto a FP foi a responsável pela maior

parte do C estocado no solo (60,3 a 82,0%) Para a camada de 0-5 cm o estoque de C na FLO foi 4,1 e 6,2 vezes superior ao estoque de C na FLL para o solo sob PC e PD, respectivamente. O maior estoque de C como FLO no solo em PD evidencia a importância da ausência de revolvimento do solo na proteção física da MOS. Na camada de 5-10 cm a FLO teve 9,8 e 18,2 vezes mais C do que a FLL, no solo em PC e PD, respectivamente, enquanto na camada de 10-20 cm a predominância do material protegido pelo mecanismo de oclusão (18 vezes superior) sobre o mecanismo de recalitrância foi similar entre os sistemas de preparo.

Tabela 17. Estoque de carbono nas frações leve livre (FLL) leve oclusa (FLO) e na fração pesada (FP) da matéria orgânica e, relação de cada fração com o carbono orgânico total (COT) nas camadas de solo amostradas de um Latossolo Vermelho.

Sistemas de manejo	FLL	FLO	FP	FLL/COT	FLO/COT	FP/COT
	-----Mg ha ⁻¹ -----			-----%-----		
-----0-5 cm-----						
PC	0,50a	2,07b	6,53b	5,5	22,7	71,8
PD	0,46a	2,85a	7,56a	4,3	26,2	69,5
Mata	3,37	6,11	14,40	14,1	25,6	60,3
-----5-10 cm-----						
PC	0,28a	2,74a	8,73a	2,4	23,3	74,3
PD	0,12a	2,19a	8,68a	1,1	19,9	79,0
Mata	0,48	4,48	12,62	2,8	25,5	71,7
-----10-20 cm-----						
PC	0,19a	3,27a	15,72a	1,0	17,1	81,9
PD	0,17a	3,16a	15,16a	0,9	17,1	82,0
Mata	0,80	4,67	18,96	3,3	19,1	77,6

Médias seguidas de mesma letra dentro de cada profundidade e fração, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

A área de mata apresentou estoque de C na FLL 7,0 vezes superior ao do solo sob uso agrícola, na média dos sistemas de preparo, resultantes da deposição de resíduos orgânicos ao longo do ano, representando para a camada de 0-5 cm aproximadamente 14% do estoque de COT (Tabela 17). Para o solo da área de referência, o C na FL representou 40% do estoque de COT nessa camada, sendo essa proporção similar à obtida por Freixo et al. (2002c) para a camada superficial de área sob mata em um Latossolo da

região de Passo Fundo, embora a possível subestimação dos dados obtidos por esses autores devido ao uso do Nal conforme demonstrado no estudo I.

Para a camada de 0-5 cm, o estoque de COT no solo em PD foi 1,78 Mg C ha⁻¹ superior em relação ao estoque no solo em PC (Tabela 14). Desse incremento, 0,78 e 1,03 Mg C ha⁻¹ acumularam na FLO e FP, respectivamente (Tabela 17), sendo que a FLL apresentou um declínio de 0,04 Mg C ha⁻¹. Essa pequena variação do estoque de C na FLL entre os sistemas de preparo, evidenciou pouco efeito da alteração do microclima no solo sob PD em comparação ao solo sob PC na manutenção da MO no solo. A oclusão da MO foi responsável por 44% do aumento do estoque de COT no solo em PD em comparação ao solo em PC, enquanto na FP que possui três mecanismos de proteção foi onde ocorreu a maior variação no estoque do COT entre o solo em PC e o solo em PD (58%). Para as camadas de 10-20 cm, independente do sistema de manejo, há uma maior participação da FP no estoque de COT do solo em relação a camada de 0-5 cm. Para o solo sob PC ocorreu 14% de aumento na proporção de C estocado como FP entre a camada de 0-5 e 10-20 cm.

7.4 Conclusões

A utilização do solo em PD aumentou o estoque de C e a estabilidade de agregados na camada de 0-5 cm, porém não ocorreram diferenças na camada de 0-20 cm com relação ao solo em PC.

A proteção coloidal da MOS é o mecanismo mais importante na proteção da MO neste solo argiloso sendo responsável por quase 80% do estoque de C mantido no Latossolo independente do sistema de manejo. A oclusão é um mecanismo responsável por aproximadamente 20% do C acumulado no solo.

O estoque de C na FLL não foi afetado pelo sistema de manejo enquanto o solo em PD apresentou um acúmulo de C na FLO em comparação ao solo em PC. O mecanismo de proteção física pela agregação foi responsável por cerca da metade do acúmulo de C no solo em PD em comparação ao solo em PC para a camada de 0-5 cm sendo a maior parte do C orgânico do solo acumulado na FP.

8 DISCUSSÃO GERAL

O COT é um indicador adequado de qualidade do solo (Gregorich et al., 1994; Doran & Zeiss, 2000; Islam & Weil, 2000; Ditzler & Tugel, 2002), porém sua sensibilidade a alterações de curto prazo em sistemas de manejo é menor do que a do COP (Cambardella & Elliott, 1993a; Bayer et al., 2000c; Conceição et al., 2005) ou da FL (Gregorich et al., 1994; Christensen, 2000). Essa constatação, associada ao avanço das metodologias de obtenção dessas frações aumentou a utilização do fracionamento físico em estudos da dinâmica da MOS (Christensen, 2000; Roscoe & Machado, 2002). O nosso objetivo no presente estudo foi discutir, evidenciar e apontar alternativas à dificuldades metodológicas que poderiam comprometer os resultados no que se refere a avaliação da proteção física da MOS por oclusão em agregados.

Visando reforçar os resultados obtidos no estudo I e II, que evidenciaram a maior eficiência do PTS na recuperação das frações orgânicas do solo, efetuamos além do fracionamento físico densimétrico da MOS do Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo com solução de PTS 2,0 g cm⁻³ discutido no estudo III, um fracionamento com solução de NaI 1,8 g cm⁻³, cujos resultados (Apêndice 3) não foram apresentados no referido capítulo devido a sua inadequação para a discussão sob o ponto de vista de proteção física da MOS pela agregação.

A baixa eficiência da solução de NaI 1,8 g cm⁻³ em recuperar o material ocluso em agregados do solo é evidenciada quando correlacionamos a concentração de C da FLL e da FLO, obtidas com soluções de NaI 1,8 g cm⁻³ e PTS 2,0 g cm⁻³, para os sistemas de manejo sob PC e PD no Argissolo (Figura 16). De maneira geral, o incremento no rendimento de C da FLL pela substituição da solução de NaI 1,8 g cm⁻³ por solução de PTS 2,0 g cm⁻³ foi da

ordem de 1,5 vezes enquanto para a FLO o incremento foi da ordem de 7,5 vezes. Dessa maneira, a capacidade diferencial da solução de NaI $1,8 \text{ g cm}^{-3}$ em recuperar a FLL em relação a FLO, associada a utilização de solo moído a 2 mm que aumenta a proporção da FLL por liberar material orgânico ocluso em macroagregados maiores que 2 mm, justifica os resultados obtidos em estudos de proteção física da MOS utilizando solução de NaI e que indicam maiores concentrações de C na FLL em comparação a FLO (Roscoe et al., 2001; Freixo et al., 2002a,c; Roscoe & Buurman, 2003; Pinheiro et al., 2004).

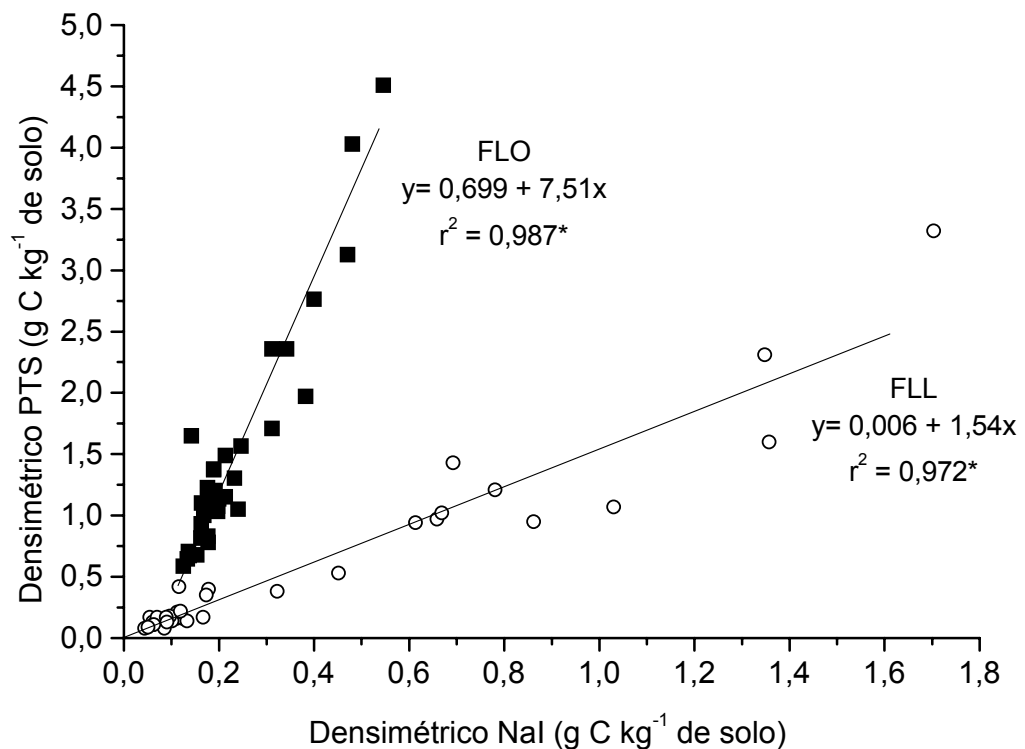


Figura 16. Correlações entre o rendimento de carbono (C) obtido com as soluções de iodeto de sódio ($\text{NaI } 1,8 \text{ g cm}^{-3}$) e politungstato de sódio ($\text{PTS } 2,0 \text{ g cm}^{-3}$), nas frações leve livre (FLL) e leve oclusa (FLO) da MOS de um Argissolo Vermelho manejado sob plantio direto e preparo convencional do solo, em dois sistemas de cultura e três profundidades (dados das 3 repetições de campo), * significativo a $p < 0,0001$.

A correlação entre o COP e o COT para o Argissolo foi elevada demonstrando o aumento do COT com o aumento da fração particulada (Figura 17a). Como as concentrações mais elevadas de COP foram obtidas para o solo sob PD, o aumento dessa fração está associado às melhorias das características físicas, químicas e biológicas do solo sob sistema conservacionista resultando em aumento de produtividade (Lovato, 2001).

Para simplificar a discussão neste capítulo, somamos a FLL com a FLO, sendo essas duas frações analisadas como FL total para fins de interpretação. De forma similar ao obtido com o COP, a correlação da concentração de C da FL obtida com $\text{NaI } 1,8 \text{ g cm}^{-3}$ com a concentração de COT foi elevada (Figura 17b). Porém, o rendimento de C da FL com o uso de $\text{NaI } 1,8 \text{ g cm}^{-3}$ foi inferior ao obtido para o rendimento do COP, embora a correlação elevada e positiva entre essas duas frações (Figura 18). Essa subestimação, superior a 50%, não é conceitualmente explicável uma vez que a fração COP é obtida em peneira de $53 \mu\text{m}$, sendo composta, basicamente, de resíduos orgânicos maiores que esse tamanho de partícula. O mínimo esperado seria uma recuperação similar das concentrações de C entre as duas frações conforme obtido por Wu et al. (2006). Esses resultados, associados a evidências já discutidas nos estudos I e II, corroboram a inadequação do uso de soluções de NaI em estudos de proteção física da MOS com o uso de fracionamento físico densimétrico.

Os mesmos sistemas de manejo quando avaliados com metodologia empregando solução de $\text{PTS } 2,0 \text{ g cm}^{-3}$ resultaram em correlação com o COP também elevada. (Figura 18) No entanto, ocorreu um maior rendimento de C pelo método densimétrico do que pelo método granulométrico, contemplando assim o aspecto conceitual de que o material obtido como COP é apenas uma parte da FL (Carter, 1995).

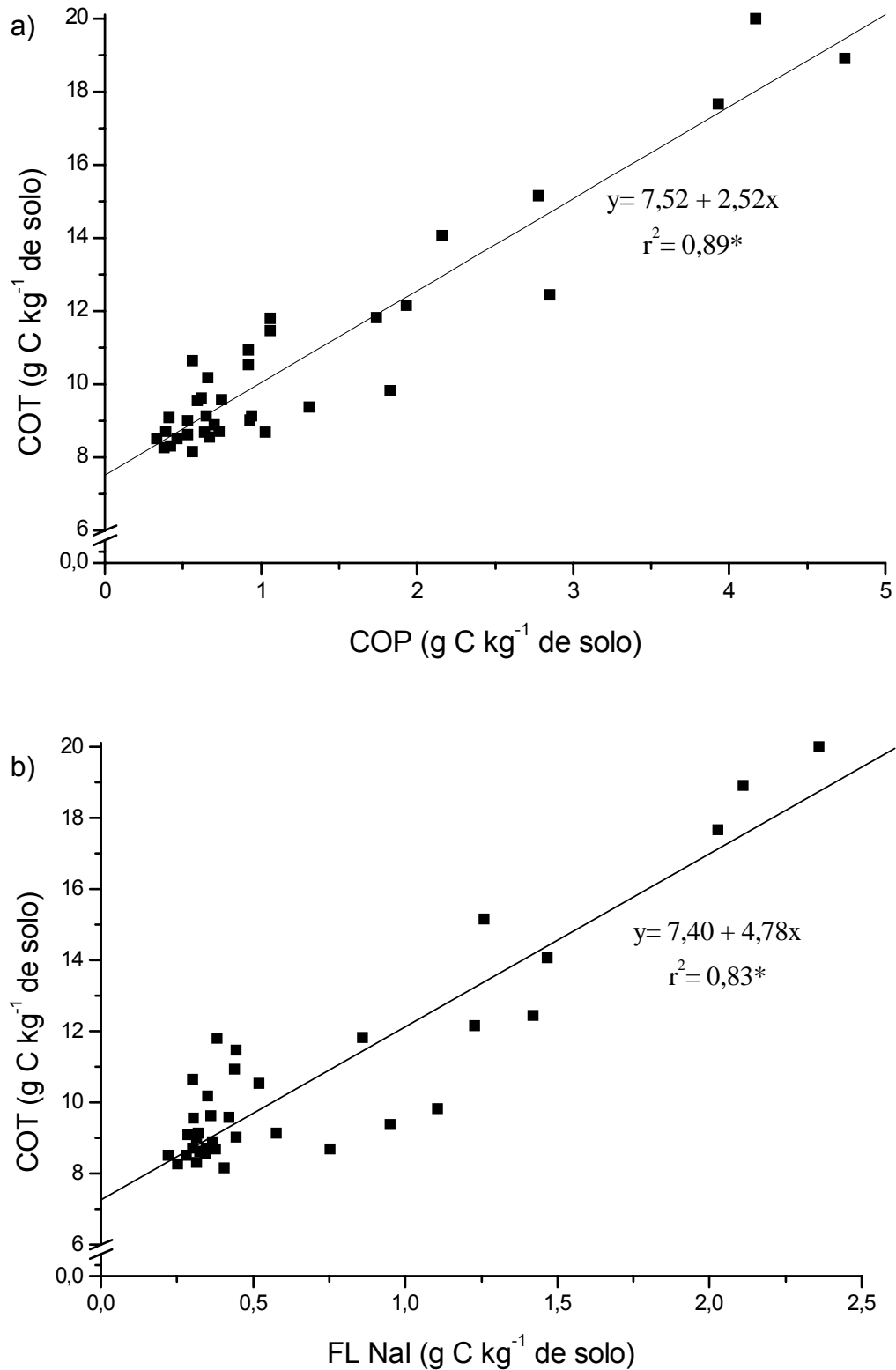


Figura 17. Correlação entre o carbono orgânico total (COT) e o carbono orgânico particulado (COP) (a) e o C da fração leve da MOS (FL) obtida com NaI 1,8 g cm⁻³ (b) em um Argissolo Vermelho manejado sob plantio direto e preparo convencional em dois sistemas de cultura e três profundidades (dados de 3 repetições de campo), * significativo a $p < 0,0001$.

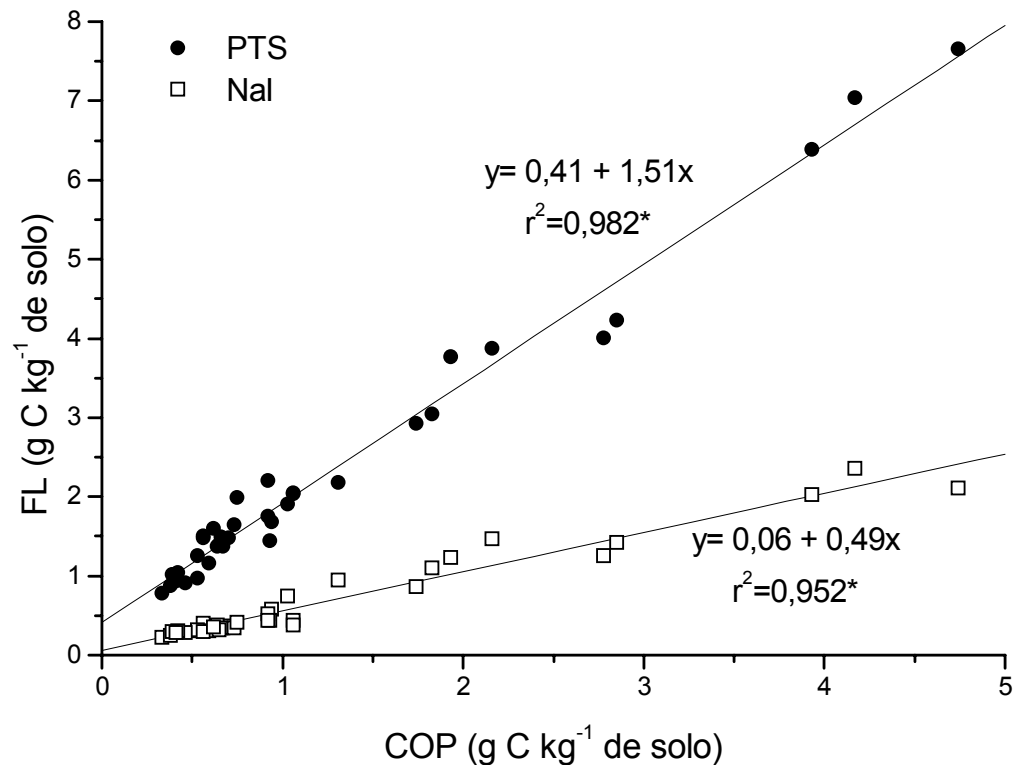


Figura 18. Correlação entre o carbono orgânico particulado (COP) e o C da fração leve da MOS (FL) obtida com soluções de iodeto de sódio (NaI 1,8 g cm⁻³) e politungstato de sódio (PTS 2,0 g cm⁻³) em um Argissolo Vermelho manejado sob plantio direto e preparo convencional em dois sistemas de cultura e três profundidades (dados de 3 repetições de campo), * significativo a p<0,0001.

A superioridade da concentração de C na FL obtida com solução de PTS 2,0 g cm⁻³ em relação aos resultados obtidos como COP (Figura 18) nos permitiu construir uma análise mais ampla. O COP foi obtido por fracionamento granulométrico da MOS, sendo constituído de estruturas maiores que 53 µm enquanto a FL foi obtida por fracionamento densimétrico, sendo conceitualmente esperado que, no mínimo, seja equivalente ao C quantificado como COP (Carter, 1995). Assim, o maior conteúdo de C na FL em relação ao quantificado como COP deve ser devido a existência de estruturas orgânicas de tamanho inferior a 53 µm (COP<53 µm) o que é coerente com a existência de um “continuum” de decomposição da MO no solo (Golchin et al., 1997). Em função do tamanho das estruturas orgânicas, a possibilidade desse material estar protegido em microagregados tamanho silte pode ser considerada como elevada. Dentro dessa análise a fração COP<53 µm obtida em nosso estudo seria similar a “enriched light fraction” (ELF) obtida por Cambardella & Elliott

(1994) da fração silte fino (2-20 μm) mediante separação densimétrica em solução de PTS de densidade 2,07 a 2,22 g cm^{-3} .

