

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

**PROTEÇÃO FÍSICA DA MATÉRIA ORGÂNICA EM LATOSSOLOS  
SOB SISTEMAS COM PASTAGENS  
NA REGIÃO DO CERRADO BRASILEIRO**

**Madalena Boeni  
(Tese)**

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

**PROTEÇÃO FÍSICA DA MATÉRIA ORGÂNICA EM LATOSSOLOS  
SOB SISTEMAS COM PASTAGENS  
NA REGIÃO DO CERRADO BRASILEIRO**

MADALENA BOENI  
Engenheira Agrônoma (UFSM)  
M.Sc. Ciência do Solo (UFRGS)

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

Porto Alegre (RS), Brasil  
Abril de 2007

Página de homologação

*Dedico este trabalho aos grandes amores da minha vida,  
meu marido, Silvio A. Genro Jr.  
e nosso filho Fabrício, bebezinho querido.*

## AGRADECIMENTOS

A DEUS por estar sempre presente, iluminando meus passos a cada dia.

Ao Professor Cimélio Bayer, pela dedicada orientação, incentivo e motivação para a realização deste trabalho.

Ao Professor João Mielniczuk, quem eu considero um exemplo de pessoa e pelo qual sinto muito carinho e admiração, obrigada pelo convívio.

À Professora Deborah P. Dick pela vibração positiva e motivação que nos transmite, pelo incentivo a buscar, o que às vezes, parece estar fora do nosso alcance e também por me fazer enxergar, na disciplina de Compostos de Coordenação, que a Química do Solo não é um “bixo papão”.

À Professora Heike Knicker pela recepção e pela supervisão durante o doutorado sanduíche na Technische Universität München, Alemanha.

Ao PPG Ciência do Solo/UFRGS e aos professores pela acolhida durante estes quatro anos e pela formação acadêmica.

Aos funcionários do Departamento de Solos/UFRGS, em especial ao Jader, Paulo e Adão pelo apoio e ao Luiz Antonio (Tonho) pelas horas dedicadas em frente ao analisador de carbono, pela tranquilidade transmitida e apoio.

A todos os professores, funcionários e estudantes de Pós-Graduação da Technische Universität München, em especial à Dra. Angelica Kölbl, Gabriele Albert, Maria Greiner, Ulrike Maul, Petra Müller, Elfriede Schörk, Karin Eusterhues e Philipp Jaesche, Alexander Dümig, Britt Pagels, Katrin Wolf, André Hilscher, Xiao Chen e Sha Qi, pelo clima acolhedor e amigável e pela pronta disposição a auxiliar em eventuais necessidades.

Aos pesquisadores Júlio Cesar Salton e Amoacy Fabrício (Embrapa Agropecuária Oeste), Manoel Macedo (Embrapa Gado de Corte) e Dirceu Broch (Fundação MS) pela disponibilização dos experimentos de suas instituições e por fornecer todo o apoio e infra-estrutura necessária à coleta das amostras.

À CAPES pela bolsa de doutorado e à CAPES/DAAD, pela bolsa de doutorado sanduíche.

Ao Professor Alberto Inda Vasconcelos Junior, pelo apoio nas análises de mineralogia, pelas discussões e amizade ao longo deste percurso.

Aos bolsistas Diego, Siumar e Alano, pelo auxílio nas atividades de laboratório.

A todos os colegas do PPG Ciência do Solo/UFRGS, pela convivência, amizade e apoio nos momentos difíceis, em especial à “grande família” do manejo do solo, Fabiano, Frederico, Josi, Paulo Cesar (PC), Júlio, Nilvânia, Gustavo T., Aurélio, Juliana, Carlos, Michely, Elisandra, Jeferson, Fabíola, Falberni, Adriana e Mirla, pela prazerosa convivência e pelos inesquecíveis momentos de trabalho e também de lazer, regados a chimarrão, enfim, por tudo o que representam para mim.

À amiga-irmã Adri, que mesmo não morando em Porto Alegre sempre esteve presente e sempre estará, independente da distância.

Ao grande amigo Paulo Cesar, por nossas longas discussões e mateadas no laboratório que muito contribuíram para o meu crescimento e para a realização deste trabalho.

Ao amigo de graduação, mestrado, parte do doutorado e de toda a vida, Jeferson, um exemplo de profissionalismo, valorização do conhecimento, amizade e superação.

Aos meus irmãos Luis Fernando, Marilisa, Mateus, Marta e Isabel Cristina, cunhados, sobrinhos e afilhados, pela alegria e entusiasmo sempre transmitidos.

Aos meus pais Arneldo e Vilma Maria, pelo carinho, trabalho e dedicação aos filhos. À Tia Mana (Dona Olívia), minha “segunda mãe”, pelo constante e incansável exemplo de doação, ensinamento, encorajamento e orações. À Tia Nina, pelo exemplo de bondade e por me acompanhar em oração.

À Eleonora, Menezes, Luciana, Fernando, Rafaele, Fernanda, Vó Ely, Andréia e Vô Francisco, minha outra família, pela acolhida, carinho e apoio.

Ao Silvio, meu marido e meu porto seguro, obrigada por proporcionar os momentos de maior felicidade vividos ao longo de minha vida e pelo presente mais maravilhoso que já recebi, nosso filho.

# PROTEÇÃO FÍSICA DA MATÉRIA ORGÂNICA EM LATOSSOLOS SOB SISTEMAS COM PASTAGENS NA REGIÃO DO CERRADO BRASILEIRO <sup>1/</sup>

Autor: Madalena Boeni

Orientador: Prof. Cimélio Bayer

## RESUMO

A utilização de pastagens com espécies perenes, permanentes ou em sistema de rotação lavoura-pastagem, pode ser uma alternativa para o manejo de solos na região tropical do Cerrado Brasileiro. Neste estudo, objetivou-se avaliar o efeito dessa prática nos estoques de carbono orgânico (CO) do solo e na agregação do solo (0-5, 5-10 e 10-20 cm), bem como a magnitude da proteção física na estabilidade da matéria orgânica (MO) e a qualidade da MO do solo, avaliadas a partir de técnicas de fracionamento físico densimétrico e por ressonância magnética nuclear do C<sup>13</sup> (<sup>13</sup>C NMR), respectivamente. A pesquisa foi realizada em três experimentos de longa duração (9 a 11 anos), em Latossolos com teor de argila variando entre 360 e 630 g kg<sup>-1</sup>, nos municípios de Dourados, Maracaju e Campo Grande, no Estado do Mato Grosso do Sul. Os experimentos consistiram de sistema de culturas anuais em plantio direto (PD), sistema de rotação lavoura (soja)-pastagem (braquiária) em plantio direto (PD2P2 em Dourados e Maracaju e PD1P3 em Campo Grande) e sistema pastagem permanente de braquiária cultivada solteira (PP, nos três locais) e consorciada com *Stylosanthes guianensis* (PP+L, somente em Campo Grande). Os solos sob pastagem permanente e rotação lavoura-pastagem apresentaram estoques de CO (0-20 cm) variando entre 41-70 Mg ha<sup>-1</sup>, os quais foram relacionados ao contínuo aporte de resíduos vegetais pela pastagem. A pastagem contribuiu para a maior estabilidade de agregados, o que resultou num significativo efeito de proteção física da MO nos solos sob pastagens, evidenciado a partir dos estoques de carbono na fração leve oclusa da MO do solo. Estimou-se que de 22 a 42% do acúmulo de MO nos solos sob pastagem foi decorrente da proteção física da MO, em comparação ao solos sob culturas anuais em PD. Os estoques de carbono na fração pesada da MO do solo indicam que a estabilidade química da MO associada a componentes minerais do solo foi um importante mecanismo de estabilização da MO nestes solos oxidicos e com textura argilosa. A principal forma de carbono na MO dos três solos foi o C O-alquil, indicando a presença de estruturas oriundas de material vegetal original adicionado ao solo e preservado da decomposição microbiana. A presença de pastagens favoreceu o aumento da razão C O-alquil/C alquil, o qual foi relacionado com a maior estabilização e preservação de carbono no solo, possivelmente pela oclusão em agregados de solo, o que evidencia o papel da pastagem na melhoria também da qualidade da MO do solo.

<sup>1/</sup> 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. (136 p.) Abril, 2007.

# PHYSICAL PROTECTION OF SOIL ORGANIC MATTER IN OXISOLS UNDER PASTURES IN THE TROPICAL BRAZILIAN CERRADO REGION <sup>1/</sup>

Author: Madalena Boeni

Adviser: Prof. Cimélio Bayer

## ABSTRACT

The use of pastures with perenial species, as continuous or as crop-pasture system, can be an interesting option to soil management at tropical Brazilian Cerrado region. This study aimed to evaluate the effect of this practice on soil organic carbon stocks and on soil aggregation (0-5, 5-10, and 10-20 cm soil layer), as well as the magnitude of the physical protection on the organic matter (OM) stability and soil OM quality, evaluated by density physical fractionation and nuclear magnetic resonance of <sup>13</sup>C (<sup>13</sup>C NMR), respectively. The study was performed in three long-term experiments (9 to 11 years), in Oxisols with clay content ranging from 360 to 630 g kg<sup>-1</sup>, in Dourados, Maracaju, and Campo Grande cities, at Mato Grosso do Sul State. The experiments involved no-till annual crop systems (PD), no-till crop (soybean)-pasture (brachiaria) rotation system (PD2P2 in Dourados and Maracaju and PD1P3 in Campo Grande), permanent brachiaria pasture alone (PP, in the three sites) and consortiated with *Stylosanthes guianensis* (PP+L, only in Campo Grande). The soils under permanent pasture and crop-pasture rotation presented organic carbon stocks (0-20 cm) ranging from 41 to 70 Mg ha<sup>-1</sup>, which were related to the continuous input of residues by pasture. The pasture increased aggregate stability, which promoted significant increase in physically protected soil OM under pasture, as evidenced by the carbon stock in the occluded light fraction of the soil OM. About 22 to 42% of the OM accumulation in soils under pasture was due to OM physical protection, given by the comparison to soils under no-till annual crops. The carbon stocks in the heavy fraction of the soil OM pointed out that the chemical stability due to the association OM-soil mineral components was an effective mechanism of OM stabilization in these oxidic soils with high clay content. The main carbon form in the three soils was the O-alkyl carbon, suggesting the presence of structures from the original plant material added to soil, which was kept undisturbed from microbial decomposition. The use of pasture promoted the increase in the O-alkyl/alkyl carbon ratio, which was related to the high carbon stabilization and preservation at soil, possibly due to the its occlusion in soil aggregates, which highlight the role of pasture adoption in the improvement of not only OM stocks but also the soil OM quality.

<sup>1/</sup> 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. (136 p.) April, 2007.

## SUMÁRIO

	Página
<b>1. INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	<b>1</b>
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>3</b>
2.1 Matéria orgânica e agregação do solo.....	4
2.1.1 Agentes envolvidos na agregação.....	4
2.1.2 Efeito dos sistemas de uso e manejo do solo na agregação...	7
2.1.3 Efeito do tipo de solo na agregação e na estabilização da matéria orgânica.....	10
2.1.4 Proteção física da matéria orgânica em agregados de solo....	14
2.1.5 Fracionamento e caracterização da matéria orgânica do solo.....	19
2.1.6 Natureza e composição da matéria orgânica do solo.....	23
<b>3. HIPÓTESES E OBJETIVOS GERAIS.....</b>	<b>26</b>
3.1 Hipóteses.....	26
3.2 Objetivos.....	26
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS GERAL.....</b>	<b>27</b>
4.1 Caracterização das áreas experimentais.....	27
4.2 Amostragem do solo.....	31
<b>5. ESTUDO I: Agregação e conteúdo de carbono em frações físicas da matéria orgânica afetadas por pastagens em solos de ambiente tropical.....</b>	<b>32</b>
5.1 Introdução.....	32
5.2 Material e métodos.....	33
5.2.1 Agregação.....	34
5.2.2 Carbono orgânico total e estoques desse elemento no solo...	35
5.2.3 Fracionamento densimétrico da matéria orgânica.....	36
5.2.4 Carbono nas frações orgânicas.....	38
5.2.5 Difratomia de raios-X.....	38
5.3 Resultados e discussão.....	39
5.3.1 Agregação do solo.....	39
5.3.2 Carbono orgânico no solo.....	50
5.3.3 Fracionamento da matéria orgânica do solo.....	53
5.4 Conclusões.....	62
<b>6. ESTUDO II: Qualidade da matéria orgânica em sistemas de manejo sob pastagens, avaliada por RMN <sup>13</sup>C CPMAS, em solos da região do Cerrado Brasileiro.....</b>	<b>64</b>
6.1 Introdução.....	64
6.2 Material e métodos.....	66
6.2.1 Fracionamento densimétrico da matéria orgânica.....	66
6.2.2 Tratamento químico das amostras.....	67
6.2.3 Análise espectrocópica de RMN <sup>13</sup> C CPMAS.....	72

6.2.4 Carbono nas frações orgânicas.....	73
6.3 Resultados e discussão.....	73
6.3.1 Variações na composição química da MO em solo inteiro e em frações físicas densimétricas, afetadas por sistemas de manejo sob pastagens.....	73
6.3.1.1 Solo inteiro.....	73
6.3.1.2 Frações físicas densimétricas da MO.....	79
6.3.1.2.1 Fração Leve Livre (FLL).....	84
6.3.1.2.2 Fração Leve Oclusa (FLO).....	86
6.3.1.2.3 Fração Pesada (FP).....	90
6.4 Conclusões.....	91
<b>7. DISCUSSÃO GERAL.....</b>	<b>93</b>
<b>8. ESTUDOS FUTUROS.....</b>	<b>98</b>
<b>9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>99</b>
<b>10. APÊNDICES.....</b>	<b>114</b>

## RELAÇÃO DE TABELAS

	Página
1. Características gerais das áreas experimentais.....	29
2. Identificação e descrição dos tratamentos.....	30
3. Distribuição da massa do solo LVdf-Dourados, quanto ao diâmetro dos agregados estáveis em água, nas camadas 0-5, 5-10 e 10-20 cm, sob vegetação nativa (VN), plantio direto (PD), rotação lavoura-pastagem (PD2P2) e pastagem permanente de gramínea (PP).....	40
4. Distribuição da massa do solo LVdf-Maracaju, quanto ao diâmetro dos agregados estáveis em água, nas camadas 0-5, 5-10 e 10-20 cm, sob vegetação nativa (VN), plantio direto (PD), rotação lavoura-pastagem (PD2P2) e pastagem permanente de gramínea (PP).....	41
5. Distribuição da massa do solo LVd-Campo Grande, quanto ao diâmetro dos agregados estáveis em água, nas camadas 0-5, 5-10 e 10-20 cm, sob vegetação nativa (VN), plantio direto (PD), rotação lavoura-pastagem (PD1P3), pastagem permanente de gramínea (PP) e pastagem permanente de gramínea consorciada com leguminosa (PP+L).....	42
6. Teores e estoque de carbono nos três solos estudados, sob vegetação nativa (VN), plantio direto (PD), rotação lavoura-pastagem (PD2P2) e (PD1P3) e pastagem permanente de gramínea (PP) e de gramínea consorciada com leguminosa (PP+L).....	51
7. Teores de carbono nas frações físicas da MO (FLL, FLO e FP), carbono orgânico total (COT) e % de cada fração em relação ao COT, nos três solos estudados, sob vegetação nativa (VN), plantio direto (PD), rotação lavoura-pastagem (PD2P2 e PD1P3) e pastagem permanente de gramínea (PP) e de gramínea consorciada com leguminosa (PP+L).....	54
8. Estoque de carbono nas frações leve livre (FLL), leve oclusa (FLO), pesada (FP) e no solo integral (COT) na camada de 0-5 cm e relação da variação das frações com a variação do COT para os três solos estudados.....	60
9. Relação C:N das frações orgânicas, antes (inicial) e após (final) tratamento com HF 10% (FLO e FP) e ditionito de sódio (FLL).....	71
10. Contribuição relativa de carbono (% de COT) nas regiões de variação química dos espectros de RMN <sup>13</sup> C CPMAS e a razão C O-alkil/C alkil em amostras de solo inteiro, na camada de	