Esses autores determinaram que a ELF representou aproximadamente o mesmo estoque de C recuperado como COP para um solo de região com clima temperado. Six et al. (2000b) além de reavaliar o solo amostrado por Cambardella & Elliott (1994), expandiu os estudos obtendo a ELF para outros três solos e concluiu tratar-se de um compartimento mais estável e decomposto que a fração maior que 53 μm , tendo origem provavelmente no acúmulo de materiais provenientes da decomposição microbiana, e com tempo de permanência no solo superior as frações mais grosseiras (maiores que 53 μm). Como o COP representa o material orgânico de tamanho maior que 53 μm , a manutenção de estruturas maiores que essa granulometria pode ser devido a menor taxa de decomposição dos resíduos orgânicos adicionados ao solo.

O estoque de COP < 53 μm , obtido como a diferença entre o estoque de C na FL e o estoque de COP, nas camadas de 0-5 e 5-10 cm foi maior no solo em PD do que no solo em PC para o Argissolo (Tabela 18). Ao efetuarmos a razão COP < 53 μm / FL, o solo em PC além de possuir menos material particulado apresenta maior proporção de COP < 53 μm . Isso evidencia que as condições mais oxidativas existentes no solo em PC aceleraram os processos de decomposição da MOS, resultando em menores estoques de C na FL e em material de tamanho de partícula menor e mais recalcitrante que contribuiu menos nos processos biológicos mediados pela MOS.

A fração COP < 53 μm em nossos estudos representou 43 e 36% do C da FL na camada de 0-5 cm para o Argissolo em PC e PD, respectivamente (Tabela 18). Assim ocorreu maior proporção de material de granulometria pequena no solo em PC evidenciando uma maior decomposição dos resíduos orgânicos nessa camada. Para o Latossolo ocorreu o mesmo fato, sendo o estoque de COP < 53 μm de 49 e 37% da FL para o solo em PC e PD, respectivamente. Cambardella & Elliott (1994) obtiveram a ELF como sendo 52 e 42% da fração particulada para um solo sob PC e PD, respectivamente, tendo os resultados da fração COP < 53 μm obtidos em nosso estudo, para o Argissolo e o Latossolo, apresentado a mesma tendência (Tabela 18).

Tabela 18. Estoque de C da fração leve (FL), do carbono orgânico particulado (COP) e da diferença entre ambos (COP<53 µm), relação entre as frações e o carbono orgânico total (COT) e entre o COP<53 µm e o C da FL de um Argissolo Vermelho e de um Latossolo Vermelho.

Sistemas de manejo	FL	COP	COP<53µm	FL/ COT	COP/ COT	COP<53µm/FL
	-----Mg ha ⁻¹ -----			-----%-----		
Argissolo						
-----0-5 cm-----						
PC AM	1,44	0,82	0,62	21	12	43
AVMC	2,45	1,38	1,07	29	16	44
PD AM	3,03	1,95	1,08	29	19	36
AVMC	5,27	3,21	2,06	37	23	39
CN	2,71	1,83	0,88	21	14	32
-----5-10 cm-----						
PC AM	1,12	0,60	0,52	16	9	46
AVMC	1,65	0,79	0,86	19	9	52
PD AM	1,05	0,50	0,55	15	7	53
AVMC	1,33	0,51	0,82	17	6	62
CN	1,49	0,87	0,62	15	9	41
-----10-20 cm-----						
PC AM	2,24	0,95	1,29	16	7	58
AVMC	2,39	1,18	1,21	14	7	51
PD AM	1,49	0,66	0,83	11	5	56
AVMC	1,54	0,64	0,90	11	5	58
CN	2,07	1,15	0,92	12	7	44
Latossolo						
-----0-5 cm-----						
PC	2,57	1,34	1,21	28	15	49
PD	3,31	2,10	1,21	30	19	37
Mata	9,48	5,99	3,49	40	25	37
-----5-10 cm-----						
PC	3,03	1,41	1,62	26	12	53
PD	2,31	0,74	1,57	21	7	68
Mata	4,97	1,66	3,31	28	9	67
-----10-20 cm-----						
PC	3,46	1,03	2,43	18	5	70
PD	3,33	0,81	2,52	18	4	76
Mata	5,47	2,50	2,97	22	10	54

PC= preparo convencional, PD= plantio direto, A= aveja, M= milho, V=vica, C= caupi e CN= campo nativo. FL= obtida com solução de PTS 2,0 g cm⁻³

A distribuição de C em cada fração com relação ao estoque no solo integral evidenciou que para todas as camadas, sistemas de preparo e solos houve um aumento da importância de cada fração no estoque total de C do solo ($FLL < FLO < FP$). Isso é condizente com a presença de um mecanismo adicional de proteção em cada fração ($FLL = \text{recalcitrância}$, $FLO = \text{recalcitrância} + \text{oclusão}$, $FP = \text{recalcitrância} + \text{oclusão} + \text{proteção coloidal}$) (Tabela 19). Para ambos os solos e para as camadas avaliadas, a razão $C-FLL/COT$ apresentou valores próximos entre o solo em PC e o solo em PD, indicando que a participação dessa fração no estoque de COT foi similar entre os sistemas de preparo. A razão $C-FLO/COT$ foi muito próxima entre o solo em PC e o solo em PD para ambas as áreas experimentais na camada de 0-20 cm, porém foi superior no solo em PD na camada de 0-5 cm em ambos os solos. Isso indica que para a camada superficial do solo o mecanismo de proteção da MOS em agregados foi mais importante no acúmulo de MOS no solo em PD do que no solo em PC. Por conseguinte, a FP passou a ter uma importância menor no estoque de COT no solo em PD em relação ao solo em PC para a camada de 0-5 cm enquanto que para a camada de 0-20 cm a influência no acúmulo de COT foi semelhante entre os sistemas de preparo para ambos os solos.

Um outro aspecto que necessita uma discussão conjunta é o efeito da textura e mineralogia nos estoques de C nas frações físicas da MOS, e o efeito dos sistemas de manejo nesses estoques. No intuito de sintetizar a discussão da importância dos mecanismos de proteção da MOS em cada solo e nos sistema de manejo, foram agrupados os resultados do fracionamento físico densimétrico com $PTS\ 2,0\ g\ cm^{-3}$ para o Argissolo e o Latossolo para as camadas de 0-5 e 0-20 cm (Tabela 19). Para o Argissolo utilizou-se somente os resultados do sistema de cultura AM por ser um sistema mais similar ao adotado na área experimental sob Latossolo. A comparação dos resultados entre áreas experimentais é difícil de ser efetuado considerando as peculiaridades de cada experimento e, o histórico diferenciado das áreas experimentais anterior aos experimentos. Porém, teceremos algumas considerações nesse aspecto para os resultados obtidos no Argissolo e no Latossolo tendo em vista os sistemas de preparo do solo serem os mesmos, e, os sistemas de cultura muito semelhantes, entre as duas áreas experimentais estudadas.

Tabela 19. Estoque de C das frações leve livre (FLL), leve oclusa (FLO), pesada (FP) e do carbono orgânico total (COT), variação do estoque das frações e do COT (Δ), variação do estoque entre as frações relativa à variação do estoque de COT (Δ fração/ Δ COT) e proporção de C nas frações relativo ao COT (fração/COT) de um Argissolo Vermelho e de um Latossolo Vermelho nas camadas de 0-5 e 0-20 cm.

Compartimento	0-5 cm						0-20 cm					
	Estoque		Δ	Δ Fração/ Δ COT	Fração/COT		Estoque		Δ	Δ Fração/ Δ COT	Fração/COT	
	PC	PD	PD-PC		PC	PD	PC	PD	PD-PC	Δ COT	PC	PD
	Mg ha ⁻¹				%		Mg ha ⁻¹				%	
	-----Argissolo-----											
FLL	0,46	0,81	0,35	10	6,8	7,8	0,84	1,07	0,23	7	3,0	3,4
FLO	0,98	2,22	1,24	34	14,4	21,3	3,97	4,50	0,53	16	14,3	14,5
FP	5,36	7,38	2,02	56	78,8	70,9	22,95	25,51	2,56	77	82,7	82,1
COT	6,8	10,41	3,61				27,76	31,08	3,32			
	-----Latossolo-----											
FLL	0,5	0,46	-0,04	-2	5,5	4,2	0,97	0,76	-0,21	-66	2,4	1,9
FLO	2,07	2,85	0,79	44	22,7	26,2	8,08	8,20	0,12	37	20,2	20,3
FP	6,53	7,56	1,03	58	71,8	69,5	30,98	31,40	0,42	129	77,4	77,8
COT	9,10	10,88	1,78				40,03	40,36	0,33			

PC= preparo convencional; PD= plantio direto

A razão C-fração/COT indica a participação de cada mecanismo no estoque atual da MOS, mas não dá idéia da dinâmica dos processos. No entanto, considerando que a FP é resultante do acúmulo de produtos da decomposição da MOS, mais fortemente ligados aos minerais da fração argila, sendo a permanência dos compostos orgânicos nessa fração da ordem de séculos, a diminuição da taxa de decomposição da MOP permite o aumento do estoque total da fração, tanto “per si”, quanto por aumentar o estoque da FP mais efetivamente ao longo do tempo. Dessa forma, o Latossolo, que possui uma maior participação da oclusão como mecanismo de proteção, acumulou mais C nas frações culminando em maior estoque de COT que o Argissolo.

O mecanismo de oclusão foi o que teve o seu grau de importância aumentado no Latossolo em relação ao Argissolo, como consequência de uma maior estabilidade estrutural desse solo que resultou em acúmulos mais efetivos ao longo do processo de formação do solo. Para a camada de 0-5 cm a FLO foi responsável por 14,4 e 21,4 % do estoque de COT no solo em PC e em PD, respectivamente, no Argissolo e 22,7 e 26,5 % do estoque de COT no PC e no PD do Latossolo, com tendências similares para a camada de 0-20 cm. Na média dos preparos e das camadas de solo o mecanismo de oclusão teve uma magnitude 44% superior no Latossolo em relação ao Argissolo. O percentual semelhante de material ocluído na camada de 0-20 cm entre o solo em PC e o solo em PD (14% no Argissolo e 20% no Latossolo) demonstra que embora os estoques de COT sejam menores no solo em PC, parte do C se manteve acumulado no solo devido à oclusão em agregados, principalmente na camada mais profunda.

A maior proporção de C protegido pelo mecanismo de proteção física no Latossolo em relação ao Argissolo, provavelmente resultou em agregados enriquecidos em C e que, conseqüentemente, possuíram maior estabilidade estrutural conforme pode ser evidenciado pelos resultados obtidos nos estudos III e IV. Essa elevada estabilidade estrutural no Latossolo também foi evidenciada pela necessidade de maior energia na sonicação (420 J mL^{-1}) para a completa dispersão das partículas do solo em comparação ao Argissolo (250 J mL^{-1}).

A variação dos estoques de C nas frações relativo a variação do estoque de COT ($\Delta\text{Fração}/\Delta\text{COT}$) indica o quanto cada mecanismo foi

responsável pelo acúmulo de C entre os sistemas de preparo do solo. Para a camada de 0-5 cm o mecanismo de oclusão foi mais importante no Latossolo (44%) do que no Argissolo (34%), enquanto para a FP as proporções foram similares (56-58%). Para a camada de 0-20 cm as maiores proporções do estoque de COT para ambos os solos ocorreram na FP. Cabe ressaltar que como não ocorreram diferenças significativas para a camada de 0-20 cm no Latossolo, os percentuais obtidos refletem mais um efeito ao acaso do que propriamente um efeito dos sistemas de preparo do solo.

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS FUTURAS

O fracionamento físico densimétrico é importante na avaliação da proteção da MOS, no entanto, existe uma gama de metodologias distintas o que dificulta a comparação entre resultados experimentais. O uso de iodeto de sódio como solução densa, embora consagrado, resulta em subestimação das concentrações de C da fração leve da MOS. Desse modo, a padronização de metodologias é uma necessidade premente para possibilitar a obtenção de resultados que possam ser interpretados de forma mais homogênea.

O uso do solo em plantio direto é uma excelente estratégia na manutenção ou incremento dos estoques de MOS. A utilização de sistemas de manejo incluindo consórcios e rotação de culturas que propiciem aporte mais elevado de MO são metas que devem ser perseguidas para uma potencialização dos benefícios do uso do solo em PD.

Em virtude da importância da proteção da MO por oclusão em agregados algumas questões que ainda merecem serem investigadas para as condições de clima subtropical é o quanto da MOP presente em macroagregados é realmente protegida pela ação destes e o quanto é protegida pela ação dos microagregados contidos nestes. Outro aspecto que merece atenção é a influência dos microorganismos no processo de proteção da MOS.

A expansão da presente pesquisa para situações de clima tropical onde as temperaturas e precipitações pluviométricas são distintas das ocorrentes em regiões temperadas e subtropicais, em solos com textura e mineralogia distinta, constitui também um excelente campo de investigação a ser desenvolvido.

Com o avanço das técnicas espectroscópicas, a avaliação qualitativa da MOS representa um passo importante e que indubitavelmente acrescentará informações salutares relativas à composição das frações da MOS e auxiliará no entendimento da dinâmica das mesmas.

10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADU, J. K.; OADES, J. M. Physical factors influencing decomposition of organic material in soil aggregates. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v.10, p.109-115, 1978.

AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J. Plantio direto e rotação de culturas com leguminosas: uma excelente combinação para promover o incremento da capacidade produtiva do solo. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, p.23-27, Março/Abril,1999.

AMADO, T. J. C. et al. 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**, Viçosa, v.25, p.189-197, 2001.

ANGERS, D. A. et al. Impact of tillage practices on organic carbon and nitrogen storage in cool, humid soils of eastern Canada. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.41, p.191-201, 1997.

AOYAMA, M. et al. Particulate and mineral-associated organic matter in water-stable aggregates as affected by mineral fertilizer and manure applications. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v.79, p.295-302, 1999.

BALDOCK, J. A. et al. Solid-state CP/MAS C¹³ NMR analysis of particle-size and density fractions of a soil incubated with uniformly labeled C¹³-Glucose. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, v.28, p.193-212, 1990.

BALDOCK, J. A. et al. Aspects of the chemical-structure of soil organic materials as revealed by solid-state C¹³ NMR-Spectroscopy. **Biogeochemistry**, Netherlands, v.16, p.1-42, 1992.

BALDOCK, J. A.; SKJEMSTAD, J. O. Role of the soil matrix and minerals in protecting natural organic materials against biological attack. **Organic Geochemistry**, Oxford, v.31, p.697-710, 2000.

BALESDENT, J.; BALABANE, M. Major contribution of roots to soil carbon storage inferred from maize cultivated soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v.28, p.1261-1263, 1996.

BALESDENT, J. et al. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.53, p.215-230, 2000.

BARRIOS, E. et al. Organic matter in soil particle size and density fractions from maize and legume cropping systems. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v.28, p.185-193, 1996.

BAYER, C. **Dinâmica da matéria orgânica em sistemas de manejo de solos**. 1996. 240 f. Tese (Doutorado), Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 1996.

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

BAYER, C. et al. Efeito de sistemas de preparo e de cultura na dinâmica da matéria orgânica e na mitigação das emissões de CO₂. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, p.599-607, 2000a.

BAYER, C. et al. Effect of no-till cropping systems on soil organic matter in a sandy clay loam Acrisol from Southern Brazil monitored by electron spin resonance and nuclear magnetic resonance. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.53, p.95-104, 2000b.

BAYER, C. et al. Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.54, p.101-109, 2000c.

BAYER, C. et al. Changes in soil organic matter fractions under subtropical No-Till cropping systems. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.65, p.1473-1478, 2001.

BAYER, C. et al. Stocks and humification degree of organic matter fractions as affected by no-tillage on a subtropical soil. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.238, p.133-140, 2002.

BAYER, C. Aumento do estoque de matéria orgânica de um Cambissolo Húmico catarinense sob plantio direto. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v.2, p.81-87, 2003.

BAYER, C. et al. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.86, p.237-245, 2006.

BEARE, M. H. et al. Water-stable aggregates and organic-matter fractions in conventional-tillage and no-tillage soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.58, p.777-786, 1994a.

BEARE, M. H. et al. Aggregate-protected and unprotected organic-matter pools in conventional-tillage and no-tillage soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.58, p.787-795, 1994b.

BESNARD, E. et al. Fate of particulate organic matter in soil aggregates during cultivation. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v.47, p.495-503, 1996.

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

CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOTT, E. T. Methods for physical separation and characterization of soil organic matter fractions. **Geoderma**, Amsterdam, v.56, p.449-457, 1993a.

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

CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOTT, E. T. Carbon and nitrogen dynamics of soil organic-matter fractions from cultivated grassland soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.58, p.123-130, 1994.

CAMPOS, B. C. et al. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.19, p.121-126, 1995.

CAMPOS, B. C. et al. Dinâmica da agregação induzida pelo uso de plantas de inverno para cobertura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, p.383-391, 1999.

CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estado da agregação e qualidade de agregados de latossolos roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.14, p.99-105, 1990.

CARTER, M. R. Analysis of soil organic matter storage in agroecosystems. In: CARTER, M. R.; STEWART, B. A. (eds.) **Structure and organic matter storage in agricultural soils**. Boca Raton: CRC Lewis, 1995. p.3-11

CASTRO-FILHO, C. et al. Estabilidade de agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, p.527-538, 1998.

CASTRO FILHO, C. et al. Aggregate stability under different soil management systems in a red Latosol in the state of Parana, Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.65, p.45-51, 2002.

CHRISTENSEN, B. T. Physical fractionation of soil and organic matter in primary particle size and density separates. **Advances in Soil Sciences**, New York, v.20, p.1-90, 1992.

CHRISTENSEN, B. T. Carbon in primary and secondary organomineral complexes. In: CARTER, M. R.; STEWART, B. A. (eds.) **Structure and organic matter storage in agricultural soils**. Boca Raton: CRC Lewis, 1996. p.97-165

CHRISTENSEN, B. T. **Organic matter in soil - structure, function and turnover**. 2000. 95 f. Copenhagen. 2000.

CHRISTENSEN, B. T. Physical fractionation of soil and structural and functional complexity in organic matter turnover. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v.52, p.345-353, 2001.

CONCEIÇÃO, P. C. **Indicadores de qualidade do solo visando a avaliação de sistemas de manejo do solo**. 2002. 125 f. Tese (Mestrado), Programa de Pós-graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2002.

CONCEIÇÃO, P. C. et al. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, p.777-788, 2005.

DA ROS, C. O. et al. Manejo do solo a partir de campo nativo: efeito sobre a forma e estabilidade da estrutura ao final de cinco anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.21, p.241-247, 1997.

DALLA ROSA, A. **Práticas mecânicas e culturais na recuperação de características físicas de solos degradados pelo cultivo no solo Santo Ângelo (Latosolo Roxo Distrófico)**. 1981. 138 f. Tese (Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 1981.

DENEF, K. et al. Influence of dry-wet cycles on the interrelationship between aggregate, particulate organic matter, and microbial community dynamics. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v.33, p.1599-1611, 2001.

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

DIEKOW, J. **Estoque e qualidade da matéria orgânica do solo em função de sistemas de culturas e adubação nitrogenada no sistema plantio direto**. 2003. 164 f. Tese (Doutorado), Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2003.

DIEKOW, J. et al. Carbon and nitrogen stocks in physical fractions of a subtropical Acrisol as influenced by long-term no-till cropping systems and N fertilization. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.268, p.319-328, 2005.

DITZLER, C. A.; TUGEL, A. J. Soil quality field tools: Experiences of USDA-NRCS Soil Quality Institute. **Agronomy Journal**, Madison, v.94, p.33-38, 2002.

DORAN, J. W.; ZEISS, M. R. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v.15, p.3-11, 2000.

DUXBURY, J. M. et al. Soil organic matter as a source and a sink of plant nutrients. In: COLEMAN, D. C. et al. (eds.) **Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems**. Honolulu, University of Hawaii, 1989. p.33-67.

EDWARDS, A. P.; BREMNER, J. M. Microaggregates in soils. **Journal of Soil Science**, Oxford, v.18, p.64-73, 1967.

ELLERT, B. H.; BETTANY, J. R. Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v.75, p.529-538, 1995.

ELLIOTT, E. T. Aggregate structure and carbon, nitrogen, and phosphorus in native and cultivated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.50, p.627-633, 1986.

ELLIOTT, E. T. et al. Organic matter contained in soil aggregates from a tropical chronosequence: correction for sand and light fraction. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v.34, p.443-451, 1991.

ELTZ, F. L. F. et al. Efeitos de sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas e químicas de um Latossolo Bruno álico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.13, p.259-267, 1989.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2 ed. Brasília: Embrapa Produção de Informação. 1997. 212 p.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação. 1999. 412 p.

FEBRAPDP. **Expansão da área em plantio direto no Brasil**. Disponível em: <<http://www.febrapdp.org.br>>. Acesso em: 22 fev. 2006.

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

FEY, M. U.; DIXON, J. B. Rapid estimation of iron oxides in soils and clays by spectrophotometric analysis. **Soils Science Society of America Journal**, Madison, v.17, p.1261-1263, 1983.

FREIXO, A. A. et al. Estoques de carbono e nitrogênio e distribuição de frações orgânicas de latossolo do cerrado sob diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, p.425-434, 2002a.

FREIXO, A. A. et al. Propriedades espectrais da matéria orgânica leve-livre e leve intra-agregados de dois latossolos sob plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, p.445-453, 2002b.

FREIXO, A. A. et al. Soil organic carbon and fractions of a Rhodic Ferralsol under the influence of tillage and crop rotation systems in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.64, p.221-230, 2002c.

GALE, W. J. et al. Surface residue- and root-derived carbon in stable and unstable aggregates. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.64, p.196-201, 2000a.

GALE, W. J. et al. Root-derived carbon and the formation and stabilization of aggregates. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.64, p.201-207, 2000b.

GEE, G. W.; BAUDER, J. W. Particle-size analysis. In: KLUTE, A. (ed.) **Methods of Soil Analysis: Physical and mineralogical methods**. Madison: SSSA, 1986. p.383-411

GOLCHIN, A. et al. Study of free and occluded particulate organic-matter in soils by solid-state ^{13}C CP/MAS NMR-Spectroscopy and scanning electron-microscopy. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, v.32, p.285-309, 1994a.

GOLCHIN, A. et al. Soil-structure and carbon cycling. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, v.32, p.1043-1068, 1994b.

GOLCHIN, A. et al. Structural and dynamic properties of soil organic-matter as reflected by C^{13} natural-abundance, pyrolysis mass-spectrometry and solid-state C^{13} NMR-Spectroscopy in density fractions of an Oxisol under forest and pasture. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, v.33, p.59-76, 1995.

GOLCHIN, A. et al. A model linking organic matter decomposition, chemistry and aggregates dynamics. In: LAL, R. et al. (eds.) **Soil processes and the carbon cycle**. Boca Raton: CRC Press, 1997. p.245-266

GREGORICH, E. G. et al. Towards a minimum data set to assess soil organic-matter quality in agricultural soils. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v.74, p.367-385, 1994.

GREGORICH, E. G.; JANZEN, H. H. Storage of soil carbon in the light fraction and macroorganic matter. In: CARTER, M. R.; STEWART, B. A. (eds.) **Structure and organic matter storage in agricultural soils**. Boca Raton: CRC Lewis, 1996. p.167-190

HASSINK, J. et al. Relationships between soil texture, physical protection of organic matter, soil biota, and c and n mineralization in grassland soils. **Geoderma**, Amsterdam, v.57, p.105-128, 1993.

HASSINK, J. et al. Size and density fractionation of soil organic matter and the physical capacity of soils to protect organic matter. **European Journal of Agronomy**, Oxford, v.7, p.189-199, 1997.

HASSINK, J.; WHITMORE, A. P. A model of the physical protection of organic matter in soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.61, p.131-139, 1997.

ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Soil quality indicator properties in mid-Atlantic soils as influenced by conservation management. **Journal of Soil and Water Conservation**, v.55, p.69-78, 2000.

JASTROW, J. D. Soil aggregate formation and the accrual of particulate and mineral-associated organic matter. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v.28, p.665-676, 1996.

JASTROW, J. D.; MILLER, R. M. Soil aggregate stabilization and carbon sequestration: feedbacks through organomineral associations. In: LAL, R. et al. (eds.) **Soil processes and the carbon cycle**. Boca Raton: CRC Press, 1997. p.207-223

KEMPER, W. D.; ROSENAU, R. C. Aggregate stability and size distribution. In: KLUTE, A. (ed.) **Methods of soil analysis: Physical and mineralogical methods**. Madison: SSSA, 1986. p.425-442

LEIFELD, J.; KOGEL-KNABNER, I. Soil organic matter fractions as early indicators for carbon stock changes under different land-use? **Geoderma**, Amsterdam, v.124, p.143-155, 2005.

LOVATO, T. **Dinâmica do carbono e do nitrogênio do solo afetada por preparos do solo, sistemas de cultura e adubo nitrogenado**. 2001. 132 f. Tese (Doutorado), Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2001.

LOVATO, T. et al. Adição de carbono e nitrogênio e sua relação com os estoques no solo e com o rendimento do milho em sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, p.175-187, 2004.

LYNCH, J. M.; BRAGG, E. Microorganisms and soil aggregate stability. **Advances in Soil Science**, New York, v.2, p.133-165, 1985.

LYNCH, J. M.; WHIPPS, J. M. Substrate flow in the rhizosphere. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.129, p.1-10, 1990.

MADARI, B. et al. No tillage and crop rotation effects on soil aggregation and organic carbon in a Rhodic Ferralsol from Southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.80, p.185-200, 2005.

MERTEN, G. H. **Rendimento de grãos e distribuição do sistema radicular das culturas sob diferentes sistemas de manejo em um Oxissolo (Latosolo Roxo distrófico)**. 1988. 178 f. Tese (Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 1988.

MIELNICZUK, J. Desenvolvimento de sistemas de culturas adaptadas à produtividade, conservação e recuperação de solos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 21., Rio de Janeiro, 1987. **A responsabilidade social da Ciência do Solo...** Campinas: RBCS, 1988. p.109-116.

MIELNICZUK, J. Manejo do solo no Rio Grande do Sul: uma síntese histórica. **Revista da Agronomia**, Porto Alegre, v.12, p.11-22, 1999.

MIELNICZUK, J. et al. Manejo de solo e culturas e sua relação com os estoques de carbono e nitrogênio do solo. In: CURI, N. et al (eds.) **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: SBCS, 2003. v.3, p.209-248

MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, Diretoria de Terras e Colonização, Seção de Geografia, 1961. 46 p.

OADES, J. M. Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. **Plant and Soil (Historical Archive)**, Dordrecht, v.76, p.319-337, 1984.

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

OADES, J. M. The role of biology in the formation, stabilization and degradation of soil structure. **Geoderma**, Amsterdam, v.56, p.377-400, 1993.

PARFITT, R. L. et al. Effects of clay minerals and land use on organic matter pools. **Geoderma**, Amsterdam, v.75, p.1-12, 1997.

PAUSTIAN, K. et al. Management options for reducing CO₂ emissions from agricultural soils. **Biogeochemistry**, Netherlands, v.48, p.147-163, 2000.

PILLON, C. N. **Alterações no conteúdo e qualidade da matéria orgânica do solo induzido por sistemas de culturas em plantio direto**. 2000. 232 f. Tese (Doutorado), Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2000.

PINHEIRO, E. F. M. et al. Fracionamento densimétrico da matéria orgânica do solo sob diferentes sistemas de manejo e cobertura vegetal em Paty do Alferes (RJ). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, p.731-737, 2004.

PLANTE, A. F.; MCGILL, W. B. Soil aggregate dynamics and the retention of organic matter in laboratory-incubated soil with differing simulated tillage frequencies. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.66, p.79-92, 2002.

PUGET, P. et al. Dynamics of soil organic matter associated with particle-size fractions of water-stable aggregates. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v.51, p.595-605, 2000.

PUGET, P.; DRINKWATER, L. E. Short-term dynamics of root- and shoot-derived carbon from a leguminous green manure. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.65, p.771-779, 2001.

REICOSKY, D. C.; LINDSTROM, M. J. Fall tillage method: effect on short-term carbon dioxide flux from soil. **Agronomy Journal**, Madison, v.85, p.1237-1243, 1983.

REINERT, D. J. et al. Efeito de diferentes métodos de preparo do solo sobre a estabilidade de agregados em solo podzólico vermelho amarelo. **Revista do Centro de Ciências Rurais**, Santa Maria, v.14, p.19-25, 1984.

ROSCOE, R. et al. Soil organic matter dynamics in density and particle size fractions as revealed by the $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ isotopic ratio in a Cerrado's oxisol. **Geoderma**, Amsterdam, v.104, p.185-202, 2001.

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

ROSCOE, R.; BUURMAN, P. Tillage effects on soil organic matter in density fractions of a Cerrado Oxisol. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.70, p.107-119, 2003.

ROSCOE, R. et al. Transformations in occluded light fraction organic matter in a clayey Oxisol; Evidence from ^{13}C CP/MAS-NMR and delta ^{13}C signature. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, p.811-818, 2004.

ROVIRA, P.; VALLEJO, V. R. Physical protection and biochemical quality of organic matter in Mediterranean calcareous forest soils: a density fractionation approach. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v.35, p.245-261, 2003.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J. Relações entre sistemas de preparo, temperatura e umidade de um Podzólico Vermelho-Escuro de Eldorado do Sul (RS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.19, p.313-319, 1995.

SALTON, J. C. **Matéria orgânica e agregação do solo na rotação lavoura-pastagem em ambiente tropical**. 2005. 158 f. Tese (Doutorado), Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2005.

SEXTONE, A. J. et al. Direct measurement of oxygen profiles and denitrification rates in soil aggregates. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.49, p.645-651, 1985.

SHANG, C.; TIESSEN, H. Sequential versus parallel density fractionation of silt-sized organomineral complexes of tropical soils using metatungstate. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v.33, p.259-262, 2001.

SILVA, I. F. **Formação, estabilidade e qualidade de agregados do solo afetados pelo uso agrícola**. 1993. 126 f. Tese (Doutorado), Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 1993.

SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.21, p.113-117, 1997a.

SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Avaliação do estado de agregação do solo afetado pelo uso agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.21, p.313-319, 1997b.

SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Sistemas de cultivo e características do solo afetando a estabilidade de agregados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, p.311-317, 1998.

SISTI, C. P. J. et al. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.76, p.39-58, 2004.

SIX, J. et al. Aggregation and soil organic matter accumulation in cultivated and native grassland soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.62, p.1367-1377, 1998.

SIX, J. et al. Recycling of sodium polytungstate used in soil organic matter studies. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v.31, p.1193-1196, 1999a.

SIX, J. et al. Aggregate and soil organic matter dynamics under conventional and no-tillage systems. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.63, p.1350-1358, 1999b.

SIX, J. et al. Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: a mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v.32, p.2099-2103, 2000a.

SIX, J. et al. A re-evaluation of the enriched labile soil organic matter fraction. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v.51, p.283-293, 2000b.

SIX, J. et al. Soil structure and organic matter: I. distribution of aggregate-size classes and aggregate-associated carbon. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.64, p.681-689, 2000c.

SIX, J. et al. Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils - Effects of no-tillage. **Agronomie**, v.22, p.755-775, 2002.

SKJEMSTAD, J. O. et al. High-energy ultraviolet photooxidation - a novel technique for studying physically protected organic-matter in clay-sized and silt-sized aggregates. **Journal of Soil Science**, Oxford, v.44, p.485-499, 1993.

SKJEMSTAD, J. O. et al. The chemistry and nature of protected carbon in soil. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, v.34, p.251-271, 1996.

SOHI, S. P. et al. A procedure for isolating soil organic matter fractions suitable for modeling. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.65, p.1121-1128, 2001.

SOLER, M. A. **Agregação e atributos físico-hídricos do solo em sistemas conservacionistas de manejo**. 2003. 114 f. Tese (Mestrado), Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages. 2003.

SOLLINS, P. et al. Stabilization and destabilization of soil organic matter: mechanisms and controls. **Geoderma**, Amsterdam, v.74, p.65-105, 1996.

SPYCHER, G. et al. Carbon and nitrogen in the light fraction of a forest soil - vertical-distribution and seasonal patterns. **Soil Science**, Hagerstown, v.135, p.79-87, 1983.

TISDALL, J. M. et al. Stability of soil aggregates as affected by organic materials, microbial activity and physical disruption. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, v.16, p.9-17, 1978.

TISDALL, J. M.; OADES, J. M. Organic-matter and water-stable aggregates in soils. **Journal of Soil Science**, Oxford, v.33, p.141-163, 1982.

TISDALL, J. M. Fungal hyphae and structural stability of soil. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, v.29, p.729-743, 1991.

TISDALL, J. M. et al. Aggregation of soil by fungal hyphae. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, v.35, p.55-60, 1997.

VEZZANI, F. M. **Qualidade do sistema solo na produção agrícola**. 2001. 184 f. Tese (Doutorado), Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2001.

WANDER, M. M.; BIDART, M. G. Tillage practice influences on the physical protection, bioavailability and composition of particulate organic matter. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v.32, p.360-367, 2000.

WENDLING, B. et al. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, p.487-494, 2005.

WU, T. et al. Influence of tillage and rotation systems on distribution of organic carbon associated with particle-size fractions in Chernozemic soils of Saskatchewan, Canada. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v.42, p.338-344, 2006.

ZECH, W. et al. Factors controlling humification and mineralization of soil organic matter in the tropics. **Geoderma**, Amsterdam, v.79, p.117-161, 1997.

ZOTARELLI, L. et al. Impact of tillage and crop rotation on aggregate-associated Carbon in two Oxisols. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.69, p.482-491, 2005.

11 APÊNDICES

Apêndice 1. Teores e estoque de carbono da fração leve livre (FLL), leve oclusa (FLO) e pesada (FP) obtido com politungstato de sódio ($2,0 \text{ g cm}^{-3}$) de um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo do solo. PC= preparo convencional, PD= plantio direto, CN= campo nativo, A=aveia, M=milho, V= vica e C=caupi.

Sistema de uso e manejo	Profundidade (cm)	Bloco	FLL (g C kg ⁻¹ fração)	FLL (g kg ⁻¹ solo)	FLL (Mg ha ⁻¹)	FLO (g C kg ⁻¹ fração)	FLO (g kg ⁻¹ solo)	FLO (Mg ha ⁻¹)	FP (g kg ⁻¹ solo)	FP (Mg ha ⁻¹)
PC AM	0-5	1	138,25	0,94	0,70	283,41	1,25	0,94	7,20	5,40
PC AM	0-5	2	117,72	0,38	0,28	230,89	1,31	0,98	7,45	5,59
PC AM	0-5	3	101,04	0,53	0,40	232,42	1,37	1,03	6,78	5,09
PC AM	5-10	1	97,63	0,17	0,13	269,86	1,28	1,00	7,56	5,94
PC AM	5-10	2	69,80	0,18	0,14	243,52	1,19	0,93	7,18	5,64
PC AM	5-10	3	88,00	0,16	0,13	238,86	1,32	1,04	7,41	5,82
PC AM	10-20	1	70,03	0,15	0,24	251,73	1,23	2,00	7,30	11,91
PC AM	10-20	2	66,89	0,14	0,24	238,34	1,11	1,81	7,75	12,63
PC AM	10-20	3	75,06	0,16	0,26	228,02	1,35	2,19	6,65	10,85
PC AVMC	0-5	1	140,87	0,97	0,73	233,01	1,96	1,47	8,89	6,67
PC AVMC	0-5	2	168,78	1,43	1,07	261,88	2,34	1,75	8,37	6,28
PC AVMC	0-5	3	149,89	1,02	0,77	257,36	2,03	1,52	6,78	5,08
PC AVMC	5-10	1	130,36	0,40	0,31	254,85	1,64	1,28	9,43	7,41
PC AVMC	5-10	2	130,99	0,35	0,27	258,65	1,86	1,46	8,34	6,54
PC AVMC	5-10	3	114,92	0,42	0,33	257,26	1,63	1,28	7,56	5,93
PC AVMC	10-20	1	120,31	0,21	0,34	273,67	1,55	2,52	9,18	14,97
PC AVMC	10-20	2	117,56	0,17	0,28	306,88	0,99	1,61	8,39	13,68
PC AVMC	10-20	3	56,23	0,14	0,22	271,54	1,36	2,21	7,60	12,38
PD AM	0-5	1	147,04	0,95	0,72	254,47	3,28	2,46	8,21	6,15
PD AM	0-5	2	102,57	1,07	0,80	248,01	2,80	2,10	10,18	7,63
PD AM	0-5	3	141,69	1,21	0,91	246,68	2,80	2,10	11,14	8,35
PD AM	5-10	1	135,49	0,18	0,14	265,60	1,46	1,15	7,07	5,55
PD AM	5-10	2	84,86	0,13	0,10	236,47	1,27	1,00	7,74	6,08
PD AM	5-10	3	148,48	0,14	0,11	265,59	0,84	0,66	7,63	5,99
PD AM	10-20	1	109,69	0,11	0,18	256,42	0,81	1,32	7,58	12,36
PD AM	10-20	2	49,39	0,08	0,12	236,85	0,97	1,58	7,26	11,83
PD AM	10-20	3	92,62	0,08	0,12	256,07	0,70	1,15	7,72	12,58
PD AVMC	0-5	1	141,83	1,60	1,20	277,23	4,78	3,59	11,26	8,45
PD AVMC	0-5	2	160,34	2,31	1,73	263,40	5,35	4,02	11,24	8,43
PD AVMC	0-5	3	181,96	3,32	2,49	263,55	3,71	2,79	12,97	9,73
PD AVMC	5-10	1	90,77	0,22	0,17	216,31	1,77	1,39	7,59	5,96

Apêndice 1. Continuação...

PD AVMC	5-10	2	91,51	0,17	0,13	268,90	1,31	1,03	9,17	7,20
PD AVMC	5-10	3	112,85	0,17	0,13	281,05	1,43	1,13	10,19	8,00
PD AVMC	10-20	1	82,48	0,11	0,17	242,84	0,77	1,26	7,39	12,05
PD AVMC	10-20	2	67,40	0,09	0,15	292,43	0,93	1,52	7,69	12,53
PD AVMC	10-20	3	66,71	0,13	0,21	272,68	0,80	1,31	9,24	15,06
PANGOLA	0-5	1	166,81	2,54	1,90	267,71	4,11	3,08	9,23	6,92
PANGOLA	0-5	2	268,22	3,85	2,89	265,50	4,09	3,07	7,41	5,56
PANGOLA	0-5	3	183,81	1,67	1,25	266,14	2,85	2,13	10,66	8,00
PANGOLA	5-10	1	71,99	0,12	0,09	219,53	1,37	1,08	9,31	7,31
PANGOLA	5-10	2	58,29	0,14	0,11	279,78	1,33	1,04	9,10	7,15
PANGOLA	5-10	3	128,60	0,17	0,14	283,49	1,32	1,04	8,33	6,54
PANGOLA	10-20	1	95,85	0,11	0,18	202,33	1,00	1,63	7,57	12,34
PANGOLA	10-20	2	97,63	0,15	0,24	225,47	0,94	1,54	7,90	12,88
PANGOLA	10-20	3	113,69	0,22	0,36	283,01	1,03	1,68	7,64	12,45
CAMPO	0-5	1	149,79	2,01	1,51	319,39	2,33	1,74	12,58	9,44
CAMPO	0-5	2	155,40	0,57	0,43	268,29	2,87	2,15	14,57	10,93
CAMPO	0-5	3	136,09	0,80	0,60	253,05	2,29	1,72	12,86	9,64
CAMPO	5-10	1	153,71	0,44	0,35	224,40	1,69	1,33	10,13	7,95
CAMPO	5-10	2	139,83	0,34	0,27	217,42	1,45	1,14	10,92	8,57
CAMPO	5-10	3	146,11	0,33	0,26	223,71	1,43	1,13	11,10	8,71
CAMPO	10-20	1	122,23	0,30	0,49	198,67	1,15	1,88	9,19	14,97
CAMPO	10-20	2	68,59	0,18	0,30	243,33	1,06	1,73	9,62	15,69
CAMPO	10-20	3	103,68	0,18	0,29	225,52	0,94	1,53	8,11	13,22

Apêndice 2. Teores e estoque de carbono da fração leve livre (FLL), leve oclusa (FLO) e pesada (FP) obtido com iodeto de sódio ($1,8 \text{ g cm}^{-3}$) em um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo do solo. PC= preparo convencional, PD= plantio direto, CN= campo nativo, A=aveia, M=milho, V= vica e C=caupi.