0-5 cm dos três solos estudados .....	76
11. Contribuição relativa de carbono (% de COT) nas regiões de variação química dos espectros de RMN <sup>13</sup> C CPMAS e a razão C O-alkil/C alkil das frações físicas da MO, na camada de 0-5 cm dos três solos estudados.....	83
12. Estoque de carbono orgânico total (COT) e das frações físicas da MO (FLL, FLO e FP), na camada de 0-20 cm dos três solos estudados (LVdf-Dourados=D, LVdf-Maracaju=M e LVd-Campo Grande=CG), nos diferentes sistemas de uso e manejo.....	95

## RELAÇÃO DE FIGURAS

	Página
1. Apresentação esquemática do fracionamento físico densimétrico da MO com a utilização de politungstato de sódio (PTS).....	37
2. Distribuição percentual da massa de agregados estáveis, na camada de 0-5 cm dos três solos estudados, submetidos a sistemas de uso e manejo. VN: vegetação nativa, PD: plantio direto de culturas anuais, PD2P2: rotação lavoura (soja) por 2 anos/pastagem ( <i>B. decumbens</i> ) por 2 anos em plantio direto, PD1P3: rotação lavoura (soja) por 1 ano/pastagem ( <i>B. brizantha</i> ) por 3 anos em plantio direto, PP: pastagem permanente de gramínea ( <i>B. decumbens</i> ), PP+L: pastagem permanente de gramínea ( <i>B. decumbens</i> ) consorciada com leguminosa ( <i>Stylosanthes guianensis</i> ).....	43
3. Distribuição dos agregados estáveis em água na camada de 0 a 5 cm dos três solos estudados, agrupados em três classes de tamanho para os sistemas de uso e manejo do solo. VN: vegetação nativa, PD: plantio direto de culturas anuais, PD2P2 e PD1P3: rotação lavoura-pastagem sob plantio direto, PP: pastagem permanente de gramínea, PP+L: pastagem permanente de gramínea consorciada com leguminosa.....	46
4. Diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados estáveis em água e índice de estabilidade dos agregados (IEA) na camada de 0 a 5 cm dos três solos estudados, sob sistemas de uso e manejo do solo. VN: vegetação nativa, PD: plantio direto de culturas anuais, PD2P2 (Dourados e Maracaju) e PD1P3 (Campo Grande): rotação lavoura-pastagem sob plantio direto, PP: pastagem permanente de gramínea, PP+L: pastagem permanente de gramínea consorciada com leguminosa.....	48
5. Teores de carbono nas frações físicas da MO (FLL e FLO) na camada de 0-5 cm dos três solos estudados, sob diferentes sistemas de uso e manejo. VN: vegetação nativa, PD: plantio direto de culturas anuais, PD2P2 e PD1P3: rotação lavoura-pastagem sob plantio direto, PP: pastagem permanente de gramínea, PP+L: pastagem permanente de gramínea consorciada com leguminosa.....	58
6. Espectros de RMN <sup>13</sup> C CPMAS de amostra de solo inteiro não tratada, a) e b) e tratada c) com HF 10%.....	68
7. Espectros de RMN <sup>13</sup> C CPMAS de amostra de FLO não tratada, a) e tratada b) com HF 10%.....	69
8. Espectros de RMN <sup>13</sup> C CPMAS de amostra de FLL não tratada, a) e b) e tratada c) com ditonito de sódio.....	70

9.	Espectros de RMN $^{13}\text{C}$ CPMAS das amostras de solo inteiro, obtidas dos sistemas de manejo dos três solos analisados, na camada de 0-5 cm.....	74
10.	Espectros de RMN $^{13}\text{C}$ CPMAS das frações físicas da MO obtidas dos sistemas de manejo do solo LVdf-Dourados, na camada de 0-5 cm.....	80
11.	Espectros de RMN $^{13}\text{C}$ CPMAS das frações físicas da MO obtidas dos sistemas de manejo do solo LVdf-Maracaju, na camada de 0-5 cm.....	81
12.	Espectros de RMN $^{13}\text{C}$ CPMAS das frações físicas da MO obtidas dos sistemas de manejo do solo LVd-Campo Grande, na camada de 0-5 cm.....	82

## RELAÇÃO DE APÊNDICES

Página

1. Distribuição percentual da massa de agregados estáveis por classe de tamanho nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm de cada solo (LVdf-D, LVdf-M e LVd-CG), submetidos a sistemas de uso e manejo. VN: vegetação nativa, PD: plantio direto de culturas anuais, PD2P2 e PD1P3: rotação lavoura-pastagem, PP: pastagem permanente de gramínea, PP+L: pastagem permanente de gramínea consorciada com leguminosa..... 114
2. Densidade do solo (Ds), teores e estoque de carbono orgânico total (COT) no solo integral, nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm de cada solo (LVdf-D=Dourados, LVdf-M=Maracaju e LVd-CG=Campo Grande), submetidos a sistemas de uso e manejo. VN: vegetação nativa, PD: plantio direto de culturas anuais, PD2P2 e PD1P3: rotação lavoura-pastagem, PP: pastagem permanente de gramínea, PP+L: pastagem permanente de gramínea consorciada com leguminosa..... 122
3. Teores de carbono nas frações físicas da MO (FLL, FLO e FP) nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm de cada solo (LVdf-D, LVdf-M e LVd-CG), submetidos a sistemas de uso e manejo. VN: vegetação nativa, PD: plantio direto de culturas anuais, PD2P2 e PD1P3: rotação lavoura-pastagem, PP: pastagem permanente de gramínea, PP+L: pastagem permanente de gramínea consorciada com leguminosa. Fracionamento realizado no estudo I..... 124
4. Teores de carbono nas frações físicas da MO (FLL, FLO e FP) na camada de 0-5 cm de cada solo (LVdf-D, LVdf-M e LVd-CG), submetidos a sistemas de uso e manejo. VN: vegetação nativa, PD: plantio direto de culturas anuais, PD2P2 e PD1P3: rotação lavoura-pastagem, PP: pastagem permanente de gramínea, PP+L: pastagem permanente de gramínea consorciada com leguminosa. Fracionamento realizado para análise de RMN <sup>13</sup>C CPMAS (Estudo II)..... 128
5. Teores de C e N (antes e após tratamento químico), enriquecimento de C e N (C<sub>E</sub> e N<sub>E</sub>) e alterações na composição química da MO do solo (fator R) devido ao tratamento com ditionito de sódio (FLL) e com HF 10% (FLO e FP)..... 130
6. Proporção dos diferentes tipos de carbono no solo integral, da camada de 0-5 cm dos solos LVdf-Dourados (LVdf-D), LVdf-Maracaju (LVdf-M) e LVd-Campo Grande (LVd-CG), submetidos a sistemas de manejo sob plantio direto (PD), rotação lavoura-pastagem (PD2P2 e PD1P3) e pastagem permanente (PP e PP+L)..... 132

7. Proporção dos diferentes tipos de carbono nas frações físicas da MO (FLL, FLO e FP) da camada de 0-5 cm dos solos LVdf-Dourados (LVdf-D), LVdf-Maracaju (LVdf-M) e LVd-Campo Grande (LVd-CG), submetidos a sistemas de manejo sob plantio direto (PD), rotação lavoura-pastagem (PD2P2 e PD1P3) e pastagem permanente (PP e PP+L)..... 134

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

O solo é um recurso vital tanto para a produção de alimentos e fibras quanto para o funcionamento global dos ecossistemas. Porém, processos de degradação, que se manifestam com grande intensidade em solos sob manejo inadequado, têm afetado negativamente uma porção considerável dos solos atualmente em uso na região do Cerrado Brasileiro. A degradação dos solos inicia-se com a remoção da vegetação natural e acentua-se com os cultivos subseqüentes, ocorrendo rápida diminuição no estoque de matéria orgânica (MO) e na disponibilidade de nutrientes que não são repostos na mesma taxa em que são removidos ou perdidos ao longo do tempo.

Práticas de manejo que visem alta produtividade de biomassa vegetal durante todo o ano e promovam melhoria na estrutura do solo, priorizando a cobertura permanente do solo e a recuperação dos teores de MO, são fundamentais para recuperar solos degradados, criando condições para aumentar a capacidade produtiva do solo e contribuindo para melhorar a qualidade ambiental. A MO é considerada componente chave da qualidade do solo, constituindo-se um dos principais responsáveis pela sustentabilidade dos sistemas agropecuários, pois atua em processos relacionados à ciclagem de nutrientes, disponibilidade hídrica e de oxigênio, temperatura e atividade biológica no solo.

O incremento dos estoques de carbono orgânico (CO) do solo é possível através de sistemas de manejo que proporcionem redução na intensidade de preparo, como o plantio direto, utilização de culturas com elevada adição de resíduos orgânicos e abundante sistema radicular. Pastagens de gramíneas perenes, principalmente do gênero *Brachiaria*, introduzidas nos Cerrados na década de 70 com o início do processo produtivo na região, são atualmente, amplamente usadas nos sistemas de produção. No

entanto, a degradação das pastagens, devido, principalmente ao pastejo intensivo e à exaustão da fertilidade do solo, somado aos altos custos de investimento com retorno somente a longo prazo, e o declínio na produção de grãos, caracterizada por monocultivo de soja, têm destacado o sistema plantio direto na região Centro-Oeste do Brasil, o qual oferece alternativas no sentido de integrar produção de grãos e pastagens e tem se mostrado viável, econômica e ambientalmente.

O fluxo de compostos orgânicos no sistema solo leva os componentes do solo a interagirem e a se auto-organizarem. Essa organização inicia-se com a interação dos componentes minerais entre si e destes com os compostos orgânicos, formando agregados, os quais compõem a estrutura do solo. Esses agregados interagem com os compostos orgânicos, resultando na formação de agregados maiores e de estrutura mais complexa. Durante o processo de interação, ocorre a retenção de MO no solo, devido à proteção física e química à decomposição microbiana. O fato da MO localizar-se e estar protegida dentro de agregados depende da resistência desses agregados, o que está condicionado a sua estabilidade em água e a estresses mecânicos. Porém, a relação entre a composição da MO, sua interação com a matriz mineral e localização na estrutura do solo é pouco conhecida e, estudos dessa natureza poderão contribuir para o melhor entendimento do papel da agregação na dinâmica e na qualidade da MO em Latossolos tropicais.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A MO é adicionada ao solo, principalmente, através da deposição de resíduos vegetais e raízes, os quais sofrem a ação da fauna e dos microrganismos decompositores. Parte do carbono presente nos resíduos é liberado para a atmosfera como CO<sub>2</sub> e o restante passa a fazer parte da MO como um componente do solo. A capacidade de armazenamento de carbono pelo solo depende do clima, tipo de solo (textura, mineralogia), vegetação e manejo do solo. A associação dos compostos orgânicos com os componentes minerais aumenta a estabilidade da MO à decomposição microbiana, sendo o nível de proteção variável com o tipo de solo e com as práticas de manejo adotadas.

Sistemas de produção agrícola em regiões tropicais do Brasil têm potencial para determinar qualidade do solo, desde que contemplem o cultivo intensivo de plantas com alta adição de resíduos vegetais e o não revolvimento do solo. As condições climáticas da região do Cerrado Brasileiro, caracterizadas por ocorrência de estação chuvosa e elevadas temperaturas, proporcionam elevadas taxas de decomposição da MO do solo, enquanto que a ocorrência de longo período de estiagem limita a adição de resíduos ao longo do ano. Atualmente, a região do Cerrado apresenta sérios problemas quanto à conservação dos recursos naturais, sendo que grande parte da área cultivada com pastagens encontra-se em avançado processo de degradação e, nas áreas com lavouras, cultivadas no verão (estação chuvosa) verifica-se a predominância da monocultura da soja. Assim, práticas conservacionistas de manejo como o plantio direto associado ao uso de culturas de cobertura e pastagens bem conduzidas nessas regiões poderiam conduzir o solo para a recuperação dos teores de MO e da capacidade produtiva, bem como para a melhoria e preservação da qualidade ambiental.

## 2.1 Matéria orgânica e agregação do solo

### 2.1.1 Agentes envolvidos na agregação

O arranjo ou organização das partículas minerais e dos constituintes orgânicos no solo resulta em agregados com forma e tamanho variáveis, que constituem as unidades básicas da estrutura do solo. A estrutura corresponde à propriedade do solo que regula e reflete a estabilidade de um sistema de poros interconectados de vários tamanhos, a capacidade em reter e transmitir fluidos e a habilidade em suprir água e nutrientes para o crescimento e desenvolvimento radicular (Oades, 1984).

A reserva de nutrientes no solo pode ser relativamente bem controlada pela adição de fertilizantes minerais ou orgânicos, porém, é mais difícil manejar as propriedades físicas do solo, principalmente a sua estrutura em uma perspectiva a longo prazo. A estabilidade da estrutura do solo é uma consequência da interação de numerosos fatores, incluindo sistema radicular das culturas, conteúdo de MO do solo e atividade biológica. Portanto, em solos tropicais, a relação entre estrutura e estoque de CO no solo representa um dos principais aspectos da fertilidade e conservação do solo.

Para Tisdall & Oades (1982), a floculação das partículas de argila é um pré-requisito e o primeiro estágio na construção de um macroagregado estável. Após essa aproximação das partículas minerais, a MO apresenta-se como um dos fatores determinantes da estabilização dos agregados. Porém, vale ressaltar que os solos diferem consideravelmente quanto à hierarquia de agregação e predominância de agentes de formação e estabilização de agregados, tendo a MO do solo papel diferenciado na agregação de alguns solos em comparação a outros (Chan et al., 2001).

Os agentes ligantes orgânicos envolvidos na estabilização de agregados podem ser divididos em três grupos, baseados na sua estabilidade no solo: transitório, temporário e persistente. Os agentes orgânicos ligantes transitórios são decompostos rapidamente pelos microrganismos, e incluem polissacarídeos provenientes do metabolismo microbiano e da decomposição de raízes, resíduos vegetais e animais e da exsudação radicular. Polissacarídeos derivados de plantas (glicose e xilose) são facilmente

decompostos e limitam a estabilidade dos agregados a semanas, enquanto que polissacarídeos de origem microbiana (manose, ramosse e hexosaminas) ou substratos mais recalcitrantes (celulose), limitam a estabilidade dos agregados a meses. Alguns polissacarídeos podem ser protegidos da degradação por associação com íons metálicos ou por sorção nas superfícies dos argilominerais, tornando-se agentes ligantes persistentes. A associação de polissacarídeos com partículas minerais tem sido ilustrada por microscopia eletrônica (Tisdall & Oades, 1982; Oades, 1984; Golchin et al., 1994b; 1997).

Os agentes orgânicos ligantes temporários são raízes e hifas de fungos. Eles persistem de meses a anos e são afetados pelo manejo do solo. Além de reorientar e unir as partículas de solo, a rizosfera é um importante sítio de produção de mucilagens, agindo como substância cimentante, estabilizadora de macroagregados. No caso das hifas de fungos, seus micélios, além de exercerem ação física na aproximação entre as partículas, são cobertos por polissacarídeos extracelulares e ocupam os poros formados entre os microagregados, estabilizando, assim, os macroagregados.

Os agentes ligantes persistentes constituem-se de material orgânico humificado que interage com componentes minerais através de pontes de cátions e polímeros fortemente sorvidos, atuando na estabilização de microagregados (Tisdall & Oades, 1982; Jastrow, 1996). Tiessen and Stewart (1988) usaram microscopia eletrônica para estudar uma variedade de tipos de agregados em um Chernossolo. Eles enfatizaram a importância de polissacarídeos microbianos na estabilização de microagregados (1-20  $\mu\text{m}$ ) e de detritos de plantas como núcleo para o desenvolvimento de agregados maiores (100-300  $\mu\text{m}$ ).

A teoria da hierarquia de agregação proposta por Edwards & Bremner (1967) e por Tisdall & Oades (1982) tem sido utilizada por diversos autores para explicar a correlação existente entre a redução na agregação e perdas de MO (Elliot, 1986; Cambardella & Elliott, 1993; Beare et al., 1994a). Segundo essa concepção, as estruturas básicas do solo são as argilas. Ao associarem-se, minerais de argila com MO e metais polivalentes, são formados os complexos organo-minerais (COM). A união de vários COM resulta em microagregados (Edwards & Bremner, 1967). Considera-se que a formação de estruturas entre 2-20  $\mu\text{m}$  através de materiais orgânicos persistentes permite a

formação de microagregados < 250 µm de diâmetro, muito estáveis e pouco afetados pelas práticas de manejo. Esses microagregados podem ser unidos entre si por compostos orgânicos transitórios e/ou temporários, pelo entrelaçamento de hifas fúngicas e micorrízicas e pela ação do sistema radicular, que são muito dependentes das práticas de manejo (Silva & Mielniczuk, 1997a), resultando em macroagregados de diâmetro > 250 µm.

A deposição de material orgânico e os produtos de sua decomposição no perfil de solo ocorrem de forma heterogênea, assim como a atividade microbiana e a formação de agregados em zonas específicas na matriz do solo. Quando forças externas são aplicadas, regiões entre essas zonas são estruturalmente mais fracas e formam planos de fraqueza onde macroagregados maiores rompem-se em macroagregados menores, e estes em microagregados. Quando solos sob floresta ou sob pastagem são convertidos ao cultivo sob preparo convencional de manejo, a primeira fonte de matéria orgânica a ser mineralizada é o material orgânico localizado entre os microagregados, tendo como resultado um declínio na estabilidade dos macroagregados (Elliott, 1986; Gupta & Germida, 1988). Dessa forma, devido ao processo dinâmico de agregação, um contínuo suprimento de matéria orgânica particulada (MOP) é requerido para manter a estrutura do solo estável ao longo do tempo.

O modelo de dinâmica da agregação apresentado por Golchin et al. (1994b) assume que a MOP, constituída por raízes e resíduos de plantas, é inicialmente colonizada pela população microbiana da rizosfera e ao mesmo tempo se adsorve aos minerais, resultando na interação entre material inorgânico e produtos do metabolismo microbiano produzidos na superfície da MOP em decomposição. Durante o período inicial de decomposição dos núcleos orgânicos, quando eles ainda são ricos em componentes atrativos aos microrganismos, os agregados apresentam alta estabilidade, pois mucilagens e metabólitos produzidos cobrem as partículas minerais e estabilizam os agregados. A estabilização de macroagregados pela MOP é, no entanto, um processo transitório e a manutenção de um dado nível de agregação é dependente da contínua adição de resíduos vegetais ao solo. Devido à rápida decomposição e subsequente fragmentação de núcleos orgânicos de macroagregados pelos organismos do solo, a estabilidade de macroagregados

declina aproximadamente na mesma proporção em que o material orgânico é decomposto. A degradação de macroagregados (processo natural ou acelerado pelo revolvimento do solo) libera microagregados que são mais estáveis do que macroagregados, consistindo, aqueles, em núcleos orgânicos encrustados com material inorgânico, sendo, portanto, decompostos mais lentamente (protegidos da rápida decomposição) que os núcleos orgânicos de macroagregados. As frações mais lábeis dos núcleos orgânicos, como carboidratos e proteínas, são decompostas, restando apenas as estruturas mais resistentes, como aquelas ricas em C aromático e C alquil, o que diminui a estabilidade desses agregados, pois a produção de metabólitos microbianos declina à medida que os núcleos orgânicos tornam-se mais recalcitrantes ou são completamente oxidados. A produção de biomassa vegetal e a produção de metabólitos resultantes da decomposição dos núcleos orgânicos interagem com componentes minerais, iniciando-se assim, um novo e complexo processo de agregação.

Por sua vez, a estabilidade de macroagregados aumenta com o grau de associação da MOP com os minerais do solo. Esse processo é dependente do tipo de solo (textura e mineralogia) e, promove a estabilidade e a proteção da MO incorporada dentro dos agregados (Jastrow, 1996; Six et al., 2002b; Hassink, 1997). Na formação e estabilização de microagregados, várias formas de ligação ocorrem concomitantemente e a adsorção de material orgânico às superfícies reativas dos argilominerais é um importante mecanismo de ligação das partículas de solo. As macromoléculas húmicas apresentam uma grande quantidade de concentração de grupos funcionais que interagem de forma distinta com a superfície mineral através de interações eletrostáticas, pontes de cátions polivalentes, coordenação, pontes de hidrogênio ou forças de Van der Waals (Tisdall & Oades, 1982; Cornejo & Hermosin, 1996; Bayer & Mielniczuk, 1999).

### 2.1.2 Efeito dos sistemas de uso e manejo do solo na agregação

A importância do sistema plantio direto em manter ou aumentar a estabilidade dos agregados, aumentando a habilidade do solo em seqüestrar carbono, comparado às práticas de preparo convencional tem sido verificada

por diversos autores (Reinert et al., 1984; Carpenedo & Mielniczuk, 1990; Campos et al., 1995; 1999; Castro Filho et al., 1998; Bayer et al., 2002). O acúmulo de carbono no solo resultante do efeito dos sistemas conservacionistas se expressa numa melhoria significativa das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, essenciais para que o mesmo desempenhe suas funções agronômicas e ambientais de forma sustentável (Vezzani, 2001; Mielniczuk et al., 2003).

Sendo a agregação e o acúmulo de carbono no solo favorecidos por polissacarídeos provenientes do metabolismo microbiano e decomposição de raízes e hifas e exudação radicular (Oades, 1984), e sendo a rizosfera um importante sítio de adição de carbono e de produção de substâncias estabilizadoras de agregados (Tisdall & Oades, 1982), a recuperação ou manutenção dos teores de MO pode ser obtida através da implantação de pastagens perenes ou de sistemas de manejo com rotação de culturas envolvendo gramíneas com abundante sistema radicular e alta produção de fitomassa.

Existe grande potencial das gramíneas perenes na formação e estabilidade de agregados e em acumular carbono no solo (Silva & Mielniczuk, 1997a). Quando solos sob manejo convencional são convertidos em pastagens e quando pastagens degradadas são melhoradas de forma a aumentar a produção de fitomassa, usualmente ocorre aumento nos teores de MO do solo e na estabilidade de agregados. A taxa de acúmulo e o tempo que leva para alcançar um equilíbrio, onde adições de MO são balanceadas por mineralização e perdas, varia consideravelmente com o nível de MO inicial, tipo de solo, clima, posição na paisagem, composição da comunidade de plantas e práticas de manejo das pastagens. Resultados de um experimento de longa duração em Rothamsted, iniciado em 1949, têm demonstrado o efeito positivo de pastagens no conteúdo de MO do solo (Johnston, 1986). Ao avaliarem pastagens cultivadas quanto ao armazenamento de carbono em Latossolos argilosos dos Cerrados, Silva et al. (2004) verificaram, na profundidade de até 1,0 m, que a magnitude de acúmulo variou entre 97,1 a 113,0 Mg ha<sup>-1</sup>, concentrando-se nas camadas superficiais, com cerca de 50% desse acúmulo ocorrendo na camada de solo até 40 cm de profundidade.

Em ambiente tropical, com o uso de rotação de pastagem de braquiária com lavoura de soja, com ciclo de dois anos de rotação, Fabrício & Salton (1999), observaram aumento expressivo no teor de MO do solo, alterando de 30 para quase 40 g kg<sup>-1</sup> na camada de 0 a 5 cm, no período de apenas três anos. Os principais benefícios de um sistema de rotação lavoura-pastagem são a melhoria da fertilidade, da atividade biológica e das propriedades físicas do solo, reciclagem mais eficiente de nutrientes, controle de plantas invasoras, insetos e pragas, melhoria na qualidade e disponibilidade da pastagem durante a estação seca, conservação mais efetiva do solo e da água e, conseqüentemente, a conservação dos recursos naturais para o futuro.

Os efeitos benéficos das gramíneas são atribuídos, principalmente, à alta densidade de raízes, que promove a aproximação de partículas pela constante absorção de água do perfil do solo, às periódicas renovações do sistema radicular e à uniforme distribuição dos exsudatos no solo, que funcionam como agentes cimentantes e estimulam a atividade microbiana cujos subprodutos atuam na formação e estabilidade dos agregados (Carpenedo e Mielniczuk, 1990; Paladini & Mielniczuk, 1991; Reinert, 1993; Silva & Mielniczuk, 1997a; 1998). A quantidade de macroagregados estáveis aumenta em solos sob gramíneas perenes (Tisdall & Oades, 1982; Silva, 1993; Beare et al., 1994a; Jastrow, 1996; Jastrow et al., 1996; Silva & Mielniczuk, 1997a; 1998). Esse aumento ocorre tanto na camada superficial do solo como em profundidade, uma vez que está relacionado ao acúmulo de resíduos orgânicos na superfície e ao extenso sistema radicular das gramíneas associado ao desenvolvimento de hifas fúngicas.

Silva & Mielniczuk (1997a), com a finalidade de identificar o efeito do sistema radicular de diferentes culturas sobre a formação e estabilização de agregados de solos de textura argilosa do RS, concluíram que as gramíneas perenes (pangola e setária), por apresentarem maior densidade de raízes e melhor distribuição do sistema radicular no solo, favoreceram as ligações dos pontos de contatos entre partículas minerais e agregados, contribuindo, assim, para a formação e estabilidade dos agregados.

Enquanto a matéria orgânica e os microrganismos estabilizam a estrutura, uma estrutura estável protege fisicamente a matéria orgânica, formando um ciclo complexo entre MO, microbiota e agregação.

### 2.1.3 Efeito do tipo de solo na agregação e na estabilização da matéria orgânica

A agregação é mediada principalmente pelo CO do solo, biota, ligantes iônicos e argila (Bronick & Lal, 2005). Estes fatores atuam de forma distinta, de acordo com o tipo de solo, sobre a taxa e estabilidade de agregação. O CO do solo atua como agente ligante e como núcleo na formação de agregados. As propriedades químicas do CO determinam sua variação e capacidade de complexação e influenciam as taxas de decomposição no solo, que têm efeito direto sobre a agregação (Schulten & Leinweber, 2000). A biota e seus produtos orgânicos contribuem para o desenvolvimento da estrutura do solo, que exerce significativo controle sobre a dinâmica do CO. O tempo de residência e a taxa de decomposição do CO são fatores chave influenciando a sua eficácia em aumentar a agregação e os seus estoques no solo. Íons metálicos formam pontes entre minerais e partículas organo-minerais. A argila também atua como agente agregante, ligando partículas minerais e orgânicas e influenciando a taxa de decomposição do CO (Bronick & Lal, 2005).

A textura do solo tem influência significativa sobre a agregação. Em solos de textura grosseira, o CO tem maior influência na estrutura, comparado a solos de textura fina. Por outro lado, em solos com elevado teor de argila, a diversidade mineralógica, composta basicamente por diferentes proporções de caulinita, óxidos de alumínio (Al) (gibbsita) e de ferro (Fe) (hematita e goethita) (Dick, 1986; Ferreira et al., 1999; Inda Junior & Kämpf, 2005), exerce forte influência e é mais importante do que a quantidade de argila em determinar a estabilidade de agregados de solo e a estabilização da MO. Percival et al. (2000), investigando relações entre CO do solo e propriedades de solo que podem influenciar o acúmulo de carbono a longo prazo, em uma ampla variação de condições climáticas e solos de diferente mineralogia sob pastagem permanente na Nova Zelândia, concluíram que o teor de argila não foi preponderante, enquanto que a estabilização química por constituintes oxidícos foi o processo chave no acúmulo de carbono do solo.

Minerais da fração argila influenciam propriedades que afetam a agregação: área superficial específica (ASE), capacidade de troca de cátions

(CTC), densidade de carga, dispersividade e expansividade. Estas, por sua vez, afetam as taxas de decomposição do CO do solo. A composição mineralógica da argila difere com o grau de desenvolvimento do solo. Argilas de atividade baixa como caulinita e haloisita estão freqüentemente presentes em Argissolos e Latossolos, enquanto que argilas de atividade alta como esmectitas estão presentes em Vertissolos. Argilas ocorrem como minerais cristalinos, ou não-cristalinos com estrutura amorfa. Argilas de atividade baixa, cristalinas e não expansivas como a caulinita (1:1), têm baixa CTC e ASE, o que tende a resultar em menor estabilidade de agregados, comparativamente a argilas de atividade alta e expansivas como a esmectita. No entanto, a caulinita tem uma boa capacidade de floculação causada pela interação eletrostática entre as cargas positivas na extremidade das lâminas da argila e as cargas negativas no corpo do cristal (Dixon, 1989; Powers & Schlesinger, 2002). Evidências da capacidade de floculação da caulinita também foram reportadas por Böhmann et al. (1996) que observou que agregados de argilominerais 2:1 foram mais facilmente desagregados do que de caulinita.

O declínio da estrutura do solo é visto como uma forma de degradação do mesmo e é freqüentemente causado por práticas inadequadas de manejo do solo. Porém, apesar do plantio direto estar sendo amplamente adotado em sistemas agrícolas, pouco se sabe sobre o seu efeito na agregação do solo e sua relação com estabilização do carbono para latossolos ricos em óxidos de Fe e Al, pois a textura do solo, bem como sua mineralogia, são fatores com significativa influência na dinâmica da MO do solo (Feller & Beare, 1997).