Sistema de uso e manejo	Profundidade (cm)	Bloco	FLL (g C kg ⁻¹ fração)	FLL (g kg ⁻¹ solo)	FLL (Mg ha ⁻¹)	FLO (g C kg ⁻¹ fração)	FLO (g kg ⁻¹ solo)	FLO (Mg ha ⁻¹)	FP (g kg ⁻¹ solo)	FP (Mg ha ⁻¹)
PC AM	0-5	1	104,60	0,61	0,46	171,24	0,34	0,25	8,43	6,32
PC AM	0-5	2	72,45	0,32	0,24	137,74	0,25	0,19	8,56	6,42
PC AM	0-5	3	109,88	0,45	0,34	180,77	0,30	0,23	7,94	5,95
PC AM	5-10	1	92,02	0,17	0,13	147,82	0,28	0,22	8,57	6,72
PC AM	5-10	2	55,24	0,11	0,08	114,56	0,24	0,19	8,21	6,44
PC AM	5-10	3	68,96	0,11	0,09	205,66	0,25	0,20	8,52	6,69
PC AM	10-20	1	61,45	0,10	0,16	214,64	0,28	0,45	8,30	13,53
PC AM	10-20	2	56,21	0,08	0,14	157,82	0,23	0,37	8,69	14,16
PC AM	10-20	3	104,90	0,12	0,20	189,06	0,28	0,46	7,76	12,64
PC AVMC	0-5	1	158,56	0,66	0,49	191,05	0,20	0,15	10,96	8,22
PC AVMC	0-5	2	168,80	0,69	0,52	293,05	0,53	0,40	10,91	8,18
PC AVMC	0-5	3	178,58	0,67	0,50	201,88	0,44	0,33	8,72	6,54
PC AVMC	5-10	1	70,56	0,18	0,14	279,56	0,27	0,21	11,03	8,66
PC AVMC	5-10	2	96,48	0,17	0,14	261,55	0,35	0,27	10,02	7,87
PC AVMC	5-10	3	87,55	0,12	0,09	235,27	0,27	0,21	9,23	7,24
PC AVMC	10-20	1	67,43	0,11	0,18	142,71	0,33	0,53	10,50	17,12
PC AVMC	10-20	2	72,87	0,05	0,09	189,49	0,25	0,40	9,25	15,07
PC AVMC	10-20	3	62,97	0,10	0,17	201,70	0,25	0,40	8,74	14,25
PD AM	0-5	1	155,97	0,86	0,65	317,57	0,56	0,42	11,01	8,26
PD AM	0-5	2	127,28	1,03	0,77	193,48	0,44	0,33	12,58	9,44
PD AM	0-5	3	165,63	0,78	0,59	270,64	0,48	0,36	13,89	10,41
PD AM	5-10	1	60,23	0,10	0,08	144,87	0,25	0,19	8,38	6,58
PD AM	5-10	2	50,08	0,06	0,05	149,81	0,26	0,20	8,82	6,92
PD AM	5-10	3	81,06	0,13	0,10	233,12	0,19	0,15	8,28	6,50
PD AM	10-20	1	84,95	0,06	0,10	215,56	0,22	0,35	8,22	13,40
PD AM	10-20	2	49,32	0,09	0,14	140,17	0,23	0,37	7,99	13,02
PD AM	10-20	3	49,96	0,04	0,07	117,06	0,18	0,29	8,28	13,49
PD AVMC	0-5	1	168,97	1,36	1,02	276,12	0,67	0,50	15,62	11,72
PD AVMC	0-5	2	168,93	1,35	1,01	263,39	0,76	0,57	16,79	12,59
PD AVMC	0-5	3	187,89	1,70	1,28	287,49	0,66	0,49	17,64	13,23
PD AVMC	5-10	1	110,41	0,12	0,09	243,06	0,30	0,24	9,16	7,19
PD AVMC	5-10	2	136,10	0,07	0,06	233,73	0,23	0,18	10,35	8,12
PD AVMC	5-10	3	68,66	0,09	0,07	263,70	0,27	0,21	11,43	8,97
PD AVMC	10-20	1	117,97	0,06	0,10	258,43	0,19	0,31	8,02	13,07
PD AVMC	10-20	2	74,20	0,05	0,08	203,33	0,25	0,41	8,41	13,71
PD AVMC	10-20	3	56,50	0,09	0,15	164,48	0,19	0,32	9,89	16,11
PANGOLA	0-5	1	220,83	2,31	1,73	332,04	0,93	0,70	12,63	9,47
PANGOLA	0-5	2	196,28	1,19	0,89	331,38	0,80	0,60	13,34	10,01
PANGOLA	0-5	3	197,52	1,00	0,75	257,08	0,57	0,42	13,61	10,21
PANGOLA	5-10	1	162,83	0,18	0,14	194,60	0,32	0,25	10,30	8,09
PANGOLA	5-10	2	96,36	0,14	0,11	236,28	0,30	0,24	10,12	7,95
PANGOLA	5-10	3	150,08	0,12	0,09	233,22	0,33	0,26	9,37	7,35
PANGOLA	10-20	1	51,23	0,05	0,09	231,82	0,25	0,41	8,37	13,65
PANGOLA	10-20	2	32,30	0,03	0,05	210,67	0,23	0,37	8,74	14,24
PANGOLA	10-20	3	91,05	0,13	0,22	290,84	0,26	0,43	8,49	13,84
CAMPO	0-5	1	192,81	0,90	0,68	276,35	1,01	0,76	15,00	11,25
CAMPO	0-5	2	122,52	0,45	0,33	281,99	0,90	0,67	16,66	12,50
CAMPO	0-5	3	166,04	0,77	0,58	236,96	0,67	0,50	14,51	10,89
CAMPO	5-10	1	170,03	0,32	0,25	295,79	0,47	0,37	11,48	9,01
CAMPO	5-10	2	117,40	0,24	0,18	223,14	0,39	0,30	12,09	9,49
CAMPO	5-10	3	143,42	0,33	0,26	258,28	0,40	0,32	12,12	9,52
CAMPO	10-20	1	145,81	0,18	0,29	243,31	0,33	0,54	10,14	16,52
CAMPO	10-20	2	134,63	0,13	0,20	169,95	0,31	0,50	10,44	17,02
CAMPO	10-20	3	90,96	0,21	0,34	260,92	0,30	0,48	8,73	14,22

Apêndice 3. Densidade e massa do solo, teores e estoque de carbono orgânico total do solo (COT), carbono orgânico particulado (COP) e carbono associado aos minerais (CAM) de um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo do solo. PC= preparo convencional, PD= plantio direto, CN= campo nativo, A=aveia, M=milho, V= vica e C=caupi.

Sistema de uso e manejo	Profundidade (cm)	Bloco	Densidade (Mg m ⁻³)	Massa (Mg ha ⁻¹)	COT (g kg ⁻¹ solo)	COT (Mg ha ⁻¹)	COP (g)	COP (g C kg ⁻¹ fração)	COP (g kg ⁻¹ solo)	COP (Mg ha ⁻¹)	CAM (g kg ⁻¹ solo)	CAM (Mg ha ⁻¹)
PC AM	0-5	1	1,51	752,5	9,38	7,04	11,26	2,32	1,31	0,98	8,08	6,06
PC AM	0-5	2	1,51	752,5	9,14	6,85	11,15	1,69	0,94	0,71	8,20	6,15
PC AM	0-5	3	1,51	752,5	8,69	6,52	10,76	1,92	1,03	0,78	7,66	5,74
PC AM	5-10	1	1,57	785,0	9,01	7,07	11,01	1,68	0,93	0,73	8,08	6,35
PC AM	5-10	2	1,57	785,0	8,55	6,71	10,93	1,22	0,67	0,52	7,88	6,19
PC AM	5-10	3	1,57	785,0	8,89	6,98	10,55	1,33	0,70	0,55	8,19	6,43
PC AM	10-20	1	1,60	1600,0	8,68	14,15	10,92	1,18	0,64	1,05	8,04	13,10
PC AM	10-20	2	1,60	1600,0	9,00	14,67	11,01	0,97	0,53	0,87	8,47	13,80
PC AM	10-20	3	1,60	1600,0	8,16	13,30	10,66	1,06	0,56	0,92	7,60	12,38
PC AVMC	0-5	1	1,51	752,5	11,82	8,86	11,16	3,12	1,74	1,31	10,08	7,56
PC AVMC	0-5	2	1,51	752,5	12,14	9,10	11,35	3,40	1,93	1,45	10,21	7,66
PC AVMC	0-5	3	1,51	752,5	9,83	7,37	11,12	3,30	1,83	1,38	7,99	5,99
PC AVMC	5-10	1	1,57	785,0	11,47	9,00	11,18	1,90	1,06	0,83	10,41	8,17
PC AVMC	5-10	2	1,57	785,0	10,54	8,27	11,47	1,60	0,92	0,72	9,62	7,55
PC AVMC	5-10	3	1,57	785,0	9,61	7,54	11,17	1,89	1,06	0,83	8,55	6,71
PC AVMC	10-20	1	1,60	1600,0	10,94	17,83	10,95	1,68	0,92	1,50	10,02	16,33
PC AVMC	10-20	2	1,60	1600,0	9,55	15,57	10,94	1,07	0,59	0,95	8,96	14,61
PC AVMC	10-20	3	1,60	1600,0	9,09	14,82	10,97	1,21	0,66	1,08	8,43	13,73
PD AM	0-5	1	1,43	715,0	12,43	9,33	11,97	4,76	2,85	2,14	9,58	7,19
PD AM	0-5	2	1,43	715,0	14,05	10,54	11,25	3,84	2,16	1,62	11,89	8,92
PD AM	0-5	3	1,43	715,0	15,15	11,36	11,87	4,69	2,78	2,09	12,36	9,27
PD AM	5-10	1	1,67	835,0	8,72	6,85	11,41	1,28	0,73	0,57	7,99	6,27
PD AM	5-10	2	1,67	835,0	9,14	7,18	10,94	1,18	0,65	0,51	8,49	6,67
PD AM	5-10	3	1,67	835,0	8,61	6,76	11,26	0,94	0,53	0,42	8,08	6,34
PD AM	10-20	1	1,65	1650,0	8,50	13,86	10,98	0,84	0,46	0,75	8,04	13,10
PD AM	10-20	2	1,65	1650,0	8,30	13,53	10,49	0,81	0,42	0,69	7,88	12,84
PD AM	10-20	3	1,65	1650,0	8,50	13,86	10,37	0,63	0,33	0,53	8,17	13,32
PD AVMC	0-5	1	1,43	715,0	17,65	13,24	11,60	6,77	3,93	2,95	13,72	10,29
PD AVMC	0-5	2	1,43	715,0	18,90	14,17	11,40	8,32	4,74	3,56	14,16	10,62
PD AVMC	0-5	3	1,43	715,0	20,00	15,00	11,80	7,06	4,17	3,13	15,84	11,88
PD AVMC	5-10	1	1,67	835,0	9,58	7,52	11,09	1,36	0,75	0,59	8,83	6,93
PD AVMC	5-10	2	1,67	835,0	10,65	8,36	10,85	1,03	0,56	0,44	10,09	7,92
PD AVMC	5-10	3	1,67	835,0	11,79	9,26	11,29	1,10	0,62	0,49	11,17	8,77
PD AVMC	10-20	1	1,65	1650,0	8,27	13,48	10,39	0,73	0,38	0,62	7,89	12,86
PD AVMC	10-20	2	1,65	1650,0	8,71	14,20	11,12	0,71	0,39	0,64	8,32	13,55
PD AVMC	10-20	3	1,65	1650,0	10,17	16,58	10,20	0,80	0,41	0,67	9,76	15,91
PANGOLA	0-5	1	1,14	570,0	15,87	11,90	11,65	8,98	5,23	3,92	10,64	7,98
PANGOLA	0-5	2	1,14	570,0	15,34	11,51	11,35	6,15	3,49	2,62	11,85	8,89
PANGOLA	0-5	3	1,14	570,0	15,17	11,38	11,41	5,71	3,26	2,44	11,91	8,94
PANGOLA	5-10	1	1,57	785,0	10,80	8,48	11,26	1,74	0,98	0,77	9,82	7,71
PANGOLA	5-10	2	1,57	785,0	10,57	8,30	10,71	1,34	0,72	0,56	9,85	7,73
PANGOLA	5-10	3	1,57	785,0	9,82	7,71	10,64	1,17	0,62	0,49	9,20	7,22
PANGOLA	10-20	1	1,61	1610,0	8,68	14,15	10,61	0,74	0,39	0,64	8,29	13,51
PANGOLA	10-20	2	1,61	1610,0	8,99	14,65	10,44	0,79	0,41	0,67	8,58	13,98
PANGOLA	10-20	3	1,61	1610,0	8,89	14,49	10,95	1,21	0,66	1,08	8,23	13,41
CAMPO	0-5	1	1,50	750,0	16,92	12,69	10,85	5,33	2,89	2,17	14,03	10,52
CAMPO	0-5	2	1,50	750,0	18,01	13,51	10,43	4,40	2,30	1,72	15,71	11,79
CAMPO	0-5	3	1,50	750,0	15,95	11,96	11,74	3,65	2,14	1,61	13,81	10,36
CAMPO	5-10	1	1,57	785,0	12,26	9,62	10,32	2,42	1,25	0,98	11,01	8,64
CAMPO	5-10	2	1,57	785,0	12,71	9,98	10,44	1,73	0,90	0,71	11,81	9,27
CAMPO	5-10	3	1,57	785,0	12,86	10,10	11,39	2,08	1,18	0,93	11,68	9,17
CAMPO	10-20	1	1,63	1630,0	10,64	17,34	10,18	1,78	0,91	1,48	9,73	15,87
CAMPO	10-20	2	1,63	1630,0	10,87	17,72	10,16	1,15	0,58	0,95	10,29	16,77
CAMPO	10-20	3	1,63	1630,0	9,23	15,05	10,56	1,20	0,63	1,03	8,60	14,01

Apêndice 4. Teores e estoque de carbono da fração leve livre (FLL), leve oclusa (FLO) e pesada (FP) obtido com politungstato de sódio ($2,0 \text{ g cm}^{-3}$) de um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo do solo. PC= preparo convencional, PD= plantio direto, T= Trigo, S= Soja, A=aveia, M=milho.

Sistema de uso e manejo	Profundidade (cm)	Bloco	FLL (g C kg ⁻¹ fração)	FLL (g kg ⁻¹ solo)	FLL (Mg ha ⁻¹)	FLO (g C kg ⁻¹ fração)	FLO (g kg ⁻¹ solo)	FLO (Mg ha ⁻¹)	FP (g kg ⁻¹ solo)	FP (Mg ha ⁻¹)
PC TS	0-5	I	220,3	2,01	0,80	300,1	5,64	2,26	15,31	6,12
PC TS	0-5	II	163,9	0,98	0,39	330,7	5,12	2,05	16,12	6,45
PC TS	5-10	I	214,1	0,67	0,37	317,2	5,25	2,88	15,16	8,32
PC TS	5-10	II	132,4	0,34	0,19	322,0	4,97	2,73	15,42	8,46
PC TS	10-20	I	126,8	0,22	0,24	308,6	3,07	3,30	13,92	14,97
PC TS	10-20	II	199,9	0,14	0,15	316,7	2,96	3,18	13,90	14,95
PC AM	0-5	I	193,0	1,04	0,42	358,8	4,76	1,91	17,46	6,99
PC AM	0-5	II	141,3	0,94	0,38	350,0	5,14	2,06	16,44	6,58
PC AM	5-10	I	123,5	0,34	0,19	356,7	4,61	2,53	16,25	8,92
PC AM	5-10	II	121,5	0,72	0,40	326,3	5,16	2,83	16,77	9,21
PC AM	10-20	I	106,8	0,18	0,20	340,9	3,10	3,33	15,61	16,79
PC AM	10-20	II	102,1	0,16	0,17	339,0	3,05	3,28	15,02	16,15
PD TS	0-5	I	174,6	0,86	0,34	325,1	6,49	2,59	19,00	7,60
PD TS	0-5	II	118,2	1,27	0,51	333,2	7,33	2,93	19,50	7,80
PD TS	5-10	I	97,3	0,22	0,12	355,9	3,70	2,03	16,71	9,17
PD TS	5-10	II	124,1	0,30	0,16	326,0	3,81	2,09	15,67	8,60
PD TS	10-20	I	128,1	0,22	0,23	332,5	2,55	2,74	14,62	15,72
PD TS	10-20	II	78,0	0,13	0,14	333,2	2,71	2,91	14,58	15,68
PD AM	0-5	I	150,3	1,02	0,41	348,6	7,04	2,81	18,89	7,56
PD AM	0-5	II	174,3	1,46	0,58	334,8	7,68	3,07	18,23	7,29
PD AM	5-10	I	113,6	0,19	0,11	342,1	4,41	2,42	15,66	8,60
PD AM	5-10	II	93,7	0,18	0,10	343,2	4,05	2,22	15,21	8,35
PD AM	10-20	I	84,9	0,12	0,13	338,4	3,33	3,58	13,93	14,98
PD AM	10-20	II	121,6	0,18	0,19	339,2	3,16	3,40	13,24	14,24
SETÁRIA	0-5	I	157,9	1,64	0,66	318,7	7,90	3,16	26,69	10,68
SETÁRIA	0-5	II	156,1	1,81	0,72	353,2	6,17	2,47	19,51	7,80
SETÁRIA	5-10	I	157,8	0,45	0,25	345,7	4,74	2,60	17,95	9,86
SETÁRIA	5-10	II	147,8	0,48	0,26	337,1	4,07	2,24	13,69	7,51
SETÁRIA	10-20	I	76,7	0,18	0,19	334,3	3,59	3,86	14,27	15,35
SETÁRIA	10-20	II	109,6	0,25	0,27	337,5	3,49	3,75	13,48	14,50
MATA	0-5	I	214,1	7,04	2,81	363,0	12,60	5,04	31,32	12,53
MATA	0-5	II	199,4	9,79	3,92	325,0	17,94	7,18	40,65	16,26
MATA	5-10	I	186,9	1,09	0,60	357,7	5,73	3,14	21,77	11,95
MATA	5-10	II	150,1	0,68	0,37	374,7	10,60	5,82	24,19	13,28
MATA	10-20	I	106,0	0,29	0,32	348,2	3,14	3,38	16,47	17,71
MATA	10-20	II	209,1	1,20	1,29	412,4	5,53	5,95	18,78	20,20
CAMPO	0-5	I	195,9	2,36	0,94	300,2	7,80	3,12	25,51	10,21
CAMPO	0-5	II	182,0	2,01	0,81	314,3	6,02	2,41	22,92	9,17
CAMPO	5-10	I	106,9	0,35	0,19	298,6	4,08	2,24	21,63	11,87
CAMPO	5-10	II	124,7	0,43	0,24	339,5	3,91	2,15	18,35	10,08
CAMPO	10-20	I	163,2	0,21	0,23	322,0	2,89	3,11	17,10	18,39
CAMPO	10-20	II	195,5	0,28	0,30	332,2	3,26	3,51	16,31	17,54

Apêndice 5. Densidade e massa do solo, teores e estoque de carbono orgânico total do solo (COT), carbono orgânico particulado (COP) e carbono associado aos minerais (CAM) de um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo do solo. PC= preparo convencional, PD= plantio direto, T= Trigo, S= Soja, A=aveia, M=milho.