Ao investigar o efeito do plantio direto em dois Latossolos Brasileiros (Passo Fundo-RS e Londrina-PR), Zotarelli et al. (2005) observaram aumento no número de macroagregados estáveis e manutenção de altos teores de MO no plantio direto comparado ao preparo convencional de manejo em ambos os solos. No entanto, a concentração de carbono foi similar entre classes de tamanho de agregados, o que, segundo os autores, não justifica a hierarquia de agregação nestes solos. Os autores sugerem que o acúmulo de MO foi favorecido pela redução do revolvimento do solo, mas que a MO desempenha papel secundário na formação de agregados em solos dominados por argilominerais de atividade baixa (1:1) e óxidos, devido, provavelmente, ao

processo de ligação mineral-mineral. Resultados semelhantes foram constatados por Oades & Waters (1991), Feller et al. (1996) e Six et al. (2000b), os quais reportaram a inexistência de hierarquia de agregação em solos dominados por argilominerais 1:1 e óxidos de Fe e Al. No entanto, concentração similar de carbono entre classes de tamanho de agregados em solos dominados por argilominerais 1:1 está em contraste com solos moderadamente intemperizados, dominados por argilominerais 2:1 onde estruturas orgânicas formam pontes entre minerais de argila carregados negativamente, atuando na formação de microagregados e na ligação destes em macroagregados e, conseqüentemente, conduzindo ao aumento da concentração de carbono com o aumento do tamanho do agregado (Elliott, 1986; Six et al., 2000a).

Diversos autores sugerem que os mecanismos de agregação em latossolos aparentemente diferem de outros solos, sendo a MO considerada um agente agregante secundário em relação aos óxidos em solos ricos nestes minerais (Oades & waters, 1991; Ferreira et al., 1999; Six et al., 2000a, 2000b; Chan et al., 2001). Chan et al. (2001) encontraram relação linear entre teor de MO do solo e estabilidade de agregados em dois solos dominados por argilominerais 2:1. A falta desta relação em um solo mais intemperizado é, provavelmente, devido às interações entre argilominerais 1:1 e óxidos de Fe. Deneff et al. (2002) também observaram que solos dominados por minerais de carga variável e óxidos apresentam maior agregação em baixos teores de CO do solo comparado a solos de mineralogia mista. É consenso entre alguns autores (Six et al., 2000b e Zotarelli et al., 2005), que a relação entre acúmulo de MO no solo e aumento da estabilidade de agregados é diminuída por argilominerais 1:1 e óxidos em solos caulíníficos.

Tem se verificado que os óxidos têm efeito agregante principalmente sobre microagregados (Oades et al., 1989). Os solos ricos em oxi-hidróxidos de Fe e Al tendem a apresentar uma estrutura tipicamente granular em seu horizonte B (Oliveira et al., 1992; Resende et al., 1997), porém, quando se analisa o horizonte A da maioria dos latossolos, nota-se uma tendência das estruturas granulares típicas servirem de base para a formação de estruturas em blocos (Resende et al., 1997, Roscoe & Machado, 2002; Madari et al., 2005). Assim, as estruturas granulares funcionariam como microagregados, ou

agregados primários, e as estruturas em blocos seriam os macroagregados, ou agregados secundários. A presença de microagregados é importante na estabilização da MO em latossolos (Skjemstad et al., 1990; Shang & Tiessen, 2001). Shang & Tiessen (2001) afirmam que a estabilização de carbono em solos tropicais é alta em microagregados estáveis consistindo de material orgânico e mineral do solo. Devido ao fato dos componentes minerais não estarem atuando isoladamente no solo, acredita-se haver influência da MO na macroagregação, assim como nos solos pobres em óxidos. Roscoe et al. (2006) propuseram a alteração de limite de tamanho entre microagregados e macroagregados de 0,25 mm para 1,00 mm para latossolos, porém, esta questão necessita ser melhor investigada e representa um desafio para a pesquisa em manejo de solos.

Parte da estabilidade em solos dominados por argilominerais 1:1 e óxidos é induzida pela capacidade de ligação entre óxidos e minerais 1:1, através de interações eletrostáticas, devido à simultânea existência de cargas positivas e negativas em pH de campo (Tisdall & Oades, 1982, Oades & Waters, 1991). Adsorção de grupos orgânicos carregados negativamente (grupos carboxílicos dissociados) pode ocorrer através da substituição de grupos hidroxílicos de superfície (troca de ligantes). A formação de complexos organo-minerais através da adsorção de ânions orgânicos por interação eletrostática à superfície dos óxidos carregados positivamente, talvez seja o mais claro exemplo de uma interação que aumenta a estabilidade da MO em agregados (Sollins et al., 1996). Reações de superfície são causadas pelo intemperismo químico de silicatos que libera íons ferro e alumínio, os quais precipitam na forma de óxidos e hidróxidos, recobrando a superfície de minerais. Depósitos de óxidos de Fe em lâminas de caulinita também foram observados por Kitagawa (1983). Partículas minerais da fração grosseira também podem ser recobertas por óxidos de ferro, o que aumenta a área superficial das partículas, tornando-as efetivas na adsorção de MO (Ransom et al., 1998). Todos estes processos são, provavelmente, responsáveis pela alta estabilidade de agregados em solos ricos em óxidos, confirmando o importante papel dos óxidos na agregação desses solos (Oades et al., 1989).

Além da quantidade, o grau de cristalinidade dos óxidos de Fe é fator preponderante na estabilidade de agregados. Inda Junior et al. (2007)

encontraram relação positiva dos óxidos de Fe de baixa cristalinidade (Feo) com a estabilidade de microagregados, o que pode ser relacionado à maior ASE desses óxidos pouco cristalinos em comparação com as formas cristalinas menos reativas (Schwertmann, 1988). Estes resultados são coerentes com resultados obtidos por outros autores que têm verificado que óxidos de Fe pouco cristalinos são mais reativos quanto à formação e estabilização de microagregados no solo em comparação às formas cristalinas (Barral et al., 1998; Duiker et al., 2003). Entre os óxidos de Fe cristalinos, a goethita é reconhecida como um mineral que apresenta, normalmente, menor tamanho de cristal e maior ASE e maior concentração de grupos funcionais –OH na superfície do que a hematita (Melo et al., 2001, Inda Junior & Kämpf, 2005), sendo a goethita mais efetiva na estabilidade de microagregados do que a hematita (Ferreira et al., 1999; Vitorino et al., 2003; Inda Junior et al., 2007).

Minerais da fração argila não constituídos por ferro como a caulinita e a gibbsita também exercem distinta influência sobre a formação e estabilidade de microagregados em solos tropicais, constatando-se importância maior para a gibbsita (Ferreira et al., 1999; Vitorino et al., 2003; Inda Junior et al., 2007).

#### 2.1.4 Proteção física da matéria orgânica em agregados de solo

A dinâmica da MO no solo está relacionada com a estrutura e com a habilidade do solo em estabilizar a MO (Six et al., 2002b). A estabilidade da MO é resultante do efeito integrado de três mecanismos: recalcitrância molecular, proteção química e proteção física.

A recalcitrância molecular compreende características inerentes dos substratos orgânicos a nível molecular (qualidade do resíduo). Os resíduos são compostos de uma complexa mistura de componentes orgânicos, principalmente de polissacarídeos (celulose, hemicelulose e amido), lignina, proteínas, polifenóis (tanino), cutina, suberina, lipídios e ácidos graxos. Alguns desses compostos são considerados menos biodegradáveis devido a sua composição estrutural (Lützow et al., 2006) e a relativa abundância desses componentes varia amplamente entre espécies de plantas (Kögel-Knabner, 2002). A proteção química é dependente da textura e mineralogia e resulta das interações químicas ou físico-químicas entre componentes orgânicos e

minerais do solo, o que altera a taxa de degradação ou a síntese de novos compostos orgânicos. A proteção física refere-se à localização do substrato no interior de agregados, criando uma barreira física à decomposição pelos microrganismos (Sollins et al., 1996).

Sollins et al. (1996) afirmam que em cada mecanismo de proteção existem processos ou fatores que controlam a taxa de estabilização da MO. Os fatores que controlam o aumento da recalcitrância da MO no solo são variações nas características químicas da MO, devido à síntese microbiana e à preservação seletiva dos compostos mais recalcitrantes pelos microrganismos. Diferentes tipos de solo (textura e mineralogia) apresentam substancial diferença quanto à superfície específica e à capacidade de troca de cátions, apresentando diferente capacidade de adsorver e estabilizar MO (Greenland, 1965). Segundo Hassink (1997), o carbono associado aos complexos organominerais é quimicamente protegido e essa proteção é proporcional ao teor de silte e argila do solo.

Em um Argissolo do Rio Grande do Sul, Diekow et al. (2005) observaram que a fração tamanho silte mostrou uma alta proporção de MOP como restos de plantas e fungos, o que é coerente com os resultados de Shang e Tiessen (1998), os quais avaliaram os mecanismos de estabilização da MO em um Latossolo do semi-árido de Pernambuco, sob vegetação nativa. A análise dos conteúdos de carbono das frações areia, silte e argila, mostrou que metade do carbono do solo estava associado com a fração tamanho silte, o que sugere que o material orgânico estava fisicamente protegido e inacessível aos microrganismos em algum estágio da formação.

Em solos arenosos, o arranjo das partículas primárias resulta em interações químicas fracas e uma distribuição de poros de maior diâmetro, o que facilita o acesso microbiano à MO. Os agentes ligantes orgânicos são oxidados mais facilmente, e a estabilidade dos agregados é dependente da contínua adição de resíduos vegetais e da atividade microbiana. Portanto, em solos arenosos é difícil manter altos níveis de MO, devido à maior acessibilidade dos decompositores à MO. Por outro lado, com o aumento do teor de argila, especialmente em solos ricos em óxidos de Fe e Al, a proporção de porosidade total encontrada em poros pequenos aumenta e a MO pode ser mantida em altos níveis, principalmente pela sua maior estabilidade coloidal, a

qual a protege da decomposição pelos microrganismos e contribui para maior estabilização da MO nesses solos. Chenu & Stotzky (2002) demonstraram que 15% da porosidade em um solo arenoso e 52% em um solo argiloso é inacessível aos microrganismos, devido ao diâmetro dos poros ser menor do que 0,2  $\mu\text{m}$ .

Os mecanismos de ligação, responsáveis pela incorporação da MO em agregados e sua proteção contra microrganismos decompositores, diferem, dependendo da natureza do mineral e do composto orgânico. Solos altamente intemperizados (comuns em regiões tropicais e subtropicais), ricos em minerais 1:1 e óxidos apresentam carga de superfície variável e a sorção de grupos orgânicos carregados negativamente é favorecida por troca de ligantes (substituição de superfície por hidroxilas), enquanto que em solos de regiões de clima temperado, dominados por minerais 2:1, com predominância de carga negativa permanente, a sorção de grupos orgânicos carregados negativamente pode ocorrer através de pontes de cátions. Outros mecanismos de ligação envolvidos na sorção e que ocorrem simultaneamente incluem atração eletrostática, ponte de água, ponte de hidrogênio e forças de Van der Waals (Bayer e Mielniczuk, 1999).

A estrutura do solo determina as trocas gasosas, a disponibilidade de substratos e água e o transporte de solutos, sendo, dessa forma, responsável pela regulação da atividade dos decompositores no solo (Christensen, 2001). A acessibilidade da MO do solo à microbiota está relacionada a sua posição dentro da matriz do solo, conduzindo a compartimentos diferentes em estabilidade e dinâmica (Golchin et al., 1994a, 1994b). No interior de agregados, as relações estruturais fornecem uma variação no habitat ao ataque microbiano, sendo, portanto, a dinâmica da MO no solo, afetada por diferentes graus de proteção à decomposição, proporcionados pela organização espacial da estrutura do solo.

O grau de proteção física varia com as práticas de uso e manejo do solo. Quando um sistema natural é alterado pelo revolvimento do solo, a MO inicialmente perdida é a MO localizada entre microagregados, formadora e estabilizadora de macroagregados (Elliott, 1986), resultando na exposição de MO anteriormente inacessível. Sob pastagem natural, mais de 40% da MO do solo pode estar localizada entre microagregados (Carter, 2004), o que pode

justificar o rápido declínio inicial da MO quando estes sistemas são alterados pelo revolvimento do solo. O revolvimento freqüente do solo provoca rompimento e perda da estabilidade dos agregados, com perda de MO mais lábil, como carboidratos, protegida dentro dos agregados por oclusão.

A MO interna aos microagregados é menos vulnerável ao cultivo do que a MO localizada entre microagregados formando macroagregados, pois é mais protegida fisicamente (Six et al., 1998; Six et al., 2000b). Golchin et al. (1994b) propuseram que quando materiais frescos de plantas são adicionados ao solo, induzem a formação de agregados porque estimulam a produção de agentes ligantes por serem uma fonte de carbono à atividade microbiana. Durante a decomposição, esses fragmentos de plantas tornam-se gradualmente encrustados com partículas de argila e com produtos microbianos, formando o núcleo de microagregados altamente estáveis, os quais são incorporados dentro de macroagregados (Six et al., 1999; Bayer et al., 2001; 2002). Eventualmente a fração mais lábil do núcleo orgânico é consumida, a produção de agentes ligantes diminui e o seu uso como substrato conduz à perda da estabilidade dos macroagregados, os quais degradam-se em microagregados e produtos microbianos processados. A MO interna aos macroagregados (localizada entre microagregados) parcialmente processada torna-se livre e é decomposta mais rapidamente do que a MO protegida dentro dos microagregados (Six et al., 1998). Os microagregados liberados pelo rompimento dos macroagregados serão, provavelmente, no próximo ciclo de formação, incorporados em novos macroagregados, e estes, mais ricos em carbono jovem (Tisdall & Oades, 1982; Six et al., 1999).

Sistemas de manejo envolvendo elevadas adições de MO e o não revolvimento do solo como o sistema plantio direto, propiciam o aumento da estabilidade de agregados em comparação a sistemas convencionais de manejo (Carpenedo & Mielniczuk, 1990; Beare et al., 1994a; Campos et al., 1995; Da Ros et al., 1997; Castro Filho et al., 1998; Six et al., 2000b), favorecendo o aumento dos estoques de carbono por proteger fisicamente a MO localizada no interior de agregados do solo (Jastrow, 1996; Six et al., 2000a) da decomposição microbiana, além de diminuir a disponibilidade de O<sub>2</sub> para os processos oxidativos de decomposição (Baldock & Skjemstad, 2000; Balesdent et al., 2000).

Nesse sentido, o uso do sistema plantio direto tem demonstrado ser eficiente na recuperação dos teores de MO do solo (Cambardella & Elliott, 1992; Beare et al., 1994b; Bayer, 1996; Six et al., 1999; Lovato, 2001), principalmente quando utilizadas rotações com leguminosas visando os benefícios do aporte de N atmosférico (Amado & Mielniczuk, 1999; Diekow et al., 2005). Conseqüentemente, o sistema plantio direto pode representar um importante potencial para reter e estabilizar frações mais lábeis da MO no solo, por maior período de tempo, representando um significativo benefício ambiental por contribuir para a redução da concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico.

Adicionalmente ao sistema plantio direto, a utilização de pastagens cultivadas apresenta grande capacidade de aumentar e manter os níveis de MO no solo (Salton, 2005). A importância das raízes, principalmente de gramíneas, na formação de agregados estáveis tem sido reconhecida há algum tempo (Tisdall & Oades, 1979), mas somente recentemente resultados publicados (Gale et al., 2000; Wander & Yang, 2000) têm relatado a importância das raízes na agregação (Silva & Mielniczuk 1997a, 1998; Salton, 2005) e na estabilização da MO associada aos agregados. Na presença de raízes em crescimento, macroagregados podem tornar-se mais estabilizados devido a processos biológicos e físicos induzidos pela penetração das raízes nesses agregados (Six et al., 2002a). Dessa forma, a estabilidade de agregados é maior em solo da rizosfera (Tisdall & Oades, 1979), a qual hospeda uma grande população de organismos que contribuem para o aumento da agregação e do CO no solo, devido à rizodeposição, densidade, comprimento, distribuição de diâmetro e ciclagem de raízes e crescimento de hifas fúngicas (Haynes & Beare, 1997).

Corazza et al. (1999) estudando o comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação de Cerrado no Distrito Federal, concluíram que o acúmulo de carbono foi maior nos sistemas sem perturbação do solo (plantio direto, pastagem cultivada e pastagem de eucalipto). Isso ocorreu, possivelmente, devido ao mecanismo de oclusão da MO em agregados, que é favorecido quando a estrutura de solos é preservada. Pinheiro et al. (2004) ao realizarem separação das frações orgânicas em solo do RJ, observaram maiores quantidades de MOP livre e no interior de agregados sob cobertura vegetal

com gramínea em comparação aos sistemas de preparo do solo (preparo convencional, preparo em nível e cultivo mínimo), não havendo diferença entre esses.

Recentemente, o uso de sistemas agropecuários como sistema de rotação lavoura-pastagem em plantio direto tem sido discutido como uma opção de manejo sustentável do solo nos trópicos (Macedo et al., 2001), onde a fertilidade natural do solo é muito baixa, especialmente considerando a saturação de bases e fósforo disponível. A pastagem semeada em um sistema de rotação combinada pode, usar o fertilizante residual aplicado na cultura anual e melhorar o desenvolvimento da pastagem e da produção animal. Shunke (2000) demonstrou que o acúmulo de carbono no solo pode ser potencializado com a adubação da pastagem. O autor verificou em pastagem de *Brachiaria decumbens*, em Mato Grosso do Sul, aumento da massa seca de raízes, passando de 6,8 para 7,7 Mg ha<sup>-1</sup> e da liteira que foi alterada de 10,9 para 12,4 Mg ha<sup>-1</sup> com a utilização de fósforo e potássio.

#### 2.1.5 Fracionamento e caracterização da matéria orgânica do solo

A distribuição espacial da MO na matriz do solo é fundamental no processo de decomposição microbiana (Oades 1988). A MO do solo pode ser separada em frações homogêneas quanto a sua natureza, dinâmica, função e localização no solo. Essa separação é comumente feita através de técnicas de fracionamento. O fracionamento pode ser químico, adequado ao estudo da composição da MO (fúlvicos, húmicos e huminas), de acordo com a solubilidade dos ácidos orgânicos formados, em solução extratora; ou físico. O fracionamento físico da MO do solo é considerado menos destrutivo e os resultados obtidos das frações físicas são relacionados mais diretamente à estrutura e função da MO do solo *in situ*, quando comparado ao fracionamento químico (Christensen, 1992; 1996; 2000; Golchin et al., 1994a). O fracionamento físico considera a natureza física dos constituintes orgânicos, expressa em escalas variando de molecular a macroscópica e vem sendo amplamente utilizado para a quantificação de compartimentos da MO do solo, visando estudos sobre a dinâmica da mesma.

O fracionamento baseado no tamanho de partícula separa frações com diferentes dinâmicas e tempo de permanência no solo. Os resíduos vegetais parcialmente decompostos são recuperados na fração de tamanho areia ( $> 53 \mu\text{m}$ ), enquanto que os materiais orgânicos mais humificados, oriundos das transformações microbianas, são encontrados nas frações de tamanho silte e argila ( $< 53 \mu\text{m}$ ) (Christensen, 1996).

A utilização de técnicas de fracionamento densimétrico permitem estudar a relação entre a composição da MO e a sua localização na estrutura do solo e interação com a fração mineral, baseado na diferença de densidade entre as frações orgânica e mineral, quantificando diferentes frações orgânicas: (1) a MOP livre localizada entre agregados (Fração Leve Livre - FLL), (2) a MOP oclusa no interior de agregados (Fração Leve Oclusa - FLO) e (3) a MO associada aos minerais (Fração Pesada - FP) (Cambardella & Elliott, 1993; Skjemstad et al., 1993; Hassink et al., 1997; Christensen, 2001; Sohi et al., 2001; Freixo et al., 2002). A FLL é separada mediante agitação manual em líquido de densidade conhecida sem que haja o rompimento dos agregados, enquanto que a FLO é separada após a dispersão, normalmente com ultrassom, de maneira que toda a fração protegida fisicamente no interior dos agregados seja liberada e, a FP, correspondente ao material mais denso do que a solução utilizada para separar as frações, equivale ao carbono associado aos COM de tamanho silte e argila (Roscoe & Machado, 2002).

A FLL representa o material orgânico mais jovem, de origem recente e mais biologicamente ativo, externo aos agregados, como partículas de resíduos vegetais frescos ou parcialmente decompostos e tecidos microbianos, com elevada razão C/N. A decomposição da MO contida nesta fração é controlada principalmente pela recalcitrância do material adicionado ao solo (Sollins et al., 1996), enquanto que a incorporação da MO no interior de agregados de solo protege-a da rápida decomposição e é um dos determinantes da estabilidade da FLO em solos (Golchin et al., 1994a; 1994b). A localização da MO no interior de agregados pode limitar a sua disponibilidade para os organismos decompositores (Christensen, 2001). Isso ocorreria porque, no interior dos agregados, a difusão de água, ar e/ou nutrientes pode ser dificultada, restringindo o ataque de microrganismos, assim como de enzimas (Collins et al., 1997; Hassink & Whitmore, 1997). A FLO representa

um variado conjunto de compostos orgânicos, com tamanho reduzido e grau de decomposição mais avançado em comparação à FLL. Essas duas frações orgânicas apresentam diferentes exposições na matriz do solo e a resultante suscetibilidade à decomposição microbiana conduz a diferenças na estabilidade e dinâmica. A FP é composta por materiais altamente decompostos e exerce grande influência na reatividade físico-química de solos. Por estar sujeita a todos os mecanismos de proteção envolvidos na sua estabilização, a FP é considerada a mais estável das frações densimétricas (Christensen, 1996), com uma taxa de decomposição muito lenta (Golchin et al., 1997). Segundo Freixo et al. (2002) a FP da MO do solo contribui com cerca de 70 a 80% do carbono total em solo sob Cerrado-GO, sendo que em solos cultivados essa contribuição pode ser ainda maior, passando a representar mais de 90% da MO do solo. Esses resultados comprovam a maior estabilidade da FP em solos agrícolas.

Significantes variações químicas da MO induzidas pelo uso do solo podem ocorrer, primeiramente, nos compartimentos mais lábeis da MO, os quais, com o aumento da decomposição, vão sendo metabolizados microbianamente e acumulados na fração mais estável da MO do solo (Golchin et al., 1995). A FLL é a mais lábil e facilmente decomponível das frações orgânicas, sendo, portanto, uma importante fonte de nutrientes e muito sensível às práticas de manejo do solo (Cambardella & Elliott, 1992; Balesdent, 1996; Six et al., 1998, 1999; Freixo et al., 2002; Pinheiro et al., 2004) e, conseqüentemente, altamente influenciada pela história dos cultivos da área. Freixo et al. (2002) ao avaliar diferentes práticas de manejo concluiu que a FLL é um bom indicador das variações na MO do solo induzidas pelo manejo.

Six et al. (1998) observaram grande diferença na FLL entre pastagem e solos cultivados com trigo em preparo convencional e plantio direto e pequena diferença entre esses sistemas, sugerindo que a FLL é influenciada, principalmente, pela taxa de adição de resíduos e pelas condições de temperatura e umidade do solo. Semelhante constatação foi relatada por Roscoe & Buurman (2003), os quais verificaram significativo decréscimo na FLL após conversão do Cerrado (18%) a solo cultivado com milho em preparo convencional (5%) e plantio direto (4%). Esse decréscimo foi atribuído à redução no suprimento de resíduos e ao aumento da taxa de decomposição

desta fração, somado ao alto potencial para decomposição da MO nesse solo, confirmando a maior sensibilidade da FLL ao manejo, já que não observaram diferença na FLO entre tratamentos, com uma variação desta de apenas 1 a 2% do CO total.

Quanto à FLO, Six et al. (1998) afirmam que essa fração é perdida sob preparo convencional devido ao freqüente revolvimento do solo e à conseqüente exposição dessa fração à decomposição. Porém, sob plantio direto, a MO é protegida no interior de agregados por um período maior de tempo, pois a taxa de formação/degradação dos agregados é mais lenta em plantio direto do que em preparo convencional.

A dinâmica da matéria orgânica em suas frações, além de ser alterada pelo manejo, também sofre alterações de acordo com o tipo de solo. Em solos de textura arenosa, a macroagregação pode ser o principal fator de estabilização da MO, enquanto que em solos argilosos ricos em óxidos, ocorre formação de microagregados altamente estáveis, onde grande parte da MO pode ser protegida fisicamente em locais inacessíveis aos microrganismos. Já, Roscoe et al. (2004) consideram que o processo de oclusão de MO em estrutura forte granular de solos ricos em óxidos, conduz à intensa transformação do material orgânico devido ao lento processo de formação de agregados, acumulando material orgânico quimicamente estável.

Diversas técnicas e procedimentos de caracterização do material orgânico têm sido aplicadas às frações físicas, visando o melhor entendimento da dinâmica da MO no solo. Através de técnicas espectroscópicas como espectroscopia de infravermelho e ressonância magnética nuclear de  $^{13}\text{C}$  é possível avaliar a presença e concentração de estruturas presentes na MO ou nas frações da MO, sendo que as suas diferenças composicionais são usadas para descrever as variações que a MO sofre durante o processo de decomposição, a partir do momento em que entra no solo, é incorporada em agregados e eventualmente incorporada à biomassa microbiana e metabólitos associados aos minerais (Golchin et al., 1994b; Sollins et al., 1996).

### 2.1.6 Natureza e composição da matéria orgânica do solo

Resíduos de plantas são a maior fonte de carbono adicionada ao solo. O carbono nesses resíduos está presente em uma ampla variação de substratos, de material citoplasmático facilmente decomponível a componentes mais resistentes da parede celular. Esses compartimentos são identificados em função do estágio de transformações da MO no solo (Zech et al., 1997).

A natureza química da MO do solo é altamente variável e permanece ainda, pouco entendida. No entanto, avanços na instrumentação nos últimos anos têm possibilitado considerável avanço na caracterização química, através da identificação e quantificação dos principais grupamentos químicos presentes na complexa e heterogênea porção orgânica do solo.

A dinâmica de decomposição do material vegetal está associada à sua estrutura (Golchin et al., 1994a; Baldock et al., 1997; Skjemstad et al., 1997). No entanto, apenas um número limitado de dados está disponível sobre a composição química detalhada de espécies comuns de plantas, cujos resíduos são incorporados ao solo.

Um dos principais grupos de moléculas orgânicas encontradas no solo são os carboidratos. Existem estimativas de que os carboidratos constituem entre 5 a 25% da MO do solo e os produtos microbianos são os principais constituintes desse material. Os carboidratos podem ser divididos em três subclasses: monossacarídeos, oligossacarídeos e polissacarídeos, cujas estruturas variam de formas simples, constituídas por cadeias abertas, a formas com variados graus de complexidade. A principal importância dos carboidratos no solo está relacionada à habilidade das complexas estruturas de polissacarídeos se ligarem a partículas inorgânicas, formando agregados estáveis, e a íons metálicos como Fe e Al, formando complexos organometálicos e disponibilizando nutrientes como o P para o desenvolvimento das plantas. Outras propriedades do solo influenciadas por polissacarídeos incluem capacidade de troca de cátions (atribuído à presença de grupos COOH), retenção de ânions (atribuído à presença de grupos NH<sub>2</sub>) e atividade biológica (fonte de energia para microrganismos) (Stevenson, 1994). A estabilidade dos polissacarídeos pode estar associada à combinação de vários fatores como a sua complexidade estrutural, formação de sais insolúveis ou de complexos com

cátions polivalentes, adsorção em argilominerais e superfícies de óxidos e pela proteção física quando eles ocorrem dentro de microporos de agregados do solo (Stevenson, 1994).

A composição inicial da MOP livre no solo é caracterizada pelo alto conteúdo de polissacarídeos, tipicamente encontrado em resíduos de plantas frescas e tecidos microbianos e uma razão C/N entre 12-40. Com o avanço no processo de decomposição, os componentes lábeis quimicamente (facilmente biodisponíveis) tais como carboidratos e material proteínáceo são preferencialmente utilizados, A razão C/N decresce a 12 ou menos e o tamanho dde partícula diminui para 2 a 20  $\mu\text{m}$  (Baldock & Skjemstad 2000). Pesquisas efetuadas em materiais, tanto de tecido vegetal quanto de solo, com natureza diferenciada, têm demonstrado que a quantidade relativa de C O-alquil diminui, à medida que a de C alquil aumenta durante a biodegradação, principalmente nas fases iniciais da decomposição (Golchin et al., 1994a; 1994b; 1995; Pillon, 2000).

Em geral, a quantidade de componentes aromáticos permanece constante ou mantém tendências variáveis. Kögel-Knabner (2002) tem pesquisado sobre a estrutura química dos resíduos orgânicos e algumas das alterações que ocorrem devido a sua decomposição e confirma que a decomposição das plantas envolve perda inicial de carboidratos (celulose e hemicelulose), seguida pela lenta transformação de estruturas aromáticas das moléculas de lignina. Baldock et al. (1992) justificam que o aumento em C aromático e alquil durante os estágios iniciais de decomposição poderia ser explicado pela utilização seletiva de C O-alquil derivado das plantas. Krull et al. (2003) afirmam, no entanto, que com o aumento da decomposição, as estruturas mais estáveis quimicamente, tais como lignina e lipídeos, podem ser degradadas. Na ausência de proteção física, suas taxas de ciclagem dependeriam da disponibilidade de microrganismos decompositores adequados, bem como de condições ambientais adequadas para a decomposição (pH, disponibilidade de oxigênio). Durante a biodegradação, a lignina sofre um processo de transformação oxidativa gradual que introduz grupos carboxílicos na molécula (Kögel-Knabner, 2002).