Sistema de uso e manejo	Profundidade (cm)	Bloco	Densidade (Mg m ⁻³)	Massa (Mg ha ⁻¹)	COT (g kg ⁻¹ solo)	COT (Mg ha ⁻¹)	COP (g)	COP (g C kg ⁻¹ fração)	COP (g kg ⁻¹ solo)	COP (Mg ha ⁻¹)	CAM (g kg ⁻¹ solo)	CAM (Mg ha ⁻¹)
PC TS	0-5	I	1,07	532,9	22,96	9,19	1,08	70,98	3,82	1,53	19,14	7,66
PC TS	0-5	II	1,07	532,9	22,22	8,89	1,03	53,29	2,73	1,09	19,49	7,80
PC TS	5-10	I	1,26	628,7	21,08	11,57	0,97	54,16	2,63	1,44	18,45	10,13
PC TS	5-10	II	1,26	628,7	20,73	11,38	0,96	45,68	2,18	1,20	18,55	10,18
PC TS	10-20	I	1,36	1359,1	17,21	18,51	0,83	21,30	0,88	0,95	16,33	17,56
PC TS	10-20	II	1,36	1359,1	17,00	18,28	0,84	16,39	0,69	0,74	16,31	17,54
PC AM	0-5	I	1,14	571,5	23,27	9,31	1,04	75,51	3,94	1,58	19,33	7,73
PC AM	0-5	II	1,14	571,5	22,52	9,01	1,11	53,00	2,95	1,18	19,57	7,83
PC AM	5-10	I	1,35	675,8	21,20	11,64	0,96	46,68	2,24	1,23	18,96	10,41
PC AM	5-10	II	1,35	675,8	22,65	12,43	1,13	57,44	3,24	1,78	19,41	10,66
PC AM	10-20	I	1,38	1378,3	18,89	20,32	0,85	24,41	1,03	1,11	17,86	19,21
PC AM	10-20	II	1,38	1378,3	18,23	19,61	0,83	29,84	1,24	1,33	16,99	18,27
PD TS	0-5	I	1,29	644,4	26,34	10,54	1,24	72,67	4,49	1,80	21,85	8,74
PD TS	0-5	II	1,29	644,4	28,10	11,24	1,49	82,38	6,14	2,46	21,96	8,79
PD TS	5-10	I	1,37	685,9	20,63	11,33	0,88	25,09	1,11	0,61	19,52	10,72
PD TS	5-10	II	1,37	685,9	19,77	10,85	0,96	28,62	1,38	0,76	18,39	10,10
PD TS	10-20	I	1,30	1304,4	17,38	18,69	0,75	20,01	0,75	0,81	16,63	17,89
PD TS	10-20	II	1,30	1304,4	17,42	18,74	0,75	16,13	0,61	0,66	16,81	18,08
PD AM	0-5	I	1,32	662,1	26,95	10,78	1,35	77,22	5,22	2,09	21,73	8,69
PD AM	0-5	II	1,32	662,1	27,37	10,95	1,38	74,51	5,13	2,05	22,24	8,90
PD AM	5-10	I	1,35	673,7	20,26	11,12	1,04	31,77	1,65	0,91	18,61	10,22
PD AM	5-10	II	1,35	673,7	19,43	10,67	0,95	26,85	1,28	0,70	18,15	9,96
PD AM	10-20	I	1,31	1307,8	17,38	18,69	0,83	19,58	0,81	0,87	16,57	17,82
PD AM	10-20	II	1,31	1307,8	16,58	17,83	0,86	20,10	0,86	0,92	15,72	16,91
SETÁRIA	0-5	I	1,18	590,3	36,24	14,50	1,15	89,95	5,17	2,07	31,07	12,43
SETÁRIA	0-5	II	1,18	590,3	27,48	10,99	1,36	73,14	4,96	1,98	22,52	9,01
SETÁRIA	5-10	I	1,29	646,9	23,14	12,70	1,01	39,39	1,99	1,09	21,15	11,61
SETÁRIA	5-10	II	1,29	646,9	18,24	10,01	1,06	30,65	1,62	0,89	16,62	9,12
SETÁRIA	10-20	I	1,39	1385,7	18,04	19,40	0,93	24,91	1,15	1,24	16,89	18,17
SETÁRIA	10-20	II	1,39	1385,7	17,22	18,52	0,88	23,41	1,02	1,10	16,20	17,42
MATA	0-5	I	0,80	400,1	50,96	20,39	2,98	82,41	12,30	4,92	38,66	15,46
MATA	0-5	II	0,80	400,1	68,39	27,36	3,25	108,60	17,65	7,06	50,74	20,30
MATA	5-10	I	1,10	549,0	28,59	15,69	2,03	20,21	2,05	1,13	26,54	14,57
MATA	5-10	II	1,10	549,0	35,47	19,47	1,99	40,06	3,98	2,18	31,49	17,29
MATA	10-20	I	1,08	1075,5	19,91	21,41	2,08	13,21	1,37	1,47	18,54	19,94
MATA	10-20	II	1,08	1075,5	25,51	27,44	2,11	30,98	3,27	3,52	22,24	23,92
CAMPO	0-5	I	1,28	639,0	35,67	14,27	3,39	49,80	8,45	3,38	27,22	10,89
CAMPO	0-5	II	1,28	639,0	30,95	12,38	2,83	40,59	5,75	2,30	25,20	10,08
CAMPO	5-10	I	1,35	673,7	26,06	14,31	3,17	15,52	2,46	1,35	23,60	12,96
CAMPO	5-10	II	1,35	673,7	22,70	12,46	2,42	14,91	1,80	0,99	20,90	11,47
CAMPO	10-20	I	1,33	1333,5	20,20	21,73	2,56	11,08	1,42	1,53	18,78	20,20
CAMPO	10-20	II	1,33	1333,5	19,85	21,35	2,21	10,27	1,14	1,23	18,71	20,12

Apêndice 6. Massa de agregados e de partículas simples em classes de agregados na determinação da estabilidade em água para um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo do solo. PC= preparo convencional, PD= plantio direto, CN= campo nativo, A=aveia, M=milho, V= vica e C=caupi.

Sistema de uso e manejo	Dose de N kg/ha	Prof -cm-	Bloco	Peneira --mm--	Subamostra A			Subamostra B		
					Partículas simples -----g-----	Agregados ----g----	-----%-----	Partículas simples -----g-----	Agregados ----g----	-----%-----
PC AM	0	0-5	1	4,76		6,66	20,27		5,86	17,06
				2,00	0,75	4,70	14,30	0,14	5,66	16,48
				1,00	1,83	3,70	11,26	1,96	4,18	12,17
				0,50	3,76	6,17	18,78	1,01	5,22	15,20
				0,25	4,15	4,67	14,21	1,42	5,91	17,21
				0,105	3,76	3,14	9,56	3,05	2,88	8,38
				0,053	0,62	0,91	2,77	1,33	1,26	3,67
				<0,053		2,91	8,86		3,38	9,84
PC AM	0	0-5	2	4,76		3,40	10,88		4,40	14,01
				2,00	0,78	3,39	10,85	2,28	3,83	12,19
				1,00	2,13	4,03	12,90	1,45	3,69	11,75
				0,50	4,12	6,49	20,77	6,39	5,08	16,17
				0,25	4,62	6,05	19,36	6,29	6,07	19,33
				0,105	4,48	3,15	10,08	5,03	3,70	11,78
				0,053	0,88	1,50	4,80	0,06	0,84	2,67
				<0,053		3,24	10,37		3,80	12,10
PC AM	0	0-5	3	4,76		3,95	11,81	0,13	5,35	16,25
				2,00	1,21	4,94	14,77	1,25	4,08	12,39
				1,00	2,45	4,23	12,65	2,21	4,63	14,06
				0,50	3,68	7,73	23,12	3,28	5,54	16,83
				0,25	3,68	5,13	15,34	4,02	5,29	16,07
				0,105	3,59	2,70	8,07	3,95	3,25	9,87
				0,053	0,62	1,29	3,86	0,87	1,27	3,86
				<0,053		3,47	10,38		3,51	10,66
PC AM	180	0-5	1	4,76		7,18	20,91		6,06	18,17
				2,00	0,80	4,61	13,43	1,27	5,07	15,20
				1,00	1,52	3,88	11,30	1,62	3,83	11,48
				0,50	3,39	6,12	17,83	3,55	4,85	14,54
				0,25	4,08	5,25	15,29	4,45	5,67	17,00
				0,105	3,57	3,33	9,70	4,41	3,70	11,09
				0,053	0,65	0,75	2,18	0,70	1,03	3,09
				<0,053		3,21	9,35		3,14	9,42
PC AM	180	0-5	2	4,76		5,06	14,95	0,15	5,44	16,31
				2,00	1,63	5,94	17,55	1,90	5,27	15,80
				1,00	2,13	3,79	11,20	1,86	4,96	14,87
				0,50	3,31	6,33	18,70	3,74	6,38	19,12
				0,25	3,49	4,81	14,21	4,35	4,68	14,03
				0,105	3,22	3,17	9,36	3,18	2,56	7,67
				0,053	0,75	0,96	2,84	0,73	0,83	2,49
				<0,053		3,79	11,20		3,24	9,71
PC AM	180	0-5	3	4,76		6,18	17,44		7,49	22,02
				2,00	0,64	4,09	11,54	0,94	4,75	13,96
				1,00	1,80	3,97	11,21	1,92	3,82	11,23
				0,50	3,38	5,45	15,38	3,55	4,51	13,26
				0,25	4,12	5,63	15,89	4,26	4,71	13,84
				0,105	3,23	5,87	16,57	4,14	3,35	9,85
				0,053	0,73	0,85	2,40	0,91	1,33	3,91
				<0,053		3,39	9,57		4,06	11,93
PC AVMC	0	0-5	1	4,76		5,67	16,82		10,91	30,80
				2,00	1,14	5,49	16,29	1,30	4,85	13,69
				1,00	2,34	4,10	12,16	1,75	3,59	10,14
				0,50	3,74	4,34	12,87	3,67	3,89	10,98
				0,25	4,39	5,27	15,63	3,58	3,81	10,76
				0,105	4,06	3,89	11,54	3,67	3,17	8,95

Apêndice 6. Continuação...

				0,053	0,6	0,66	1,96	0,73	0,95	2,68
				<0,053		4,29	12,73		4,25	12,00
PC AVMC	0	0-5	2	4,76		8,73	24,10		15,10	41,26
				2,00	0,70	6,06	16,73	0,46	4,04	11,04
				1,00	1,75	4,67	12,89	1,54	2,39	6,53
				0,50	3,08	4,78	13,20	3,19	3,16	8,63
				0,25	3,46	4,31	11,90	3,55	3,86	10,55
				0,105	3,99	3,38	9,33	4,03	3,53	9,64
				0,053	0,74	0,63	1,74	0,74	0,71	1,94
				<0,053		3,66	10,10		3,81	10,41
PC AVMC	0	0-5	3	4,76		8,49	24,82		9,78	28,50
				2,00	0,81	5,06	14,80	0,82	4,80	13,99
				1,00	1,72	3,90	11,40	1,39	3,29	9,59
				0,50	2,88	4,74	13,86	3,18	3,60	10,49
				0,25	3,73	4,19	12,25	4,02	4,70	13,69
				0,105	3,99	3,53	10,32	4,14	3,52	10,26
				0,053	0,85	0,81	2,37	0,76	0,66	1,92
				<0,053		3,48	10,18		3,97	11,57
PC AVMC	180	0-5	1	4,76		9,06	26,69	1,01	8,13	25,56
				2,00	1,26	3,48	10,25	0,66	3,66	11,51
				1,00	1,26	3,58	10,55	1,77	3,10	9,75
				0,50	3,59	5,46	16,09	4,24	4,65	14,62
				0,25	4,34	4,90	14,44	4,78	5,01	15,75
				0,105	3,64	3,41	10,05	4,36	3,11	9,78
				0,053	0,79	0,77	2,27	0,84	0,84	2,64
				<0,053		3,28	9,66		3,31	10,41
PC AVMC	180	0-5	2	4,76		7,98	23,38	0,14	10,24	29,37
				2,00	0,67	5,36	15,70	0,77	6,74	19,33
				1,00	1,84	3,70	10,84	1,81	3,52	10,09
				0,50	2,99	5,02	14,71	2,66	3,62	10,38
				0,25	4,43	4,95	14,50	3,34	3,99	11,44
				0,105	4,09	2,98	8,73	3,58	2,48	7,11
				0,053	0,79	0,89	2,61	0,86	1,18	3,38
				<0,053		3,25	9,52		3,10	8,89
PC AVMC	180	0-5	3	4,76	0,15	6,91	20,57	0,18	4,68	14,85
				2,00	0,94	4,54	13,51	1,40	5,27	16,72
				1,00	1,78	3,31	9,85	1,96	3,67	11,65
				0,50	3,43	6,47	19,26	3,81	4,64	14,73
				0,25	3,69	4,16	12,38	4,53	4,57	14,50
				0,105	4	3,19	9,49	4,50	3,00	9,52
				0,053	0,88	1,00	2,98	0,97	1,79	5,68
				<0,053		4,02	11,96		3,89	12,35
PD AM	0	0-5	1	4,76		8,69	26,39		11,18	32,79
				2,00	0,40	4,57	13,88	0,44	4,80	14,08
				1,00	1,63	3,37	10,23	1,75	2,95	8,65
				0,50	3,89	4,71	14,30	4,06	3,98	11,67
				0,25	4,71	5,30	16,09	4,48	5,03	14,75
				0,105	3,98	3,18	9,66	3,61	2,97	8,71
				0,053	0,58	0,67	2,03	0,65	0,73	2,14
				<0,053		2,44	7,41		2,46	7,21
PD AM	0	0-5	2	4,76	0,24	14,13	39,38		15,24	43,01
				2,00	0,56	4,07	11,34	0,43	4,25	12,00
				1,00	1,34	3,29	9,17	1,09	2,95	8,33
				0,50	3,21	4,70	13,10	3,18	2,74	7,73
				0,25	3,26	3,78	10,54	3,38	3,64	10,27
				0,105	3,05	2,89	8,05	3,56	3,29	9,29
				0,053	0,63	0,76	2,12	0,69	0,72	2,03
				<0,053		2,26	6,30		2,60	7,34
PD AM	0	0-5	3	4,76		12,37	34,75		13,94	39,30
				2,00	0,32	4,95	13,90	1,06	4,14	11,67
				1,00	2,01	2,80	7,87	1,41	2,71	7,64

Apêndice 6. Continuação...

				0,50	3,22	3,35	9,41	2,63	3,24	9,13
				0,25	3,75	5,29	14,86	3,72	4,68	13,19
				0,105	4,43	3,45	9,69	4,10	3,63	10,23
				0,053	0,61	0,80	2,25	0,51	0,85	2,40
				<0,053		2,59	7,28		2,28	6,43
PD AM	180	0-5	1	4,76		17,86	48,76		18,21	49,39
				2,00	0,80	4,64	12,67	0,45	4,06	11,01
				1,00	1,30	1,72	4,70	1,40	2,15	5,83
				0,50	2,72	2,63	7,18	3,36	2,53	6,86
				0,25	3,25	3,31	9,04	3,57	3,45	9,36
				0,105	3,25	2,89	7,89	3,44	3,09	8,38
				0,053	0,61	0,78	2,13	0,50	0,74	2,01
				<0,053		2,80	7,64		2,64	7,16
PD AM	180	0-5	2	4,76	0,09	16,13	42,28		14,48	40,24
				2,00	0,79	6,51	17,06	0,96	5,16	14,34
				1,00	1,87	3,74	9,80	1,72	3,37	9,37
				0,50	2,73	3,76	9,86	3,49	3,30	9,17
				0,25	2,43	2,87	7,52	3,50	3,73	10,37
				0,105	2,31	2,08	5,45	3,13	2,63	7,31
				0,053	0,47	0,61	1,60	0,58	0,86	2,39
				<0,053		2,45	6,42		2,45	6,81
PD AM	180	0-5	3	4,76	0,16	12,97	38,60		11,52	34,79
				2,00	0,69	3,70	11,01	0,80	4,77	14,41
				1,00	2,06	2,31	6,88	2,18	2,62	7,91
				0,50	3,04	3,37	10,03	3,13	3,62	10,93
				0,25	3,61	2,90	8,63	2,90	4,04	12,20
				0,105	5,6	5,38	16,01	4,66	3,25	9,82
				0,053	0,69	0,54	1,61	0,82	0,84	2,54
				<0,053		2,43	7,23		2,45	7,40
PD AVMC	0	0-5	1	4,76		16,66	42,38	0,24	18,48	52,37
				2,00	0,45	6,00	15,26	0,19	4,97	14,08
				1,00	1,41	3,04	7,73	1,14	2,38	6,74
				0,50	2,53	3,00	7,63	2,83	3,06	8,67
				0,25	2,83	5,89	14,98	3,31	1,32	3,74
				0,105	3,06	2,10	5,34	3,17	2,46	6,97
				0,053	0,56	0,87	2,21	0,55	0,67	1,90
				<0,053		1,75	4,45		1,95	5,53
PD AVMC	0	0-5	2	4,76		17,46	46,80		17,60	47,11
				2,00	0,62	5,19	13,91	0,26	5,91	15,82
				1,00	1,23	2,68	7,18	1,07	3,05	8,16
				0,50	2,68	2,94	7,88	2,36	2,02	5,41
				0,25	3,14	3,50	9,38	2,80	2,99	8,00
				0,105	3,32	2,49	6,67	3,18	2,91	7,79
				0,053	0,67	0,68	1,82	0,51	0,66	1,77
				<0,053		2,37	6,35		2,22	5,94
PD AVMC	0	0-5	3	4,76	0,37	14,23	39,02		11,93	32,81
				2,00	1,04	5,65	15,49	1,38	7,04	19,36
				1,00	2,19	3,84	10,53	1,87	4,36	11,99
				0,50	2,66	3,82	10,47	3,08	4,07	11,19
				0,25	2,85	3,57	9,79	3,41	4,23	11,63
				0,105	3,15	2,64	7,24	2,87	2,54	6,99
				0,053	0,71	0,72	1,97	0,66	0,52	1,43
				<0,053		2,00	5,48		1,67	4,59
PD AVMC	180	0-5	1	4,76		13,60	38,11		14,73	40,51
				2,00	0,74	5,54	15,52	0,47	6,09	16,75
				1,00	1,76	3,12	8,74	1,50	3,18	8,75
				0,50	3,48	3,72	10,42	3,27	2,87	7,89
				0,25	3,71	4,01	11,24	3,36	3,54	9,74
				0,105	3,3	2,83	7,93	3,56	2,87	7,89
				0,053	0,71	0,63	1,77	0,72	0,78	2,15
				<0,053		2,24	6,28		2,30	6,33

Apêndice 6. Continuação...

PD AVMC	180	0-5	2	4,76		21,04	56,99		16,92	46,02
				2,00	0,75	5,21	14,11	0,72	4,90	13,33
				1,00	1,75	1,59	4,31	1,70	3,10	8,43
				0,50	3,29	1,30	3,52	2,65	3,08	8,38
				0,25	2,41	2,33	6,31	2,87	2,99	8,13
				0,105	2,78	2,62	7,10	3,13	2,90	7,89
				0,053	0,68	0,58	1,57	0,70	0,67	1,82
				<0,053		2,25	6,09		2,21	6,01
PD AVMC	180	0-5	3	4,76		13,17	35,95		11,40	31,62
				2,00	0,81	4,97	13,57	0,98	7,88	21,86
				1,00	1,67	3,73	10,18	2,03	4,39	12,18
				0,50	2,68	4,36	11,90	3,18	4,67	12,95
				0,25	3,15	4,05	11,06	3,17	2,93	8,13
				0,105	3,7	3,22	8,79	3,15	2,05	5,69
				0,053	0,65	0,54	1,47	0,68	0,68	1,89
				<0,053		2,59	7,07		2,05	5,69
PANGOLA		0-5	1	4,76		20,09	51,21		22,07	55,33
				2,00	0,26	6,38	16,26	0,17	5,98	14,99
				1,00	1,08	3,39	8,64	1,17	3,22	8,07
				0,50	2,46	3,39	8,64	2,27	2,55	6,39
				0,25	2,58	2,94	7,49	2,40	2,49	6,24
				0,105	2,25	1,33	3,39	2,44	1,53	3,84
				0,053	0,4	0,39	0,99	0,45	0,47	1,18
				<0,053		1,32	3,36		1,58	3,96
PANGOLA		0-5	2	4,76		22,07	55,09		21,84	54,70
				2,00	0,23	5,92	14,78	0,52	6,58	16,48
				1,00	1,03	3,05	7,61	1,08	3,11	7,79
				0,50	2,76	2,94	7,34	2,56	3,35	8,39
				0,25	2,49	2,55	6,37	2,00	1,75	4,38
				0,105	1,95	1,62	4,04	1,99	1,38	3,46
				0,053	0,36	0,38	0,95	0,31	0,37	0,93
				<0,053		1,53	3,82		1,55	3,88
PANGOLA		0-5	3	4,76	0,14	24,18	60,30		21,48	54,74
				2,00	0,40	4,68	11,67	0,47	7,02	17,89
				1,00	1,02	2,46	6,13	1,25	2,52	6,42
				0,50	2,37	2,71	6,76	2,41	1,89	4,82
				0,25	2,43	2,62	6,53	2,48	2,26	5,76
				0,105	2,02	1,38	3,44	2,55	1,47	3,75
				0,053	0,39	0,42	1,05	0,46	0,61	1,55
				<0,053		1,65	4,11		1,99	5,07
CAMPO		0-5	1	4,76		15,42	40,18		17,79	43,88
				2,00	0,82	6,47	16,86	0,66	9,29	22,92
				1,00	1,69	4,83	12,58	1,58	4,86	11,99
				0,50	2,61	4,50	11,72	2,07	3,20	7,89
				0,25	3,13	3,07	8,00	2,32	2,31	5,70
				0,105	2,77	2,02	5,26	1,92	1,29	3,18
				0,053	0,35	0,57	1,49	0,27	0,43	1,06
				<0,053		1,50	3,91		1,37	3,38
CAMPO		0-5	2	4,76		18,35	44,71		20,93	52,14
				2,00	0,56	8,83	21,52	0,47	7,06	17,59
				1,00	1,47	5,03	12,26	1,36	3,42	8,52
				0,50	2,13	3,15	7,68	2,19	3,04	7,57
				0,25	2,07	2,53	6,16	2,44	2,32	5,78
				0,105	1,69	1,35	3,29	2,09	1,51	3,76
				0,053	0,3	0,43	1,05	0,32	0,47	1,17
				<0,053		1,37	3,34		1,39	3,46
CAMPO		0-5	3	4,76		16,46	45,46		14,22	38,16
				2,00	0,13	4,75	13,12	0,28	7,73	20,75
				1,00	1,03	2,44	6,74	1,45	4,43	11,89
				0,50	3,43	4,31	11,90	3,19	3,21	8,62
				0,25	4,37	3,77	10,41	3,76	3,30	8,86

Apêndice 6. Continuação...