Carvão originado da combustão de material orgânico, é considerado a estrutura mais recalcitrante do CO do solo, devido ao seu alto grau de

aromaticidade e estruturas químicas altamente condensadas (Krull et al., 2003), sendo um constituinte importante da fração leve de muitos solos (Spycher et al., 1983). Elliott et al., (1991) estimaram que metade da fração leve em solo tropical originou-se de carvão resultante de queimada da vegetação. O aumento no conteúdo de carbono aromático, derivado do carvão, foi identificado por Skjemstad et al. (2001) em análise de RMN  $^{13}\text{C}$ , indicando que a única forma de carbono que sobrevive ao processo de decomposição por longos períodos de tempo é o carvão ou formas geológicas de carvão.

No que diz respeito às frações densimétricas, a clara separação dos compartimentos orgânicos permite eliminar a mistura de materiais quimicamente diferentes e estudar, com mais detalhes, as variações associadas com a decomposição e a dinâmica da MO no solo. Em geral, a variação na estrutura orgânica de frações densimétricas entre solos é mais pronunciada para as frações leves do que para a fração pesada. A fração orgânica protegida no interior dos agregados (FLO), normalmente apresenta maior conteúdo de C alquil e C aromático e menor conteúdo de C O-alquil do que a FLL (Golchin et al., 1994a; 1994b, 1995), indicando o maior avanço da decomposição. A FP consiste de elevada contribuição de produtos do metabolismo microbiano que interagem com a matriz mineral (Baldock et al., 1997; Golchin et al., 1997; Helfrich et al., 2006) e, portanto, apresentam elevada estabilidade às variações decorrentes das práticas de manejo do solo. Esta conclusão é suportada pela observação que carboidratos sintetizados microbianoamente acumulam-se na fração argila da MO do solo (Guggenberger et al., 1994).

## **3 HIPÓTESES E OBJETIVOS GERAIS**

### **3.1 Hipóteses**

Práticas de manejo e agentes agregantes interagem para determinar agregação em um solo.

Diferenças texturais e mineralógicas influenciam de maneira distinta no teor de CO em Latossolos tropicais.

Sistemas de manejo que reduzem as taxas de decomposição e proporcionam elevadas adições de resíduos vegetais, como sistemas com pastagens de gramíneas perenes, contribuem para a melhoria da agregação do solo, o que favorece a proteção física da MO e proporciona o incremento dos seus teores e da sua qualidade em Latossolos da região do Cerrado Brasileiro.

### **3.2 Objetivos**

Avaliar a influência de sistemas de manejo sem revolvimento e com pastagens de gramíneas perenes, sobre a agregação, conteúdo e composição química da MO do solo e das frações da MO, em três Latossolos da região Centro-Oeste do Brasil, e contribuir para o entendimento da dinâmica da MO em solos sob ambiente tropical.

Inferir sobre o mecanismo de proteção física da MO em Latossolos tropicais com textura e mineralogia distintas.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS GERAL

### 4.1 Caracterização das áreas experimentais

A pesquisa foi conduzida a partir de três experimentos de longa duração localizados na Região Centro-Oeste do Brasil. Os três experimentos localizam-se no Estado do Mato Grosso do Sul, nos municípios de Dourados, Maracaju e Campo Grande e pertencem às Instituições de pesquisa Embrapa Agropecuária Oeste, Fundação MS e Embrapa Gado de Corte, respectivamente.

O experimento de Dourados foi instalado em 1995 em um Latossolo Vermelho distroférico típico (Embrapa, 1999), de textura muito argilosa (630 g kg<sup>-1</sup> de argila, 210 g kg<sup>-1</sup> de silte e 160 g kg<sup>-1</sup> de areia) na camada de 0-20 cm, derivado de basalto. Originalmente a área possuía vegetação nativa de cerrado (cerrado ralo), constituída por gramíneas do gênero *Brachiaria* e arbustos distribuídos uniformemente na paisagem. Essa vegetação permaneceu até 1975, quando o solo passou a ser convencionalmente cultivado para a produção de grãos (arroz, soja e milho), sem a adoção de um plano adequado de práticas conservacionistas, até a instalação do experimento.

O experimento de Maracaju foi instalado em um Latossolo Vermelho Distroférico típico (Embrapa, 1999) da área experimental da Fundação MS, no ano de 1993. O solo apresenta textura argilosa (540 g kg<sup>-1</sup> de argila, 190 g kg<sup>-1</sup> de silte, e 270 g kg<sup>-1</sup> de areia), derivado de basalto. Anteriormente à instalação do experimento a área foi mantida sob vegetação nativa (campo cerrado), sendo manejada convencionalmente apenas por um ano com cultivo de arroz. Em dezembro de 1992 foi realizada a correção da acidez e da fertilidade do solo, mediante aplicação de 4 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico (incorporado ao solo com arações e gradagens) e de 400 kg ha<sup>-1</sup> de superfosfato simples e a

implantação do experimento foi em outubro de 1993, após um cultivo de aveia preta em toda a área.

O solo da área experimental de Campo Grande é classificado como Latossolo Vermelho distrófico (Embrapa, 1999), com textura franco argilosa (360 g kg<sup>-1</sup> de argila, 130 g kg<sup>-1</sup> de silte e 510 g kg<sup>-1</sup> de areia), derivado de basalto e arenito. A área foi mantida sob vegetação nativa (cerrado típico) até 1973. Nesse ano foi implantada pastagem de braquiária em toda a área, porém, esta permaneceu em condição de degradação (ausência de adubação e superpastejo) até o ano da instalação do experimento, em 1993, quando então, foi realizada a correção da acidez e fertilidade do solo mediante aplicação de 2,5 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico e de 80 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>.

Os experimentos constam de vários tratamentos, porém, para esta pesquisa, foram selecionados apenas os mais semelhantes entre os locais. Para Dourados e Maracaju, três sistemas de manejo do solo constituíram os tratamentos experimentais, enquanto que para Campo Grande, quatro sistemas foram selecionados. Em adição, áreas adjacentes sob vegetação original (cerrado nativo) foram amostradas como referência da vegetação nativa do solo.

Características gerais das áreas experimentais são apresentadas na Tabela 1 e a identificação e descrição dos tratamentos considerados no presente estudo, na Tabela 2.

Tabela 1. Características gerais das áreas experimentais.

Solo	Classificação		Local de amostragem/ latitude, longitude	Duração do experimento (anos)	Temperatura média anual (°C)	Precipitação média anual (mm)	Clima	Vegetação nativa	Relevo
	Sistema Brasileiro *	FAO **							
LVdf-Dourados	Latossolo Vermelho distroférico típico	Rhodic Ferralsol	Dourados, MS/ 22°14'S, 54°49'W	9	23	1635	Aw, estação chuvosa e quente no verão e seca no inverno	cerrado ralo	plano a suave ondulado
LVdf-Maracaju	Latossolo Vermelho distroférico típico	Humic Ferralsol	Maracaju, MS/ 21°36'S, 55°10'W	11	23	1545	Aw, estação chuvosa e quente no verão e seca no inverno	campo cerrado	plano
LVd-Campo Grande	Latossolo Vermelho distrófico	Rhodic Ferralsol	Campo Grande, MS/ 20°26'S, 54°43'W	11	23	1527	Aw, estação chuvosa e quente no verão e seca no inverno	cerrado típico	plano

\* EMBRAPA (1999)

\*\* FAO (1994)

Tabela 2. Identificação e descrição dos tratamentos.

Solo	TRATAMENTOS (Sistemas de uso e manejo do solo)			Uso do solo anteriormente à implantação dos experimentos
	Lavoura em Plantio Direto	Rotação Lavoura-Pastagem em Plantio Direto	Pastagem Permanente **	
LVdf-Dourados	PD <sup>1</sup>	PD2Pd2 <sup>4</sup>	PPd <sup>6</sup>	20 anos de preparo convencional (arroz, soja e milho)
LVdf-Maracaju	PD <sup>2</sup>	PD2Pd2 <sup>4</sup>	PPd <sup>6</sup>	1 ano de preparo convencional (arroz)
LVd-Campo Grande	PD <sup>3</sup>	PD1Pb3 <sup>5</sup>	PPd <sup>6</sup> , PPd+L <sup>7</sup>	20 anos de pastagem de gramínea degradada ( <i>B. decumbens</i> )

<sup>1</sup> Plantio direto em um sistema de rotação de culturas trianual: nabo (*Raphanus sativus*)/milho (*Zea mays*)-aveia preta (*Avena sativa*)/soja (*Glycine Max*)-trigo (*Triticum aestivum*)/soja

<sup>2</sup> Plantio direto de soja no verão e aveia preta no outono/inverno

<sup>3</sup> Plantio direto de soja no verão e milheto (*Pennisetum specatum*) no outono/inverno até o ano de 2000 e após, sorgo (*Sorghum bicolor*) em substituição ao milheto

<sup>4</sup> Alternância de dois anos de lavoura (soja/aveia) com dois anos de pastagem de gramínea (*Brachiaria decumbens*) em plantio direto

<sup>5</sup> Alternância de um ano de lavoura (soja/milheto) com três anos de pastagem de gramínea (*Brachiaria brizantha*) em plantio direto

<sup>6</sup> Pastagem permanente de gramínea (*Brachiaria decumbens*)

<sup>7</sup> Pastagem permanente de gramínea (*Brachiaria decumbens*) consorciada com leguminosa (*Stylosanthes guianensis*)

\* Foi realizada adubação apenas nos ciclos das culturas de verão, antecedentes às pastagens, não sendo realizada correção da acidez e da fertilidade do solo na implantação e durante o período de desenvolvimento das pastagens.

\*\* Nos três locais a pastagem permanente foi implantada sem a aplicação de corretivos e adubação, exceto para o tratamento PPd+L de Campo Grande que recebeu adubação de manutenção de 80 Kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 80 Kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, a cada dois anos. A pastagem permanente de Dourados foi manejada sob pastoreio rotativo, a de Maracaju foi pastejada esporadicamente e as de Campo Grande foram submetidas a pastejo contínuo.

## 4.2 Amostragem do solo

As amostras de solo foram coletadas em abril de 2004, antecedendo a estação seca. O tratamento Lavoura em Plantio Direto (PD) foi amostrado no final do ciclo das culturas de verão, em todos os locais. O tratamento Rotação Lavoura-Pastagem em Plantio Direto de Dourados e Maracaju (PD2P2) foi amostrado no primeiro ano da lavoura e o de Campo Grande (PD1P3), no segundo ano da pastagem. Foram coletadas três subamostras por tratamento em três camadas de solo: 0-5, 5-10 e 10-20 cm. A amostragem foi realizada abrindo-se uma trincheira e, com o auxílio de uma espátula foram coletados blocos indeformados de solo de 10 x 20 cm, os quais foram utilizados para análise de carbono e de agregados.

As amostras foram manipuladas de forma a separar manualmente os agregados de solo, de acordo com seus planos de fraqueza, passando-os em peneira de malha 9,51 mm, sendo excluídos da amostra, fragmentos de plantas, resíduos, pedras e cascalhos retidos na peneira. Os agregados secos ao ar, sobre pratos de papel, em casa de vegetação, protegidos da incidência direta dos raios solares. Depois de secos, foram acondicionados em frascos plásticos.

Para a análise de carbono, textura e mineralogia, o solo de cada tratamento, constituído por agregados, foi amostrado, moído, passado em peneira de malha 2,0 mm e acondicionado em frascos plásticos. Amostras constituídas por agregados intactos, com diâmetro inferior a 9,51 mm, foram utilizadas para o estudo de agregação e fracionamento físico densimétrico do solo.

## **5 ESTUDO I**

### **Agregação e conteúdo de carbono em frações físicas da matéria orgânica afetadas por pastagens em solos de ambiente tropical**

#### **5.1 Introdução**

O carbono do material orgânico adicionado ao solo, por tecidos de plantas, exudatos radiculares, biomassa microbiana e fauna do solo, está presente em uma ampla variedade de substratos, de material citoplasmático facilmente decomponível a componentes mais resistentes da parede celular. Esse material orgânico sofre transformações físicas e químicas. Parte do carbono é liberado do solo como CO<sub>2</sub> e o restante, estabilizado pelo efeito integrado da recalcitrância molecular, interações organo-minerais e/ou incorporação em agregados de solo (Gregorich & Janzen, 1996; Christensen, 1996). O material orgânico incorporado ao solo tem um papel importante na estabilização de macroagregados a partir de microagregados, permitindo o acúmulo de carbono relativamente lábil, o qual é fonte de energia aos microrganismos heterotróficos.

As alterações que um determinado sistema de manejo causa nos estoques totais de carbono do solo fornecem informações relevantes que ajudam a inferir sobre a eficiência de tal sistema em aportar MO ao solo e atingir qualidade. No entanto, faz-se necessário um estudo detalhado das diferentes frações da MO, relacionando suas alterações quantitativas e qualitativas aos aspectos da estabilidade da MO em sistemas de produção agrícola.

Considerando a grande importância sócio-econômica e ambiental da região central do Brasil, as conseqüências do uso e manejo do solo nesse ecossistema devem ser melhor entendidas, principalmente no que se refere a

sistemas conservacionistas de produção e ao aumento da produtividade. Dessa forma, pode-se chegar a conclusões mais concretas em relação ao desenvolvimento de tecnologias para o estabelecimento de sistemas sustentáveis, bem como para analisar o papel do solo como fonte ou dreno de C-CO<sub>2</sub> em regiões tropicais.

Sistemas conservacionistas como o sistema plantio direto, alternando culturas anuais com pastagens perenes, e a produção de pastagens perenes, estão sendo recentemente discutidos como uma opção de manejo sustentável para os solos do Cerrado, pois promovem o aumento da agregação do solo e proteção à decomposição da MO adicionada, contribuindo com inúmeros benefícios ao sistema como um todo.

Este estudo baseia-se na seguinte hipótese:

Sistemas de manejo do solo que incluem pastagem contribuem para a formação e estabilização da agregação do solo, o que se reflete no aumento da proteção física da MO e no incremento dos seus teores no solo.

Os objetivos deste estudo foram:

Avaliar o efeito de sistemas de manejo sob pastagens no processo de agregação e armazenamento de carbono em três Latossolos tropicais.

Avaliar a influência dos diferentes sistemas de manejo sobre a oclusão da MO em agregados de solos da região do Cerrado Brasileiro.

## **5.2 Material e métodos**

Informações referentes às áreas experimentais e procedimentos de coleta e preparo de amostras de solo foram descritas no item Material e Métodos Geral.

A seguir será descrita metodologia utilizada nas análises realizadas.

### 5.2.1 Agregação

Os agregados foram avaliados de acordo com sua estabilidade em água e a seco, bem como pelo índice de estabilidade de agregados.

Para a avaliação da distribuição dos agregados estáveis em água utilizou-se a metodologia descrita por Kemper & Chepil (1965), com alterações propostas por Carpenedo & Mielniczuk (1990) e por Silva & Mielniczuk (1997b). Duas sub-amostras constituídas por 50 gramas de agregados de diâmetro inferior a 9,51 mm foram retiradas de cada amostra de campo, nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm. Cada sub-amostra foi umedecida por capilaridade durante doze horas, transferida para tubo plástico de 1000 ml (7,2 cm de diâmetro e 23,5 cm de altura) contendo 500 ml de água e agitada por dois minutos em agitador rotativo a 16 rpm. O conteúdo dos tubos foi transferido para um conjunto de peneiras de malha 4,76; 2,00; 1,00; 0,50 e 0,25 mm, o qual foi submetido à oscilação vertical (42 oscilações por minuto) em recipiente com água, durante quinze minutos. A massa de solo que passou através das peneiras durante a agitação e ficou retida no fundo do recipiente com água, foi passada em peneiras de malha 0,105 e 0,053 mm com a finalidade de recuperar o material com diâmetro inferior a 0,053 mm (microagregados de tamanho silte e argila). O solo de cada classe de agregados foi transferido para latas previamente pesadas e seco a 105 °C até atingir peso constante. Após a pesagem, o solo foi imerso em solução dispersante (NaOH 1 mol L<sup>-1</sup>) para exclusão de partículas individuais simples, constituídas pela fração areia. Descontando-se a fração areia retida em cada classe (com exceção da classe < 0,053 mm), calculou-se a distribuição percentual dos agregados nas respectivas classes de diâmetro e o diâmetro médio ponderado dos agregados pelo peneiramento em água (DMPu):

$$AGRi = (mAGRi / \sum AGR) \times 100$$

onde:

$AGRi$  = percentagem de agregados da classe  $i$

$mAGRi$  = massa de agregados da classe  $i$

$\sum AGR$  = massa total de agregados

$$DMP = [\sum (AGRi \times di / \sum AGR)]$$

onde:

$d_i$  = diâmetro médio da classe  $i$ , obtido por  $[(\text{malha superior} + \text{malha inferior})/2]$

A distribuição dos agregados estáveis a seco foi determinada segundo metodologia descrita por Kemper & Rosenau (1986). Sub-amostras (50 gramas) constituídas por agregados de diâmetro inferior a 9,51 mm foram distribuídas sobre um conjunto de peneiras de malha 4,76; 2,00; 1,00; 0,50, 0,25, 0,105 e 0,053 mm, juntamente com um fundo fechado para reter os microagregados de tamanho silte e argila. O conjunto de peneiras foi acoplado a um aparelho vibrador Marca Produtest e submetido ao funcionamento durante um minuto. A fração areia foi obtida da mesma forma que na distribuição dos agregados estáveis em água. Descontando-se a umidade e a quantidade de areia retida em cada peneira, calculou-se a percentagem de agregados para cada classe de diâmetro e o diâmetro médio ponderado dos agregados pelo peneiramento seco (DMPs) da mesma forma como descrito para o peneiramento úmido.

O índice de estabilidade dos agregados (IEA) indica a capacidade dos agregados resistirem à energia de desagregação, o qual foi calculado através da relação  $DMP_u/DMP_s$  e varia de zero a um. Valores próximos a um indicam alta estabilidade de agregados, e valores próximos a zero indicam baixa estabilidade de agregados de solo.

### 5.2.2 Carbono orgânico total e estoques desse elemento no solo

Para a determinação do CO total as amostras foram moídas em gral de ágata até se obter um material homogêneo, com diâmetro inferior a 0,25 mm. A análise foi realizada por combustão seca em analisador de carbono SHIMADZU TOC-V CSH.

Os estoques de CO ( $Mg\ ha^{-1}$ ) foram estimados segundo a metodologia da massa equivalente de solo (Ellert & Bettany, 1995), utilizando-se a densidade da área sob vegetação natural (Apêndice 2) como referência e a massa de solo de cada camada da vegetação natural foi tomada como base

de cálculo para as camadas correspondentes do solo nos sistemas de manejo estudados.

### 5.2.3 Fracionamento densimétrico da matéria orgânica

A quantificação das frações orgânicas foi realizada nas três repetições de campo de cada camada de solo amostrada, sendo o solo utilizado nas análises, proveniente de agregados com diâmetro inferior a 9,51 mm. As frações orgânicas obtidas foram Fração Leve Livre (FLL), Fração Leve Oclusa (FLO) e Fração Pesada (FP) da MO, utilizando-se politungstato de sódio (PTS)  $[\text{Na}_6(\text{W}_{12}\text{O}_{40}\text{H}_2)\cdot\text{H}_2\text{O}]$  (SOMETU, Berlin) dissolvido em água destilada e ajustado à densidade  $2,0 \text{ g cm}^{-3}$ .

Um esquema simplificado do procedimento de separação das frações orgânicas é apresentado na Figura 1.

Inicialmente, amostra de 10 g de solo constituída por agregados (10 g) foi colocada em tubo de centrífuga de 100 mL contendo 80 mL de solução de PTS. O tubo foi fechado com rolha de borracha e invertido 5 vezes, lentamente com a mão, para evitar o rompimento dos agregados e permitir que a FLL (MO localizada entre os agregados) atingisse a superfície da suspensão. As partículas que aderiram à rolha e à borda do tubo, durante a inversão, foram lavadas para dentro da suspensão usando-se solução de PTS, com o auxílio de uma pipeta. A suspensão foi centrifugada a 2000 g por 90 minutos, tempo suficiente para produzir um “pellet” firme em solos de textura pesada. O sobrenadante, contendo a FLL (densidade  $< 2,0 \text{ g cm}^{-3}$ ), foi vertido sobre um funil contendo filtro de fibra de vidro (Whatman GF/A) e filtrado sob vácuo. O filtro, o qual não contém carbono em sua constituição, foi seco em estufa e pesado antes da filtragem. A solução de PTS restante no filtro foi removida através de sucessivas lavagens com água destilada. O filtro com a FLL aderida foi seco em estufa à  $50^\circ\text{C}$  por 24 horas para quantificação da massa, seguido de moagem.

Após a separação da FLL, a solução de PTS foi adicionada novamente ao solo residual (agregados intactos retidos no fundo do tubo), o qual foi resuspenso e misturado à solução. A suspensão foi submetida à dispersão em ultra-som a 450, 530 e  $800 \text{ J mL}^{-1}$  para os solos de Dourados,

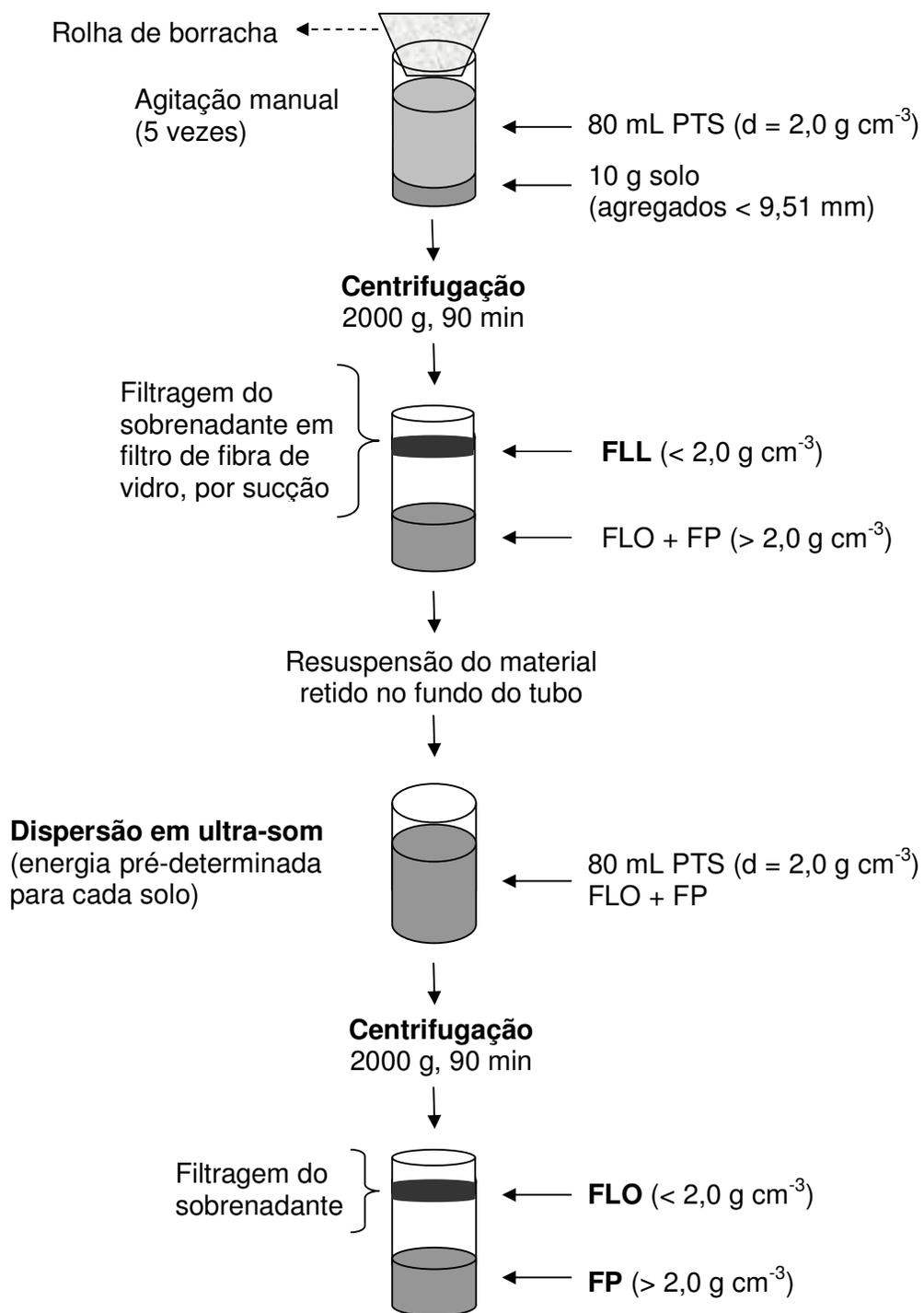


Figura 1. Apresentação esquemática do fracionamento físico densimétrico da MO com a utilização de politungstato de sódio (PTS).

Maracaju e Campo Grande, respectivamente. A energia de dispersão de cada solo foi calibrada em testes preliminares de modo a obter 99% da completa dispersão do solo. A ponteira do ultra-som foi imersa a 2 cm na suspensão, sendo a temperatura desta, mantida inferior a 40°C pela utilização de gelo moído ao redor do tubo. Após a dispersão, a suspensão foi centrifugada por 90 min a 2000 g e o sobrenadante, filtrado, lavado e seco como descrito acima. Dessa forma, obteve-se a fração orgânica leve (densidade  $< 2,0 \text{ g cm}^{-3}$ ) oclusa no interior dos agregados (FLO).

O solo residual que permaneceu no fundo do tubo, após a remoção das frações orgânicas leves livre e oclusa, constituiu a FP (MO do solo associada aos minerais, com densidade  $> 2,0 \text{ g cm}^{-3}$ ). No presente estudo, esse material foi descartado, não se efetuando a quantificação em relação à massa, bem como a determinação do teor de carbono do mesmo.

#### 5.2.4 Carbono nas frações orgânicas

As amostras secas e moídas (juntamente com o filtro) das frações leve livre e leve oclusa foram quantificadas quanto à massa e analisadas quanto ao teor de carbono por combustão seca em analisador de carbono (SHIMADZU TOC-V CSH). O teor de carbono da FP no presente estudo foi obtido pela diferença entre o CO total do solo e o carbono da FLL somado ao carbono da FLO.

#### 5.2.5 Difractometria de raios-X

A análise mineralógica qualitativa da fração argila foi realizada por difratometria de raios-X (DRX) (equipamento Philips, radiação de Fe  $K\alpha$  e filtro de Fe, voltagem de 30 kV e corrente de 30 mA), sendo utilizadas lâminas não orientadas de fração argila desferrificada (intervalo de 4 a 50  $^{\circ}2\theta$ ) e dos óxidos de ferro concentrados (intervalo de 25 a 60  $^{\circ}2\theta$ ). A razão gibbsita/(gibbsita+caulinita),  $Gb/(Gb+Ct)$ , foi calculada segundo a relação entre a área (A) das reflexões Gb (002) e Ct (001):  $AGb/(AGb+ACt)$  (Inda Junior & Kämpf, 2005). A razão goethita/(goethita+hematita),  $Gt/(Gt+Hm)$ , foi estimada por meio do cálculo da área das reflexões Gt (110) e Hm (012), multiplicando-

se a área da reflexão Gt (110) por 0,30, uma vez que a intensidade da reflexão Hm (012) é de 30% (Inda Junior & Kämpf, 2005).

Na TFSA das amostras, o ferro relativo aos óxidos de ferro pedogênicos (Fed) foi extraído em solução de ditionito-citrato-bicarbonato (DCB) de sódio a 80°C em duas extrações sucessivas (Mehra & Jackson, 1960; Inda Junior & Kämpf, 2003). O ferro dos óxidos de ferro de baixa cristalinidade (Feo) foi extraído em solução de oxalato de amônio 0,2 mol L<sup>-1</sup> à pH 3,0, no escuro (Schwertmann, 1964). Os teores de ferro solubilizados foram determinados por espectroscopia de absorção atômica (EAA).

### **5.3 Resultados e discussão**

#### **5.3.1 Agregação do solo**

Resultados referentes à distribuição percentual de agregados em todas as camadas, para cada solo, podem ser observados nas Tabelas 3, 4 e 5. Verificou-se, para todos os solos, que os sistemas com pastagem (permanente e em rotação com lavoura) proporcionaram elevados percentuais de macroagregados, principalmente na classe de diâmetro 4,76 mm, em todas as camadas, porém, as diferenças mais evidentes entre os sistemas de uso e manejo foram observadas na camada superficial (0-5 cm), cujos resultados estão na Figura 2.

Tabela 3. Distribuição da massa do solo LVdf-Dourados, quanto ao diâmetro dos agregados estáveis em água, nas camadas 0-5, 5-10 e 10-20 cm, sob vegetação nativa (VN), plantio direto (PD), rotação lavoura-pastagem (PD2P2) e pastagem permanente de gramínea (PP).