				0,105	3,51	2,34	6,46	3,18	1,98	5,31
				0,053	0,46	0,70	1,93	0,47	0,76	2,04
				<0,053		1,44	3,98		1,63	4,37
PC AM	0	5-10	1	4,76	0,21	13,14	36,27	0,19	13,74	38,38
				2,00	0,92	6,47	17,86	0,88	5,79	16,17
				1,00	1,46	3,66	10,10	1,86	3,58	10,00
				0,50	3,36	3,40	9,38	3,16	3,53	9,86
				0,25	3,36	3,76	10,38	3,31	3,12	8,72
				0,105	3,12	2,54	7,01	3,08	2,34	6,54
				0,053	0,53	0,59	1,63	0,68	0,75	2,09
				<0,053		2,67	7,37		2,95	8,24
PC AM	0	5-10	2	4,76		13,69	38,18		10,08	28,76
				2,00	0,88	5,22	14,56	1,62	5,88	16,78
				1,00	1,88	3,40	9,48	2,17	4,39	12,52
				0,50	2,99	4,05	11,29	2,99	3,99	11,38
				0,25	3,3	3,40	9,48	3,49	3,71	10,58
				0,105	3,16	2,45	6,83	3,42	2,88	8,22
				0,053	0,68	0,91	2,54	0,68	0,62	1,77
				<0,053		2,74	7,64		3,50	9,99
PC AM	0	5-10	3	4,76		15,64	41,07	0,20	10,86	30,63
				2,00	0,98	5,33	14,00	1,16	5,37	15,15
				1,00	1,68	4,10	10,77	2,10	3,87	10,92
				0,50	2,46	3,26	8,56	2,95	4,17	11,76
				0,25	2,72	2,88	7,56	3,42	3,84	10,83
				0,105	2,73	2,16	5,67	3,15	2,39	6,74
				0,053	0,91	0,90	2,36	0,97	0,74	2,09
				<0,053		3,81	10,01		4,21	11,88
PC AM	180	5-10	1	4,76		13,70	37,98	0,12	14,63	40,25
				2,00	0,78	5,37	14,89	0,60	5,32	14,64
				1,00	1,59	3,81	10,56	1,73	3,45	9,49
				0,50	2,97	3,36	9,32	2,80	3,49	9,60
				0,25	3,32	3,37	9,34	3,17	3,36	9,24
				0,105	3,28	2,51	6,96	3,14	2,38	6,55
				0,053	0,75	1,13	3,13	0,68	0,83	2,28
				<0,053		2,82	7,82		2,89	7,95
PC AM	180	5-10	2	4,76		9,68	27,24		10,35	29,80
				2,00	1,11	7,36	20,71	0,90	5,04	14,51
				1,00	2,17	5,91	16,63	2,22	4,48	12,90
				0,50	3,58	4,65	13,09	3,09	4,68	13,48
				0,25	3,51	3,06	8,61	3,62	3,79	10,91
				0,105	2,72	1,90	5,35	3,53	2,62	7,54
				0,053	0,62	0,67	1,89	0,71	0,71	2,04
				<0,053		2,30	6,47		3,06	8,81
PC AM	180	5-10	3	4,76		7,77	22,69		10,25	29,75
				2,00	2,62	6,15	17,96	1,66	5,82	16,89
				1,00	2,68	3,88	11,33	2,29	3,92	11,38
				0,50	2,93	4,32	12,62	3,04	3,08	8,94
				0,25	3,31	4,17	12,18	3,31	3,85	11,18
				0,105	3,28	3,11	9,08	3,47	2,88	8,36
				0,053	0,64	0,77	2,25	0,74	1,04	3,02
				<0,053		4,07	11,89		3,61	10,48
PC AVMC	0	5-10	1	4,76	0,18	13,94	36,49	0,22	11,67	32,98
				2,00	0,78	5,60	14,66	0,45	6,35	17,94
				1,00	1,38	3,98	10,42	1,33	4,26	12,04
				0,50	2,78	4,75	12,43	3,09	2,88	8,14
				0,25	3,1	3,85	10,08	3,50	3,65	10,31
				0,105	2,87	2,99	7,83	3,42	3,23	9,13
				0,053	0,64	0,83	2,17	0,63	1,12	3,16
				<0,053		2,26	5,92		2,23	6,30
PC AVMC	0	5-10	2	4,76		14,91	38,09		16,66	42,09
				2,00	0,42	5,04	12,88	0,84	5,10	12,89

Apêndice 6. Continuação...

				1,00	1,54	3,75	9,58	1,86	3,77	9,53
				0,50	2,95	3,87	9,89	4,61	3,87	9,78
				0,25	3,31	3,95	10,09	2,71	3,14	7,93
				0,105	3,5	3,12	7,97	3,07	2,62	6,62
				0,053	0,75	1,25	3,19	0,85	1,33	3,36
				<0,053		3,25	8,30		3,09	7,81
PC AVMC	0	5-10	3	4,76		10,71	30,50		16,19	44,65
				2,00	1,55	6,31	17,97	1,03	5,03	13,87
				1,00	1,62	4,12	11,73	1,42	3,14	8,66
				0,50	3,32	4,08	11,62	2,92	2,43	6,70
				0,25	4,14	3,34	9,51	3,16	2,74	7,56
				0,105	3,27	2,26	6,44	3,37	2,79	7,69
				0,053	0,87	0,86	2,45	0,73	0,82	2,26
				<0,053		3,44	9,79		3,12	8,60
PC AVMC	180	5-10	1	4,76		14,83	39,52		17,80	47,05
				2,00	0,93	6,14	16,36	0,49	5,82	15,38
				1,00	1,70	3,53	9,41	1,72	3,29	8,70
				0,50	3,12	3,05	8,13	2,70	2,55	6,74
				0,25	3,15	3,40	9,06	2,79	2,61	6,90
				0,105	2,96	2,67	7,11	3,06	2,54	6,71
				0,053	0,66	1,05	2,80	0,67	0,74	1,96
				<0,053		2,86	7,62		2,48	6,56
PC AVMC	180	5-10	2	4,76		18,07	47,06	0,21	10,01	29,23
				2,00	0,70	4,17	10,86	1,15	6,60	19,28
				1,00	1,49	2,78	7,24	2,07	4,22	12,32
				0,50	1,61	3,91	10,18	3,22	3,84	11,21
				0,25	3,06	3,50	9,11	4,11	3,14	9,17
				0,105	3,24	2,38	6,20	3,72	2,38	6,95
				0,053	0,69	0,64	1,67	0,90	1,35	3,94
				<0,053		2,95	7,68		2,70	7,89
PC AVMC	180	5-10	3	4,76	0,23	15,36	42,14		10,60	30,18
				2,00	0,81	5,18	14,21	0,99	6,13	17,45
				1,00	1,25	2,80	7,68	1,75	3,66	10,42
				0,50	2,89	2,93	8,04	2,96	3,49	9,94
				0,25	3,5	3,00	8,23	3,64	3,70	10,54
				0,105	3,55	3,07	8,42	3,60	2,82	8,03
				0,053	0,78	0,73	2,00	0,88	1,02	2,90
				<0,053		3,38	9,27		3,70	10,54
PD AM	0	5-10	1	4,76	0,19	18,93	48,73		23,50	59,16
				2,00	0,67	6,71	17,27	0,68	4,89	12,31
				1,00	1,66	4,02	10,35	1,51	2,52	6,34
				0,50	2,56	2,50	6,44	2,37	1,83	4,61
				0,25	2,47	2,22	5,71	2,48	2,09	5,26
				0,105	2,41	1,68	4,32	2,50	1,76	4,43
				0,053	0,54	0,59	1,52	0,65	0,75	1,89
				<0,053		2,20	5,66		2,38	5,99
PD AM	0	5-10	2	4,76		20,15	53,25		19,51	50,57
				2,00	0,68	4,97	13,13	0,43	4,48	11,61
				1,00	1,20	2,38	6,29	1,30	2,78	7,21
				0,50	2,75	2,24	5,92	2,68	2,13	5,52
				0,25	2,74	2,46	6,50	2,90	2,96	7,67
				0,105	3,01	1,53	4,04	2,74	2,58	6,69
				0,053	0,79	1,02	2,70	0,66	0,70	1,81
				<0,053		3,09	8,17		3,44	8,92
PD AM	0	5-10	3	4,76	0,54	15,22	43,54		16,80	46,23
				2,00	1,41	4,90	14,02	1,40	4,27	11,75
				1,00	2,04	3,09	8,84	2,11	2,34	6,44
				0,50	2,65	2,99	8,55	2,78	2,67	7,35
				0,25	2,79	3,38	9,67	2,85	2,90	7,98
				0,105	3,67	1,80	5,15	2,97	3,42	9,41
				0,053	0,7	0,78	2,23	0,86	0,83	2,28

Apêndice 6. Continuação...

				<0,053		2,80	8,01		3,11	8,56
PD AM	180	5-10	1	4,76		12,15	34,06		11,22	32,47
				2,00	0,56	6,09	17,07	0,86	5,91	17,11
				1,00	1,84	3,56	9,98	1,60	4,03	11,66
				0,50	3,40	4,18	11,72	3,78	4,21	12,19
				0,25	4,03	4,28	12,00	4,68	3,60	10,42
				0,105	3,35	2,09	5,86	3,58	2,30	6,66
				0,053	0,67	0,83	2,33	0,75	0,75	2,17
				<0,053		2,49	6,98		2,53	7,32
PD AM	180	5-10	2	4,76		20,13	50,99		19,68	50,20
				2,00	1,06	5,40	13,68	1,28	6,46	16,48
				1,00	1,66	3,26	8,26	1,63	3,40	8,67
				0,50	2,46	2,98	7,55	2,29	2,39	6,10
				0,25	2,38	2,51	6,36	2,38	2,10	5,36
				0,105	2,17	1,85	4,69	2,24	1,75	4,46
				0,053	0,56	0,76	1,93	0,55	0,57	1,45
				<0,053		2,59	6,56		2,85	7,27
PD AM	180	5-10	3	4,76		16,14	44,03		12,85	36,19
				2,00	0,87	4,90	13,37	0,90	4,73	13,32
				1,00	1,99	2,79	7,61	2,06	3,29	9,26
				0,50	2,52	2,82	7,69	2,92	3,38	9,52
				0,25	3,2	3,68	10,04	3,61	4,28	12,05
				0,105	3,63	2,61	7,12	3,94	3,15	8,87
				0,053	0,63	0,64	1,75	0,74	0,75	2,11
				<0,053		3,08	8,40		3,08	8,67
PD AVMC	0	5-10	1	4,76	0,32	17,35	45,29		20,09	51,73
				2,00	0,33	4,73	12,35	0,87	6,27	16,14
				1,00	1,54	3,68	9,61	1,26	3,06	7,88
				0,50	3,00	3,62	9,45	2,47	2,37	6,10
				0,25	2,95	3,74	9,76	2,67	2,06	5,30
				0,105	2,36	2,42	6,32	2,45	2,02	5,20
				0,053	0,5	0,62	1,62	0,49	0,53	1,36
				<0,053		2,15	5,61		2,44	6,28
PD AVMC	0	5-10	2	4,76		17,90	45,41	0,89	14,74	39,31
				2,00	0,74	7,53	19,10	0,63	5,96	15,89
				1,00	1,25	3,66	9,28	1,27	3,76	10,03
				0,50	2,20	2,33	5,91	2,71	3,45	9,20
				0,25	2,39	2,21	5,61	3,28	3,09	8,24
				0,105	2,69	1,97	5,00	3,06	2,61	6,96
				0,053	0,76	0,94	2,38	0,64	0,82	2,19
				<0,053		2,88	7,31		3,07	8,19
PD AVMC	0	5-10	3	4,76	0,27	14,17	39,04		16,50	43,77
				2,00	1,13	5,48	15,10	1,32	4,99	13,24
				1,00	1,98	3,13	8,62	1,79	2,63	6,98
				0,50	2,34	3,48	9,59	2,45	4,04	10,72
				0,25	2,67	4,18	11,52	2,67	2,91	7,72
				0,105	3	2,62	7,22	3,58	3,28	8,70
				0,053	0,78	0,90	2,48	0,51	0,56	1,49
				<0,053		2,34	6,45		2,79	7,40
PD AVMC	180	5-10	1	4,76		11,98	31,79		16,02	42,25
				2,00	0,48	7,66	20,33	0,43	6,88	18,14
				1,00	1,66	4,44	11,78	1,67	3,67	9,68
				0,50	3,12	4,19	11,12	2,80	3,47	9,15
				0,25	3,38	3,95	10,48	3,03	2,91	7,67
				0,105	2,92	2,42	6,42	2,73	2,03	5,35
				0,053	0,54	0,59	1,57	0,45	0,51	1,34
				<0,053		2,45	6,50		2,43	6,41
PD AVMC	180	5-10	2	4,76	0,23	17,89	45,54		13,22	36,06
				2,00	0,44	6,04	15,38	1,10	6,25	17,05
				1,00	1,18	3,27	8,32	1,46	3,61	9,85
				0,50	2,38	2,89	7,36	2,89	3,49	9,52

Apêndice 6. Continuação...

				0,25	2,78	3,34	8,50	3,36	3,60	9,82
				0,105	2,62	2,28	5,80	3,15	2,90	7,91
				0,053	0,61	0,77	1,96	0,72	0,64	1,75
				<0,053		2,80	7,13		2,95	8,05
PD AVMC	180	5-10	3	4,76	0,54	15,19	41,62		13,99	38,81
				2,00	1,40	4,98	13,64	1,26	5,03	13,95
				1,00	1,95	3,61	9,89	2,32	3,31	9,18
				0,50	2,46	3,77	10,33	2,77	3,95	10,96
				0,25	2,55	3,57	9,78	2,89	3,74	10,37
				0,105	2,89	2,25	6,16	3,31	2,74	7,60
				0,053	0,69	0,87	2,38	0,69	0,72	2,00
				<0,053		2,26	6,19		2,57	7,13
PANGOLA		5-10	1	4,76		21,99	54,78		20,78	53,56
				2,00	0,52	7,55	18,81	0,44	6,14	15,82
				1,00	1,26	2,44	6,08	1,45	2,71	6,98
				0,50	2,39	1,83	4,56	2,69	2,36	6,08
				0,25	2,31	2,13	5,31	2,52	2,41	6,21
				0,105	2,17	1,60	3,99	3,00	1,65	4,25
				0,053	0,5	0,63	1,57	0,55	0,66	1,70
				<0,053		1,97	4,91		2,09	5,39
PANGOLA		5-10	2	4,76		22,87	57,74		19,13	48,58
				2,00	0,52	4,52	11,41	0,49	5,67	14,40
				1,00	1,22	2,96	7,47	1,21	4,09	10,39
				0,50	2,77	2,66	6,72	2,95	3,81	9,67
				0,25	2,67	2,52	6,36	2,76	2,62	6,65
				0,105	2,3	1,59	4,01	1,96	1,66	4,22
				0,053	0,46	0,52	1,31	0,43	0,46	1,17
				<0,053		1,97	4,97		1,94	4,93
PANGOLA		5-10	3	4,76		14,25	37,81		16,18	42,74
				2,00	0,65	6,58	17,46	0,33	4,44	11,73
				1,00	1,39	3,92	10,40	1,45	3,36	8,87
				0,50	3,46	4,81	12,76	3,35	4,11	10,86
				0,25	3,83	2,79	7,40	3,62	4,29	11,33
				0,105	2,65	1,96	5,20	3,00	2,24	5,92
				0,053	0,61	0,80	2,12	0,61	0,70	1,85
				<0,053		2,58	6,85		2,54	6,71
CAMPO		5-10	1	4,76		21,45	52,06		19,45	48,06
				2,00	0,40	6,68	16,21	0,56	7,63	18,85
				1,00	1,26	3,17	7,69	1,42	4,06	10,03
				0,50	2,23	3,07	7,45	2,21	2,97	7,34
				0,25	2,4	2,69	6,53	2,50	2,35	5,81
				0,105	1,86	1,78	4,32	2,10	1,94	4,79
				0,053	0,34	0,67	1,63	0,33	0,59	1,46
				<0,053		1,69	4,10		1,48	3,66
CAMPO		5-10	2	4,76		18,80	46,43		18,44	42,74
				2,00	0,62	7,89	19,49	1,12	7,58	17,57
				1,00	1,75	3,74	9,24	2,21	4,56	10,57
				0,50	2,16	3,32	8,20	2,05	3,05	7,07
				0,25	2,54	2,82	6,96	2,27	2,52	5,84
				0,105	2	1,81	4,47	1,93	1,73	4,01
				0,053	0,38	0,50	1,23	0,31	3,60	8,34
				<0,053		1,61	3,98		1,66	3,85
CAMPO		5-10	3	4,76		16,77	43,18		16,77	44,03
				2,00	0,46	6,56	16,89	0,35	6,81	17,88
				1,00	1,18	3,69	9,50	1,28	3,22	8,45
				0,50	2,82	3,66	9,42	3,26	2,96	7,77
				0,25	3,37	3,01	7,75	3,58	2,87	7,53
				0,105	2,6	2,41	6,20	2,87	2,68	7,04
				0,053	0,48	0,63	1,62	0,53	0,60	1,58
				<0,053		2,11	5,43		2,18	5,72
PC AM	0	10-20	1	4,76		12,32	32,77	0,13	13,14	36,05

Apêndice 6. Continuação...

				2,00	0,86	5,68	15,11	0,97	7,31	20,05
				1,00	1,73	4,48	11,92	1,78	4,12	11,30
				0,50	3,14	3,80	10,11	2,79	3,46	9,49
				0,25	3,28	3,92	10,43	2,89	2,32	6,36
				0,105	2,93	2,76	7,34	2,93	2,48	6,80
				0,053	0,63	1,78	4,74	0,63	0,86	2,36
				<0,053		2,85	7,58		2,76	7,57
PC AM	0	10-20	2	4,76		17,37	45,73		16,98	45,09
				2,00	0,85	5,56	14,64	1,54	6,25	16,60
				1,00	2,07	3,48	9,16	1,48	3,07	8,15
				0,50	2,52	3,46	9,11	2,36	2,95	7,83
				0,25	2,57	2,72	7,16	2,56	2,78	7,38
				0,105	2,42	1,79	4,71	2,37	1,77	4,70
				0,053	0,64	0,88	2,32	0,73	0,80	2,12
				<0,053		2,72	7,16		3,06	8,13
PC AM	0	10-20	3	4,76	0,37	12,92	35,19		9,37	26,60
				2,00	1,34	5,82	15,85	1,50	6,28	17,83
				1,00	1,97	4,98	13,57	2,09	3,83	10,87
				0,50	2,65	3,45	9,40	3,05	4,81	13,65
				0,25	2,64	2,82	7,68	3,32	3,49	9,91
				0,105	3,02	2,53	6,89	3,51	3,13	8,88
				0,053	0,72	0,74	2,02	0,82	0,84	2,38
				<0,053		3,45	9,40		3,48	9,88
PC AM	180	10-20	1	4,76	0,31	19,26	50,06		13,80	37,25
				2,00	1,02	6,26	16,27	0,91	5,07	13,69
				1,00	1,66	2,66	6,91	1,62	4,23	11,42
				0,50	2,17	2,13	5,54	2,96	3,75	10,12
				0,25	2,54	2,64	6,86	3,35	4,10	11,07
				0,105	2,55	2,24	5,82	2,80	2,86	7,71
				0,053	0,64	0,79	2,05	0,58	0,56	1,51
				<0,053		2,49	6,47		2,68	7,23
PC AM	180	10-20	2	4,76		11,18	30,01	0,17	15,41	40,10
				2,00	0,86	6,87	18,44	1,36	8,82	22,95
				1,00	2,15	5,72	15,35	1,78	3,78	9,84
				0,50	2,91	5,24	14,06	2,20	2,85	7,42
				0,25	3,09	3,16	8,48	2,16	1,78	4,63
				0,105	2,37	2,21	5,93	2,59	2,63	6,84
				0,053	0,58	0,76	2,04	0,52	0,66	1,72
				<0,053		2,12	5,69		2,50	6,51
PC AM	180	10-20	3	4,76		10,95	30,09		6,97	19,69
				2,00	2,12	8,09	22,23	1,84	8,46	23,91
				1,00	2,17	4,53	12,45	2,32	4,55	12,86
				0,50	2,45	2,74	7,53	2,92	4,59	12,97
				0,25	2,82	2,85	7,83	3,16	3,16	8,93
				0,105	2,86	2,36	6,49	3,33	2,86	8,08
				0,053	0,89	1,22	3,35	1,03	1,21	3,42
				<0,053		3,65	10,03		3,59	10,14
PC AVMC	0	10-20	1	4,76		12,67	35,29		10,60	29,86
				2,00	0,54	5,15	14,35	0,84	5,25	14,79
				1,00	2,47	2,50	6,96	1,76	4,05	11,41
				0,50	3,38	4,70	13,09	3,14	4,12	11,61
				0,25	3,68	4,97	13,84	3,94	5,21	14,68
				0,105	3,38	2,52	7,02	3,30	2,97	8,37
				0,053	0,52	0,88	2,45	0,67	0,91	2,56
				<0,053		2,51	6,99		2,39	6,73
PC AVMC	0	10-20	2	4,76		9,44	26,88		13,24	35,54
				2,00	0,96	6,85	19,50	1,11	8,10	21,74
				1,00	1,85	4,18	11,90	1,59	3,95	10,60
				0,50	3,32	4,02	11,45	2,79	3,47	9,32
				0,25	3,57	3,84	10,93	2,02	2,76	7,41
				0,105	3,76	3,11	8,86	2,83	2,31	6,20

Apêndice 6. Continuação...

				0,053	0,62	1,02	2,90	0,59	0,95	2,55
				<0,053		2,66	7,57		2,47	6,63
PC AVMC	0	10-20	3	4,76		10,17	27,46		7,85	23,17
				2,00	1,00	6,07	16,39	1,09	4,93	14,55
				1,00	1,72	5,87	15,85	1,79	4,95	14,61
				0,50	3,39	5,52	14,91	3,40	4,52	13,34
				0,25	3,22	3,73	10,07	3,86	5,13	15,14
				0,105	3,07	2,40	6,48	3,58	2,77	8,18
				0,053	0,59	0,71	1,92	0,66	0,67	1,98
				<0,053		2,56	6,91		3,06	9,03
PC AVMC	180	10-20	1	4,76	0,49	12,26	32,28		11,90	31,67
				2,00	1,46	7,41	19,51	1,62	8,82	23,47
				1,00	1,86	5,31	13,98	1,88	3,92	10,43
				0,50	2,72	4,10	10,80	2,64	4,13	10,99
				0,25	2,22	2,93	7,71	2,34	3,01	8,01
				0,105	2,23	2,57	6,77	2,34	2,65	7,05
				0,053	0,47	0,88	2,32	0,67	0,52	1,38
				<0,053		2,52	6,64		2,63	7,00
PC AVMC	180	10-20	2	4,76		11,96	30,07		10,66	29,16
				2,00	0,94	7,12	17,90	0,64	6,30	17,23
				1,00	1,74	4,22	10,61	1,77	5,03	13,76
				0,50	3,22	4,76	11,97	3,10	3,98	10,89
				0,25	2,92	4,00	10,06	3,31	4,54	12,42
				0,105	0,7	4,42	11,11	3,19	2,79	7,63
				0,053	0,47	0,74	1,86	0,56	0,77	2,11
				<0,053		2,56	6,44		2,49	6,81
PC AVMC	180	10-20	3	4,76		6,45	18,51	0,45	9,01	24,99
				2,00	0,99	5,33	15,30	1,17	7,05	19,56
				1,00	1,47	4,56	13,09	1,37	3,74	10,37
				0,50	3,49	5,61	16,10	3,44	5,39	14,95
				0,25	4,03	5,12	14,70	3,34	3,90	10,82
				0,105	3,87	3,46	9,93	3,31	2,89	8,02
				0,053	0,76	1,12	3,21	0,71	0,75	2,08
				<0,053		3,19	9,16		3,32	9,21
PD AM	0	10-20	1	4,76	0,15	15,68	40,49	0,25	16,25	43,34
				2,00	1,56	7,91	20,42	0,76	4,48	11,95
				1,00	2,27	4,21	10,87	2,06	3,75	10,00
				0,50	2,55	3,59	9,27	2,53	3,22	8,59
				0,25	2,2	2,65	6,84	3,05	3,83	10,22
				0,105	1,99	1,94	5,01	2,97	2,71	7,23
				0,053	0,4	0,60	1,55	0,50	0,79	2,11
				<0,053		2,15	5,55		2,46	6,56
PD AM	0	10-20	2	4,76		17,43	43,86	0,25	15,11	40,31
				2,00	0,44	6,25	15,73	0,46	5,75	15,34
				1,00	1,17	3,27	8,23	1,13	3,46	9,23
				0,50	2,65	3,30	8,30	2,69	3,64	9,71
				0,25	2,59	3,00	7,55	2,85	3,53	9,42
				0,105	2,61	2,46	6,19	2,73	2,78	7,42
				0,053	0,69	0,90	2,26	0,55	0,79	2,11
				<0,053		3,13	7,88		2,42	6,46
PD AM	0	10-20	3	4,76		13,24	34,43	0,13	14,07	36,92
				2,00	0,60	6,94	18,04	0,56	5,66	14,85
				1,00	1,46	3,16	8,22	1,99	3,52	9,24
				0,50	2,79	3,97	10,32	2,57	3,17	8,32
				0,25	2,62	5,02	13,05	2,84	4,60	12,07
				0,105	3,05	3,19	8,29	0,05	1,75	4,59
				0,053	0,46	0,82	2,13	2,96	3,29	8,63
				<0,053		2,12	5,51		2,05	5,38
PD AM	180	10-20	1	4,76	0,18	12,80	35,34	0,20	10,32	29,57
				2,00	0,82	6,69	18,47	0,69	6,52	18,68
				1,00	1,76	4,40	12,15	1,53	3,99	11,43

Apêndice 6. Continuação...

				0,50	3,19	3,71	10,24	3,65	4,32	12,38
				0,25	3,13	2,96	8,17	3,77	4,25	12,18
				0,105	3,03	2,42	6,68	0,63	0,84	2,41
				0,053	0,61	0,84	2,32	3,39	2,35	6,73
				<0,053		2,40	6,63		2,31	6,62
PD AM	180	10-20	2	4,76	0,10	8,06	21,99		8,74	23,49
				2,00	1,11	6,31	17,22	1,47	6,80	18,27
				1,00	1,79	5,71	15,58	2,25	6,59	17,71
				0,50	2,92	6,93	18,91	2,44	5,13	13,79
				0,25	3,19	4,14	11,30	3,19	3,94	10,59
				0,105	2,36	2,48	6,77	2,51	2,58	6,93
				0,053	0,44	0,71	1,94	0,41	0,79	2,12
				<0,053		2,31	6,30		2,64	7,09
PD AM	180	10-20	3	4,76		10,21	28,42	0,16	8,89	26,15
				2,00	1,29	6,18	17,20	1,14	5,47	16,09
				1,00	2,03	3,73	10,38	1,58	3,29	9,68
				0,50	2,79	3,89	10,83	3,18	4,85	14,26
				0,25	3,93	4,20	11,69	4,48	4,02	11,82
				0,105	3,41	3,22	8,96	4,40	3,83	11,26
				0,053	0,61	1,47	4,09	0,51	0,86	2,53
				<0,053		3,03	8,43		2,79	8,21
PD AVMC	0	10-20	1	4,76		6,46	16,38	0,11	6,51	17,99
				2,00	0,46	5,79	14,68	0,37	7,80	21,55
				1,00	1,50	5,07	12,85	1,75	6,22	17,19
				0,50	4,25	7,61	19,29	3,45	5,34	14,76
				0,25	3,8	4,94	12,52	3,63	4,35	12,02
				0,105	3,16	2,78	7,05	2,69	2,81	7,76
				0,053	0,42	0,66	1,67	0,57	0,67	1,85
				<0,053		6,14	15,56		2,49	6,88
PD AVMC	0	10-20	2	4,76		6,76	18,28		8,94	24,06
				2,00	0,65	5,97	16,14	0,67	8,85	23,82
				1,00	1,70	7,22	19,52	1,63	5,96	16,04
				0,50	3,38	6,26	16,93	2,84	4,49	12,09
				0,25	3,19	4,17	11,28	3,37	2,98	8,02
				0,105	3,05	3,27	8,84	2,87	2,01	5,41
				0,053	0,52	0,74	2,00	0,80	0,91	2,45
				<0,053		2,59	7,00		3,01	8,10
PD AVMC	0	10-20	3	4,76	0,19	9,42	25,11		8,92	24,36
				2,00	0,69	5,81	15,49	0,94	6,37	17,40
				1,00	2,36	4,77	12,72	2,27	4,35	11,88
				0,50	3,05	6,95	18,53	2,29	4,37	11,94
				0,25	2,7	5,20	13,86	2,91	5,17	14,12
				0,105	2,36	2,67	7,12	3,57	4,52	12,35
				0,053	0,47	0,81	2,16	0,52	0,75	2,05
				<0,053		1,88	5,01		2,16	5,90
PD AVMC	180	10-20	1	4,76	0,17	7,88	21,42	0,15	6,33	17,86
				2,00	0,55	7,68	20,88	0,70	7,73	21,81
				1,00	1,40	5,93	16,12	1,39	5,43	15,32
				0,50	3,48	6,13	16,67	4,18	6,90	19,47
				0,25	3,87	3,18	8,65	3,86	4,32	12,19
				0,105	2,89	2,13	5,79	2,66	1,88	5,30
				0,053	0,69	0,84	2,28	0,40	0,42	1,19
				<0,053		3,01	8,18		2,43	6,86
PD AVMC	180	10-20	2	4,76		6,31	17,52		6,95	19,08
				2,00	0,69	5,92	16,44	0,72	6,80	18,67
				1,00	1,79	6,27	17,41	1,83	6,31	17,33
				0,50	4,22	7,49	20,80	3,22	5,38	14,77
				0,25	3,16	4,18	11,61	3,37	4,53	12,44
				0,105	2,77	2,23	6,19	2,96	3,12	8,57
				0,053	0,57	0,92	2,55	0,48	0,73	2,00
				<0,053		2,69	7,47		2,60	7,14

Apêndice 6. Continuação...

PD AVMC	180	10-20	3	4,76		7,36	21,32		5,76	17,21
				2,00	1,45	4,70	13,62	1,08	4,76	14,22
				1,00	2,57	4,85	14,05	2,38	3,62	10,82
				0,50	3,17	5,86	16,98	3,31	6,02	17,99
				0,25	4,13	5,36	15,53	3,27	5,76	17,21
				0,105	3,42	3,00	8,69	4,11	4,25	12,70
				0,053	0,75	1,01	2,93	0,52	0,97	2,90
				<0,053		2,38	6,89		2,33	6,96
PANGOLA		10-20	1	4,76		11,92	31,71		17,06	44,19
				2,00	0,24	6,07	16,15	0,67	7,06	18,29
				1,00	1,48	4,80	12,77	1,28	3,36	8,70
				0,50	3,74	5,69	15,14	2,98	3,25	8,42
				0,25	3,41	3,53	9,39	3,16	2,55	6,60
				0,105	2,72	2,60	6,92	2,58	2,06	5,34
				0,053	0,41	0,71	1,89	0,60	0,77	1,99
				<0,053		2,27	6,04		2,50	6,48
PANGOLA		10-20	2	4,76		15,92	42,42		13,26	34,20
				2,00	0,55	6,59	17,56	0,92	8,72	22,49
				1,00	1,69	3,79	10,10	1,46	5,67	14,62
				0,50	3,36	3,32	8,85	3,19	4,21	10,86
				0,25	2,79	2,83	7,54	3,10	2,43	6,27
				0,105	2,26	2,27	6,05	2,08	1,79	4,62
				0,053	0,4	0,68	1,81	0,46	0,63	1,62
				<0,053		2,13	5,68		2,06	5,31
PANGOLA		10-20	3	4,76		15,03	39,76	0,08	11,31	31,33
				2,00	0,75	7,36	19,47	0,83	5,66	15,68
				1,00	1,59	4,66	12,33	1,49	4,11	11,39
				0,50	2,99	3,58	9,47	3,71	5,31	14,71
				0,25	3,38	2,75	7,28	3,40	3,90	10,80
				0,105	2,46	1,64	4,34	2,53	2,62	7,26
				0,053	0,57	0,55	1,46	0,43	0,74	2,05
				<0,053		2,23	5,90		2,45	6,79
CAMPO		10-20	1	4,76		15,33	40,28		17,87	45,06
				2,00	0,87	7,43	19,52	0,55	6,33	15,96
				1,00	1,66	3,55	9,33	1,78	4,13	10,41
				0,50	2,21	3,59	9,43	2,29	3,43	8,65
				0,25	2,44	3,32	8,72	2,57	3,23	8,14
				0,105	2,12	2,46	6,46	2,11	2,34	5,90
				0,053	0,35	0,63	1,66	0,29	0,44	1,11
				<0,053		1,75	4,60		1,89	4,77
CAMPO		10-20	2	4,76		16,78	41,27		19,47	46,13
				2,00	1,78	8,62	21,20	1,60	9,82	23,26
				1,00	2,12	4,45	10,94	1,42	2,83	6,70
				0,50	1,59	3,50	8,61	1,44	4,14	9,81
				0,25	1,91	2,81	6,91	1,19	1,75	4,15
				0,105	1,65	2,03	4,99	1,37	1,70	4,03
				0,053	0,42	0,75	1,84	0,40	0,74	1,75
				<0,053		1,72	4,23		1,76	4,17
CAMPO		10-20	3	4,76		19,19	47,62		16,25	42,52
				2,00	0,25	5,33	13,23	0,27	6,76	17,69
				1,00	1,10	3,06	7,59	1,15	2,79	7,30
				0,50	2,68	3,94	9,78	2,82	3,19	8,35
				0,25	3,03	3,19	7,92	5,13	3,46	9,05
				0,105	2,33	2,49	6,18	8,75	2,57	6,72
				0,053	0,49	0,85	2,11	0,56	0,87	2,28
				<0,053		2,25	5,58		2,33	6,10

Apêndice 7. Massa de agregados e de partículas simples em classes de agregados na determinação de estabilidade de agregados em água para um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo do solo. PC= preparo convencional, PD= plantio direto, T= Trigo, S= Soja, A=aveia, M=milho.

Sistema de uso e manejo	Prof	Bloco	Peneira	Subamostra A			Subamostra B		
				Partículas simples	Agregados		Partículas simples	Agregados	
	--cm--		-----mm-----	-----g-----	-----g-----	-----%-----	-----g-----	-----g-----	-----%-----
PC TS	0-5	1	4,76		15,91	34,29		19,13	41,36
			2,00		10,93	23,56		7,29	15,76
			1,00	0,04	7,04	15,17	0,06	6,42	13,88
			0,50	0,14	4,50	9,70	0,12	5,81	12,56
			0,25	0,18	2,57	5,54	0,18	3,18	6,88
			0,105	0,15	2,59	5,58	0,17	1,93	4,17
			0,053	0,04	0,72	1,55	0,02	0,51	1,10
			<0,053		2,14	4,61		1,98	4,28
PC TS	0-5	2	4,76		13,39	27,94		11,83	24,98
			2,00	0,02	9,09	18,97		10,28	21,71
			1,00	0,01	8,63	18,01	0,07	9,19	19,40
			0,50	0,12	7,91	16,51	0,15	7,97	16,83
			0,25	0,22	3,80	7,93	0,26	3,63	7,66
			0,105	0,06	2,44	5,09	0,16	1,96	4,14
			0,053	0,02	0,72	1,50	0,07	0,55	1,16
			<0,053		1,94	4,05		1,95	4,12
PC AM	0-5	1	4,76		17,55	37,78		13,81	29,64
			2,00	0,04	5,20	11,19	0,05	6,55	14,06
			1,00	0,08	5,61	12,08	0,11	7,37	15,82
			0,50	0,10	6,46	13,91	0,14	8,16	17,51
			0,25	0,17	4,43	9,54	0,17	4,31	9,25
			0,105	0,3	4,07	8,76	0,25	3,54	7,60
			0,053	0,05	1,03	2,22	0,03	0,90	1,93
			<0,053		2,10	4,52		1,96	4,21
PC AM	0-5	2	4,76		12,15	26,60		11,72	25,78
			2,00	0,10	6,73	14,74	0,08	6,86	15,09
			1,00	0,13	7,28	15,94	0,11	7,33	16,12
			0,50	0,20	8,77	19,20	0,21	8,65	19,03
			0,25	0,22	4,63	10,14	0,26	4,62	10,16
			0,105	0,23	3,22	7,05	0,22	3,35	7,37
			0,053	0,11	0,78	1,71	0,15	0,82	1,80
			<0,053		2,11	4,62		2,11	4,64
PD TS	0-5	1	4,76		27,57	60,10		27,33	60,40
			2,00	0,01	7,21	15,72	0,13	6,64	14,67
			1,00	0,03	3,33	7,26	0,09	3,47	7,67
			0,50	0,07	4,80	10,46	0,10	3,11	6,87
			0,25	0,05	0,22	0,48	0,10	1,84	4,07
			0,105	0,1	0,82	1,79	0,08	1,16	2,56
			0,053	0,05	0,32	0,70	0,05	0,38	0,84
			<0,053		1,60	3,49		1,32	2,92
PD TS	0-5	2	4,76		22,40	48,62		20,65	45,43
			2,00		7,87	17,08	0,25	9,62	21,17
			1,00	0,11	5,47	11,87	0,10	5,55	12,21
			0,50	0,12	4,49	9,75	0,13	4,57	10,06
			0,25	0,12	2,38	5,17	0,11	2,08	4,58
			0,105	0,1	1,51	3,28	0,09	1,19	2,62
			0,053	0,08	0,50	1,09	0,03	0,42	0,92
			<0,053		1,45	3,15		1,37	3,01

Apêndice 7. Continuação...

PD AM	0-5	1	4,76		28,59	62,11		25,69	55,45
			2,00		5,80	12,60		8,92	19,25
			1,00	0,06	3,27	7,10	0,09	3,52	7,60
			0,50	0,11	2,88	6,26	0,13	2,86	6,17
			0,25	0,1	1,57	3,41	0,12	1,94	4,19
			0,105	0,19	1,68	3,65	0,14	1,20	2,59
			0,053	0,09	0,46	1,00	0,11	0,45	0,97
			<0,053		1,78	3,87		1,75	3,78
PD AM	0-5	2	4,76		24,97	54,22		23,09	48,88
			2,00		7,84	17,02	0,08	11,17	23,65
			1,00	0,07	4,53	9,84	0,08	4,91	10,39
			0,50	0,09	3,40	7,38	0,10	3,02	6,39
			0,25	0,12	2,06	4,47	0,09	1,45	3,07
			0,105	0,12	1,39	3,02	0,07	1,66	3,51
			0,053	0,04	0,52	1,13	0,03	0,47	0,99
			<0,053		1,34	2,91		1,47	3,11
SETÁRIA	0-5	1	4,76		29,12	61,84		24,78	52,77
			2,00	0,06	5,47	11,62		6,30	13,42
			1,00	0,07	3,36	7,14	0,10	4,05	8,62
			0,50	0,05	3,56	7,56	0,10	4,80	10,22
			0,25	0,09	2,17	4,61	0,12	3,52	7,50
			0,105	0,1	1,73	3,67	0,12	1,72	3,66
			0,053		0,44	0,93	0,05	0,53	1,13
			<0,053		1,24	2,63		1,26	2,68
SETÁRIA	0-5	2	4,76		28,79	60,51		29,96	64,06
			2,00	0,02	6,27	13,18		4,63	9,90
			1,00	0,02	3,26	6,85	0,05	2,41	5,15
			0,50	0,06	3,19	6,70	0,07	3,99	8,53
			0,25	0,09	2,31	4,85	0,11	2,65	5,67
			0,105	0,17	1,81	3,80	0,15	1,35	2,89
			0,053	0,05	0,53	1,11	0,04	0,46	0,98
			<0,053		1,42	2,98		1,32	2,82
MATA	0-5	1	4,76		22,69	49,28		22,74	48,92
			2,00	0,02	6,79	14,75	0,19	7,36	15,83
			1,00	0,10	4,27	9,27	0,09	4,28	9,21
			0,50	0,19	5,50	11,95	0,10	6,32	13,60
			0,25	0,19	3,40	7,38	0,23	3,57	7,68
			0,105	0,38	2,25	4,89	0,29	1,20	2,58
			0,053		0,32	0,70	0,03	0,24	0,52
			<0,053		0,82	1,78		0,77	1,66
MATA	0-5	2	4,76		26,96	59,23		25,28	55,90
			2,00	0,04	8,19	17,99	0,12	9,22	20,39
			1,00	0,10	3,87	8,50	0,07	3,68	8,14
			0,50	0,07	2,73	6,00	0,08	3,17	7,01
			0,25	0,11	1,68	3,69	0,15	1,59	3,52
			0,105	0,22	0,98	2,15	0,21	1,15	2,54
			0,053	0,04	0,26	0,57	0,03	0,31	0,69
			<0,053		0,85	1,87		0,82	1,81
CAMPO	0-5	1	4,76		23,97	52,01		23,67	50,84
			2,00	0,62	9,37	20,33	0,30	9,32	20,02
			1,00	0,29	5,03	10,91	0,43	5,10	10,95
			0,50	0,24	3,55	7,70	0,28	4,17	8,96
			0,25	0,34	1,62	3,51	0,44	2,02	4,34
			0,105	0,29	1,16	2,52	0,20	0,94	2,02

Apêndice 7. Continuação...

			0,053	0,04	0,34	0,74	0,04	0,30	0,64
			<0,053		1,05	2,28		1,04	2,23
CAMPO	0-5	2	4,76		22,24	47,11		23,86	50,83
			2,00	0,16	9,45	20,02	0,16	10,01	21,33
			1,00	0,15	6,48	13,73	0,15	5,86	12,48
			0,50	0,24	4,31	9,13	0,15	3,11	6,63
			0,25	0,34	2,07	4,38	0,35	1,75	3,73
			0,105	0,24	1,17	2,48	0,23	0,98	2,09
			0,053	0,05	0,34	0,72	0,06	0,24	0,51
			<0,053		1,15	2,44		1,13	2,41
PC TS	5-10	1	4,76		19,85	43,11		19,48	42,45
			2,00		8,33	18,09	0,01	7,68	16,74
			1,00	0,05	5,52	11,99	0,07	5,77	12,57
			0,50	0,15	4,93	10,71	0,17	5,12	11,16
			0,25	0,23	2,96	6,43	0,19	3,16	6,89
			0,105	0,17	1,73	3,76	0,25	2,01	4,38
			0,053	0,03	0,55	1,19	0,03	0,57	1,24
			<0,053		2,17	4,71		2,10	4,58
PC TS	5-10	2	4,76		19,14	41,16		24,28	51,88
			2,00	0,02	7,42	15,96		6,54	13,97
			1,00	0,08	6,46	13,89	0,11	5,13	10,96
			0,50	0,10	5,79	12,45	0,13	3,91	8,35
			0,25	0,26	2,70	5,81	0,15	2,22	4,74
			0,105	0,13	2,27	4,88	0,14	1,67	3,57
			0,053	0,05	0,51	1,10	0,03	0,65	1,39
			<0,053		2,21	4,75		2,40	5,13
PC AM	5-10	1	4,76		24,95	51,60		16,99	35,64
			2,00	0,04	4,79	9,91	0,02	7,22	15,15
			1,00	0,08	3,98	8,23	0,07	6,53	13,70
			0,50	0,08	5,28	10,92	0,15	7,25	15,21
			0,25	0,17	4,03	8,34	0,20	4,29	9,00
			0,105	0,17	2,48	5,13	0,20	2,58	5,41
			0,053	0,06	0,73	1,51	0,09	0,71	1,49
			<0,053		2,11	4,36		2,10	4,41
PC AM	5-10	2	4,76		13,07	27,22		20,59	43,06
			2,00		6,89	14,35		7,48	15,64
			1,00	0,10	7,99	16,64	0,05	5,73	11,98
			0,50	0,13	8,45	17,60	0,09	5,22	10,92
			0,25	0,16	4,62	9,62	0,13	3,25	6,80
			0,105	0,26	4,16	8,66	0,23	2,57	5,37
			0,053	0,03	0,78	1,62	0,07	0,70	1,46
			<0,053		2,06	4,29		2,28	4,77
PD TS	5-10	1	4,76		23,80	52,11		24,34	53,33
			2,00		8,38	18,35	0,08	11,33	24,82
			1,00	0,12	5,13	11,23	0,04	4,35	9,53
			0,50	0,09	3,31	7,25	0,03	2,42	5,30
			0,25	0,09	1,72	3,77	0,06	0,74	1,62
			0,105	0,11	1,56	3,42	0,08	0,66	1,45
			0,053	0,04	0,41	0,90	0,03	0,31	0,68
			<0,053		1,36	2,98		1,49	3,26
PD TS	5-10	2	4,76		12,40	26,84		19,26	40,43
			2,00	0,12	11,09	24,00	0,02	10,37	21,77
			1,00	0,15	8,57	18,55	0,08	7,15	15,01
			0,50	0,17	6,34	13,72	0,16	5,32	11,17

Apêndice 7. Continuação...

			0,25	0,07	3,33	7,21	0,12	1,93	4,05
			0,105	0,18	2,50	5,41	0,09	1,74	3,65
			0,053		0,51	1,10	0,03	0,40	0,84
			<0,053		1,46	3,16		1,47	3,09
PD AM	5-10	1	4,76		15,54	32,90		18,83	39,55
			2,00	0,02	10,71	22,68	0,01	11,50	24,15
			1,00	0,10	8,71	18,44	0,07	7,68	16,13
			0,50	0,19	5,76	12,20	0,17	4,29	9,01
			0,25	0,15	2,32	4,91	0,11	1,78	3,74
			0,105	0,21	1,81	3,83	0,17	1,27	2,67
			0,053	0,06	0,52	1,10	0,08	0,43	0,90
			<0,053		1,86	3,94		1,83	3,84
PD AM	5-10	2	4,76		21,99	46,90		29,84	62,70
			2,00		10,35	22,07	0,05	7,90	16,60
			1,00	0,07	5,99	12,77	0,07	4,08	8,57
			0,50	0,12	3,83	8,17	0,05	2,35	4,94
			0,25	0,1	1,46	3,11	0,06	0,87	1,83
			0,105	0,1	1,28	2,73	0,04	0,74	1,55
			0,053	0,05	0,42	0,90	0,03	0,34	0,71
			<0,053		1,57	3,35		1,47	3,09
SETÁRIA	5-10	1	4,76		23,39	50,28		24,08	51,54
			2,00		8,25	17,73		7,70	16,48
			1,00	0,07	4,45	9,57	0,05	3,97	8,50
			0,50	0,07	3,41	7,33	0,07	3,57	7,64
			0,25	0,09	2,87	6,17	0,10	2,85	6,10
			0,105	0,13	2,03	4,36	0,12	2,31	4,94
			0,053	0,04	0,58	1,25	0,04	0,70	1,50
			<0,053		1,54	3,31		1,54	3,30
SETÁRIA	5-10	2	4,76		20,12	42,00		22,88	46,89
			2,00		8,99	18,77		10,24	20,98
			1,00	0,08	5,77	12,05	0,02	5,67	11,62
			0,50	0,11	4,63	9,67	0,06	3,89	7,97
			0,25	0,1	2,95	6,16	0,13	1,96	4,02
			0,105	0,21	2,89	6,03	0,14	1,65	3,38
			0,053	0,03	0,84	1,75	0,04	0,77	1,58
			<0,053		1,71	3,57		1,74	3,57
MATA	5-10	1	4,76		30,15	63,33		28,16	60,16
			2,00	0,07	9,65	20,27	0,04	8,83	18,86
			1,00	0,05	3,79	7,96	0,10	4,07	8,69
			0,50	0,07	1,62	3,40	0,11	2,52	5,38
			0,25	0,08	0,78	1,64	0,11	1,34	2,86
			0,105	0,06	0,48	1,01	0,14	0,74	1,58
			0,053		0,22	0,46	0,04	0,23	0,49
			<0,053		0,92	1,93		0,92	1,97
MATA	5-10	2	4,76		26,78	59,27		31,52	68,85
			2,00	0,03	7,89	17,46	0,04	8,16	17,82
			1,00	0,13	3,67	8,12	0,10	2,24	4,89
			0,50	0,10	2,73	6,04	0,13	1,26	2,75
			0,25	0,13	1,78	3,94	0,08	0,75	1,64
			0,105	0,27	1,07	2,37	0,12	0,54	1,18
			0,053	0,02	0,25	0,55	0,03	0,18	0,39
			<0,053		1,01	2,24		1,13	2,47
CAMPO	5-10	1	4,76		26,83	57,62		27,24	58,53
			2,00	0,31	12,20	26,20	0,61	11,71	25,16

Apêndice 7. Continuação...

			1,00	0,37	4,39	9,43	0,37	3,96	8,51
			0,50	0,17	1,19	2,56	0,23	1,39	2,99
			0,25	0,16	0,44	0,95	0,21	0,54	1,16
			0,105	0,13	0,40	0,86	0,10	0,47	1,01
			0,053	0,05	0,20	0,43	0,07	0,18	0,39
			<0,053		0,91	1,95		1,05	2,26
CAMPO	5-10	2	4,76		16,33	34,70		18,83	40,09
			2,00	0,12	13,22	28,09	0,04	12,10	25,76
			1,00	0,23	7,35	15,62	0,27	6,99	14,88
			0,50	0,17	4,28	9,09	0,20	4,32	9,20
			0,25	0,39	2,10	4,46	0,31	2,05	4,36
			0,105	0,35	2,11	4,48	0,23	1,16	2,47
			0,053	0,04	0,44	0,93	0,04	0,38	0,81
			<0,053		1,23	2,61		1,14	2,43
PC TS	10-20	1	4,76		16,51	35,83		14,65	31,74
			2,00	0,10	9,31	20,20		10,49	22,73
			1,00	0,08	7,56	16,41	0,05	8,82	19,11
			0,50	0,12	5,60	12,15	0,09	6,28	13,61
			0,25	0,18	2,59	5,62	0,23	2,38	5,16
			0,105	0,15	2,04	4,43	0,15	1,38	2,99
			0,053		0,48	1,04	0,02	0,43	0,93
			<0,053		1,99	4,32		1,72	3,73
PC TS	10-20	2	4,76		18,15	38,36		19,36	40,25
			2,00	0,03	10,51	22,21		11,63	24,18
			1,00	0,05	8,01	16,93	0,10	6,44	13,39
			0,50	0,08	4,88	10,31	0,08	4,44	9,23
			0,25	0,11	2,14	4,52	0,09	2,29	4,76
			0,105	0,1	1,38	2,92	0,11	1,67	3,47
			0,053	0,04	0,45	0,95	0,06	0,46	0,96
			<0,053		1,80	3,80		1,81	3,76
PC AM	10-20	1	4,76		20,80	44,14		17,44	37,59
			2,00	0,09	12,08	25,64	0,01	13,40	28,89
			1,00	0,11	5,28	11,21	0,07	6,64	14,31
			0,50	0,14	3,01	6,39	0,02	3,64	7,85
			0,25	0,12	1,41	2,99	0,08	1,57	3,38
			0,105	0,16	1,79	3,80	0,09	1,45	3,13
			0,053	0,08	0,54	1,15		0,47	1,01
			<0,053		2,21	4,69		1,78	3,84
PC AM	10-20	2	4,76		16,56	34,85		21,41	44,68
			2,00	0,03	8,69	18,29		7,76	16,19
			1,00	0,11	6,74	14,18	0,05	5,53	11,54
			0,50	0,12	6,64	13,97	0,09	5,28	11,02
			0,25	0,18	3,71	7,81	0,13	3,16	6,59
			0,105	0,19	2,60	5,47	0,16	2,25	4,70
			0,053	0,03	0,69	1,45	0,03	0,64	1,34
			<0,053		1,89	3,98		1,89	3,94
PD TS	10-20	1	4,76		26,12	57,24		11,12	24,07
			2,00		9,87	21,63	0,01	11,91	25,78
			1,00	0,03	3,32	7,28	0,03	9,38	20,31
			0,50	0,12	2,06	4,51	0,15	6,36	13,77
			0,25	0,09	1,18	2,59	0,14	3,23	6,99
			0,105	0,1	1,18	2,59	0,14	2,04	4,42
			0,053	0,05	0,46	1,01	0,05	0,57	1,23
			<0,053		1,44	3,16		1,58	3,42

Apêndice 7. Continuação...

PD TS	10-20	2	4,76		11,00	23,41		11,10	23,78
			2,00	0,01	12,20	25,97		13,06	27,98
			1,00	0,12	10,75	22,88	0,14	9,19	19,69
			0,50	0,14	6,52	13,88	0,12	6,69	14,33
			0,25	0,13	2,58	5,49	0,18	2,94	6,30
			0,105	0,04	1,75	3,72	0,11	1,69	3,62
			0,053		0,51	1,09	0,03	0,49	1,05
			<0,053		1,67	3,55		1,52	3,26
PD AM	10-20	1	4,76		12,43	26,08		19,95	42,80
			2,00		14,34	30,09		11,82	25,36
			1,00	0,09	10,30	21,61	0,09	6,50	13,95
			0,50	0,10	4,61	9,67	0,10	3,84	8,24
			0,25	0,08	1,65	3,46	0,11	1,51	3,24
			0,105	0,17	1,60	3,36	0,08	0,96	2,06
			0,053	0,02	0,43	0,90	0,04	0,41	0,88
			<0,053		2,30	4,83		1,62	3,48
PD AM	10-20	2	4,76		8,83	18,94		19,10	41,05
			2,00		12,10	25,95		12,44	26,74
			1,00	0,15	11,49	24,65	0,04	5,57	11,97
			0,50	0,17	6,89	14,78	0,11	3,87	8,32
			0,25	0,12	3,00	6,44	0,15	1,68	3,61
			0,105	0,12	1,86	3,99	0,10	1,41	3,03
			0,053	0,03	0,61	1,31	0,06	0,58	1,25
			<0,053		1,84	3,95		1,88	4,04
SETÁRIA	10-20	1	4,76		25,70	55,01		23,71	50,95
			2,00		10,19	21,81		9,83	21,12
			1,00	0,03	3,50	7,49	0,06	4,30	9,24
			0,50	0,08	2,76	5,91	0,06	3,37	7,24
			0,25	0,09	1,01	2,16	0,09	1,59	3,42
			0,105	0,09	1,19	2,55	0,10	1,38	2,97
			0,053	0,03	0,49	1,05	0,03	0,56	1,20
			<0,053		1,88	4,02		1,80	3,87
SETÁRIA	10-20	2	4,76		22,71	47,11		23,42	48,80
			2,00		9,13	18,94		8,06	16,80
			1,00	0,04	5,74	11,91	0,03	5,37	11,19
			0,50	0,08	3,99	8,28	0,04	4,20	8,75
			0,25	0,16	2,35	4,87	0,19	2,44	5,08
			0,105	0,16	1,69	3,51	0,16	1,90	3,96
			0,053		0,69	1,43	0,01	0,72	1,50
			<0,053		1,91	3,96		1,88	3,92
MATA	10-20	1	4,76		25,22	54,14		28,38	61,11
			2,00	0,03	10,75	23,08	0,02	9,99	21,51
			1,00	0,10	4,33	9,30	0,09	2,44	5,25
			0,50	0,07	2,45	5,26	0,10	1,92	4,13
			0,25	0,11	1,22	2,62	0,11	1,34	2,89
			0,105	0,24	1,13	2,43	0,19	0,90	1,94
			0,053	0,05	0,29	0,62	0,06	0,26	0,56
			<0,053		1,19	2,55		1,21	2,61
MATA	10-20	2	4,76		26,80	58,80		17,25	37,35
			2,00	0,40	11,22	24,62		11,78	25,50
			1,00	0,17	3,25	7,13	0,23	6,44	13,94
			0,50	0,10	1,37	3,01	0,15	4,70	10,18
			0,25	0,12	0,88	1,93	0,25	3,02	6,54
			0,105	0,19	0,61	1,34	0,27	1,56	3,38

Apêndice 7. Continuação...

			0,053	0,06	0,22	0,48	0,18	0,18	0,39
			<0,053		1,23	2,70		1,26	2,73
CAMPO	10-20	1	4,76		26,82	56,85		22,34	48,05
			2,00	0,41	11,17	23,68	0,38	11,76	25,30
			1,00	0,45	4,36	9,24	0,41	4,55	9,79
			0,50	0,22	1,63	3,45	0,29	2,79	6,00
			0,25	0,23	0,68	1,44	0,36	1,98	4,26
			0,105	0,16	0,92	1,95	0,26	1,37	2,95
			0,053		0,32	0,68	0,08	0,42	0,90
			<0,053		1,28	2,71		1,28	2,75
CAMPO	10-20	2	4,76		23,04	48,28		25,10	52,70
			2,00	0,06	12,48	26,15	0,02	12,65	26,56
			1,00	0,16	6,52	13,66	0,16	5,12	10,75
			0,50	0,18	2,46	5,16	0,10	2,01	4,22
			0,25	0,21	0,98	2,05	0,10	0,78	1,64
			0,105	0,14	0,74	1,55	0,15	0,61	1,28
			0,053	0,05	0,32	0,67	0,04	0,26	0,55
			<0,053		1,18	2,47		1,10	2,31

12 RESUMO BIOGRÁFICO

Paulo Cesar Conceição, filho de João Doracy da Conceição e Laudelina Aguiar da Conceição, nasceu a 30 de dezembro de 1969 em Jóia (RS), onde realizou seus estudos de 1º e 2º graus. No período de 1987 a 1990 trabalhou como professor no ensino fundamental da Escola Municipal de 1º Grau incompleto Coronel Lima do município de Jóia com turmas de 1ª a 4ª séries e, na Escola Estadual de 1º grau Cacique Sepé, com turmas de 5ª e 6ª séries. Em 1991 ingressou no curso de Agronomia na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), graduando-se em 1995. De 1996 a 1999 trabalhou como engenheiro agrônomo autônomo, ingressando no Mestrado em Agronomia em 2000, também na UFSM, na área de uso, manejo e conservação do solo sob orientação do Prof. Dr. Telmo Jorge Carneiro Amado. Em junho de 2002 concluiu seu mestrado, tendo ingressado em agosto de 2002 no curso de Doutorado do Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, sob orientação do Professor Dr. Cimélio Bayer. É membro da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.