Camada (cm)	Sistemas de uso e manejo	Diâmetro (mm)							
		4,76	2,00	1,00	0,50	0,25	0,105	0,053	<0,053
		%.....							
0-5	VN	24,66 ± 3,8 <sup>a</sup>	17,81 ± 0,3	13,46 ± 0,8	18,59 ± 1,3	13,78 ± 1,1	7,88 ± 0,6	1,27 ± 0,2	2,55 ± 0,1
	PD	23,18 ± 3,9	15,96 ± 1,3	11,60 ± 0,9	17,73 ± 1,8	13,51 ± 1,4	8,95 ± 1,0	2,98 ± 0,2	6,09 ± 0,4
	PD2P2	49,28 ± 1,7	18,05 ± 0,6	9,93 ± 0,7	7,94 ± 0,8	5,52 ± 0,7	3,42 ± 0,4	1,21 ± 0,2	4,63 ± 0,4
	PP	40,78 ± 3,0	21,64 ± 1,2	11,38 ± 0,9	10,73 ± 1,2	7,10 ± 1,5	3,69 ± 0,5	1,03 ± 0,1	3,65 ± 0,2
5-10	VN	37,33 ± 7,0	19,41 ± 0,7	11,14 ± 1,7	11,81 ± 2,1	9,44 ± 1,6	6,80 ± 1,2	1,43 ± 0,2	2,63 ± 0,2
	PD	24,45 ± 3,0	19,97 ± 1,3	13,88 ± 1,2	15,59 ± 1,7	10,70 ± 0,6	7,38 ± 0,3	2,22 ± 0,1	5,81 ± 0,3
	PD2P2	41,37 ± 5,3	18,72 ± 0,5	11,41 ± 1,4	9,20 ± 1,9	5,90 ± 0,6	5,07 ± 0,6	1,92 ± 0,1	6,41 ± 0,4
	PP	45,16 ± 4,2	15,30 ± 1,1	9,27 ± 0,8	10,02 ± 1,0	7,55 ± 1,4	6,42 ± 1,3	1,87 ± 0,4	4,42 ± 0,2
10-20	VN	34,96 ± 7,1	18,55 ± 0,6	12,27 ± 1,7	11,22 ± 2,0	9,61 ± 1,7	7,99 ± 1,2	1,70 ± 0,2	3,69 ± 0,3
	PD	31,48 ± 7,7	17,48 ± 1,2	12,86 ± 2,2	13,67 ± 2,5	9,15 ± 1,4	7,20 ± 0,8	2,20 ± 0,2	5,95 ± 0,2
	PD2P2	35,50 ± 0,1	19,94 ± 0,6	12,07 ± 0,4	10,51 ± 0,4	7,79 ± 0,4	6,04 ± 0,5	2,11 ± 0,2	6,04 ± 0,5
	PP	45,84 ± 2,3	15,09 ± 1,0	8,55 ± 0,5	9,04 ± 0,8	7,50 ± 0,8	7,01 ± 0,7	1,91 ± 0,2	5,06 ± 0,2

<sup>a</sup> Média ± erro padrão

Tabela 4. Distribuição da massa do solo LVdf-Maracaju, quanto ao diâmetro dos agregados estáveis em água, nas camadas 0-5, 5-10 e 10-20 cm, sob vegetação nativa (VN), plantio direto (PD), rotação lavoura-pastagem (PD2P2) e pastagem permanente de gramínea (PP).

Camada (cm)	Sistemas de uso e manejo	Diâmetro (mm)							
		4,76	2,00	1,00	0,50	0,25	0,105	0,053	<0,053
		.....%							
0-5	VN	49,15 <sup>b</sup>	26,68	10,14	6,39	3,41	2,06	0,34	1,83
	PD	15,26 ± 2,8 <sup>a</sup>	18,73 ± 2,0	17,63 ± 1,4	21,75 ± 2,3	12,90 ± 1,8	6,86 ± 1,0	1,95 ± 0,3	4,92 ± 0,1
	PD2P2	40,96 ± 4,3	19,54 ± 1,9	12,70 ± 1,2	12,48 ± 1,8	7,12 ± 0,6	3,28 ± 0,2	0,93 ± 0,2	3,99 ± 0,2
	PP	55,37 ± 5,6	16,39 ± 2,2	9,24 ± 1,2	8,68 ± 1,6	5,36 ± 1,1	2,53 ± 0,1	0,51 ± 0,1	1,91 ± 0,1
5-10	VN	49,30	13,54	9,51	8,97	8,62	6,10	1,32	2,63
	PD	30,72 ± 4,3	23,84 ± 2,8	16,22 ± 2,6	11,96 ± 0,4	6,92 ± 0,7	4,67 ± 0,5	1,45 ± 0,1	4,21 ± 0,2
	PD2P2	49,91 ± 2,4	19,01 ± 0,9	10,38 ± 0,6	8,20 ± 0,4	5,03 ± 0,4	3,23 ± 0,3	0,95 ± 0,1	3,28 ± 0,3
	PP	67,73 ± 4,4	16,17 ± 3,8	5,51 ± 1,0	3,53 ± 0,8	2,16 ± 0,6	1,74 ± 0,4	0,57 ± 0,1	2,59 ± 0,1
10-20	VN	38,16	15,73	11,90	12,60	9,46	7,87	1,57	2,71
	PD	39,14 ± 1,9	20,93 ± 2,4	12,22 ± 0,4	11,07 ± 1,5	6,54 ± 0,6	5,05 ± 0,6	1,39 ± 0,1	3,67 ± 0,2
	PD2P2	49,79 ± 1,6	16,77 ± 1,1	9,78 ± 0,5	8,79 ± 0,2	6,25 ± 0,4	4,39 ± 0,7	1,15 ± 0,1	3,07 ± 0,3
	PP	66,90 ± 4,6	12,69 ± 0,5	5,52 ± 1,0	4,62 ± 1,3	4,01 ± 1,4	2,87 ± 0,9	0,88 ± 0,2	2,50 ± 0,2

<sup>a</sup> Média ± erro padrão; <sup>b</sup> valores correspondentes a apenas 1 repetição.

Tabela 5. Distribuição da massa do solo LVd-Campo Grande, quanto ao diâmetro dos agregados estáveis em água, nas camadas 0-5, 5-10 e 10-20 cm, sob vegetação nativa (VN), plantio direto (PD), rotação lavoura-pastagem (PD1P3), pastagem permanente de gramínea (PP) e pastagem permanente de gramínea consorciada com leguminosa (PP+L) .

Camada (cm)	Sistemas de uso e manejo	Diâmetro (mm)							
		4,76	2,00	1,00	0,50	0,25	0,105	0,053	<0,053
		%							
0-5	VN	21,79 ± 3,1 <sup>a</sup>	17,91 ± 1,4	14,18 ± 1,8	19,78 ± 1,3	17,32 ± 2,8	6,42 ± 1,0	0,84 ± 0,2	1,77 ± 0,2
	PD	13,31 ± 3,2	11,52 ± 0,8	9,18 ± 0,7	18,26 ± 2,9	28,54 ± 1,5	10,71 ± 0,6	2,72 ± 0,4	5,75 ± 0,6
	PD1P3	40,93 ± 2,7	11,55 ± 0,6	7,98 ± 0,3	10,92 ± 0,8	13,99 ± 1,0	8,39 ± 1,0	1,64 ± 0,2	4,60 ± 0,6
	PP	31,56 ± 3,8	20,61 ± 2,3	11,19 ± 1,3	11,56 ± 1,3	13,98 ± 0,6	6,25 ± 0,4	1,11 ± 0,1	3,74 ± 0,1
	PP+L	38,36 ± 1,3	17,05 ± 0,7	13,47 ± 0,8	11,18 ± 0,5	11,27 ± 0,2	4,94 ± 0,1	0,93 ± 0,1	2,81 ± 0,1
5-10	VN	17,98 ± 1,9	20,52 ± 1,1	14,91 ± 0,5	20,19 ± 1,9	16,21 ± 0,4	7,63 ± 0,4	0,82 ± 0,1	1,74 ± 0,1
	PD	21,95 ± 2,2	13,31 ± 0,8	10,14 ± 0,4	13,28 ± 0,7	24,06 ± 1,1	10,38 ± 0,5	2,22 ± 0,1	4,66 ± 0,4
	PD1P3	35,47 ± 1,2	12,90 ± 1,4	8,87 ± 0,6	13,59 ± 0,7	14,89 ± 0,9	8,39 ± 0,6	1,90 ± 0,2	4,00 ± 0,3
	PP	38,39 ± 2,0	23,89 ± 0,6	9,88 ± 0,5	8,95 ± 1,0	11,06 ± 0,8	4,66 ± 0,6	0,81 ± 0,1	2,36 ± 0,2
	PP+L	33,56 ± 3,8	16,58 ± 1,4	13,08 ± 1,4	13,07 ± 1,1	13,22 ± 0,2	6,96 ± 0,7	0,95 ± 0,1	2,58 ± 0,1
10-20	VN	15,85 ± 1,2	19,18 ± 1,0	18,87 ± 0,9	21,09 ± 0,5	14,99 ± 0,4	7,38 ± 1,2	0,95 ± 0,1	1,69 ± 0,1
	PD	16,76 ± 2,6	15,52 ± 1,7	11,38 ± 1,1	14,95 ± 1,1	24,65 ± 0,8	10,50 ± 0,9	2,01 ± 0,2	4,23 ± 0,5
	PD1P3	30,92 ± 3,9	15,04 ± 1,5	9,20 ± 1,2	13,27 ± 1,4	15,62 ± 0,6	10,56 ± 0,5	1,91 ± 0,1	3,48 ± 0,3
	PP	36,50 ± 5,1	21,89 ± 0,8	8,57 ± 1,0	11,15 ± 2,0	13,27 ± 1,3	5,48 ± 0,3	0,83 ± 0,1	2,30 ± 0,1
	PP+L	24,29 ± 4,1	14,24 ± 0,6	11,88 ± 0,9	16,34 ± 1,9	21,25 ± 2,2	7,88 ± 1,2	1,29 ± 0,2	2,84 ± 0,2

<sup>a</sup> Média ± erro padrão

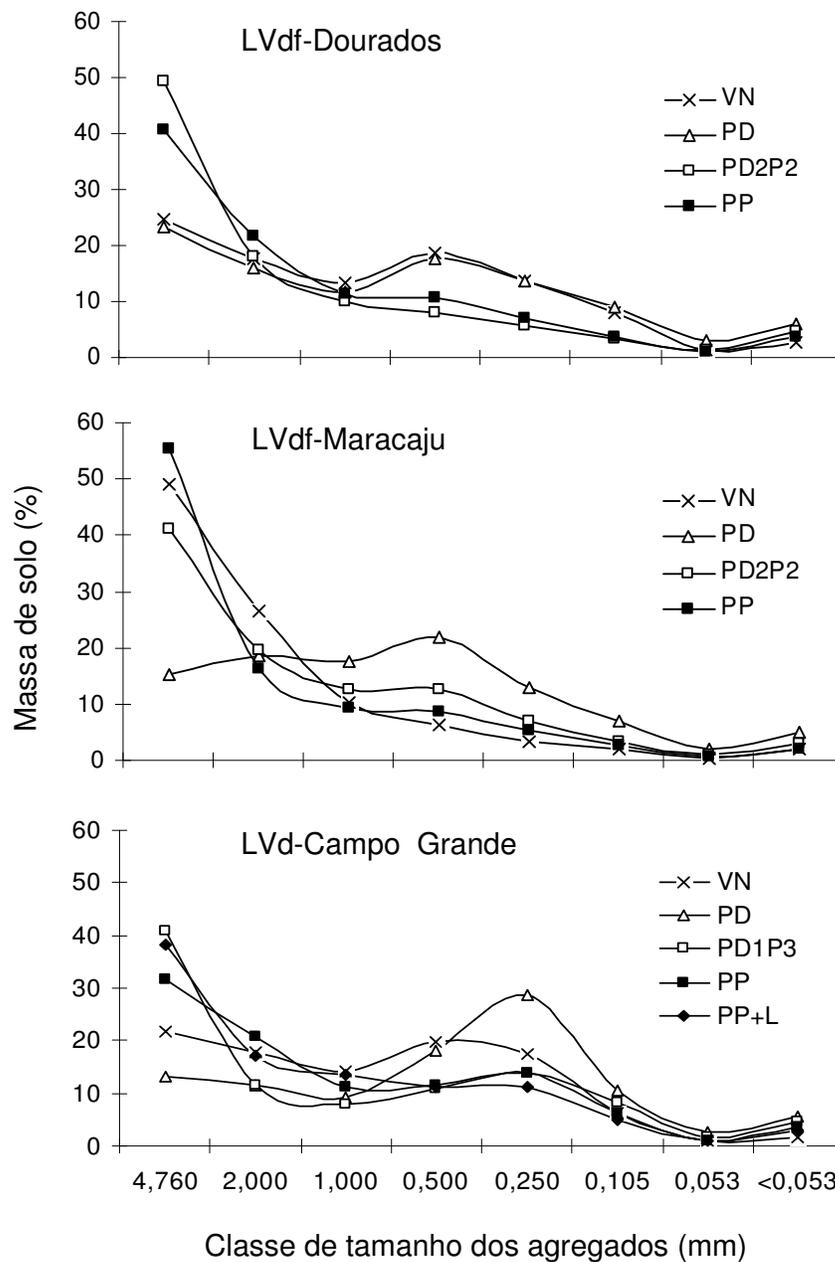


Figura 2. Distribuição percentual da massa de agregados estáveis, na camada de 0-5 cm dos três solos estudados, submetidos a sistemas de uso e manejo. VN: vegetação nativa, PD: plantio direto de culturas anuais, PD2P2: rotação lavoura (soja) por 2 anos/pastagem (*B. decumbens*) por 2 anos em plantio direto, PD1P3: rotação lavoura (soja) por 1 ano/pastagem (*B. brizantha*) por 3 anos em plantio direto, PP: pastagem permanente de gramínea (*B. decumbens*), PP+L: pastagem permanente de gramínea (*B. decumbens*) consorciada com leguminosa (*Stylosanthes guianensis*).

Na camada de 0-5 cm, o sistema PD, o qual provavelmente apresenta o fluxo de energia e matéria mais baixo entre os sistemas, apresentou a menor proporção da massa de solo em estruturas maiores que 0,25 mm (81 a 86%), com uma concentração de 18 a 22% na classe de tamanho 0,50 mm para os três solos e, de 28% na classe de tamanho 0,25 para o solo LVd-CG.

Uma estimativa de produção de matéria seca de pastagem de *Brachiaria decumbens* sem adubação e de *Brachiaria decumbens* + *Stylosanthes guianensis* com adubação de manutenção foi realizada na Embrapa Gado de Corte de Campo Grande - MS por Kanno et al. (2001). Os autores constataram que a produção total de matéria seca foi de 14,60 e de 19,73 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> para as pastagens de *B. decumbens* e de *B. decumbens* + *S. guianensis*, respectivamente. Sendo assim, pode-se considerar que um sistemas de manejo em plantio direto, constituídos apenas por culturas anuais e por uma rotação de culturas anuais com pastagens, apresentem uma produção de matéria seca anual inferior aos sistemas acima referidos. Dessa forma, pode-se considerar que entre os sistemas de manejo utilizados, a adição de resíduos ao solo aumentou, provavelmente, na ordem PD (plantio direto de culturas anuais) < PDP (rotação lavoura-pastagem em plantio direto) < PP (pastagem permanente), aumentando também a adição de CO<sub>2</sub>, a atividade microbiana e a produção de exudatos microbianos e radiculares e, conseqüentemente, a formação de macroagregados estáveis. As raízes das plantas, especialmente das gramíneas, são fontes ativas de exudatos orgânicos, estabilizando agregados por processos biológicos e físicos (Tisdall & Oades, 1979; Oades, 1984). Macroagregados sob sistema sem revolvimento do solo apresentam uma ciclagem mais lenta, resultando em estruturas enriquecidas com MOP e mais resistentes à decomposição (Six et al., 2000c).

Os sistemas com pastagens, tanto em rotação quanto pastagem permanente, foram os mais eficientes na formação e estabilização dos macroagregados, atingindo valores que variaram de 90 a 95% da massa de solo na classe > 0,25 mm, apresentando, conseqüentemente, os menores valores percentuais na classe dos microagregados. Desta análise fica evidente o efeito da pastagem na macroagregação, decorrente possivelmente do não revolvimento do solo, somado ao elevado aporte de resíduos e sistema

radicular abundante. Possivelmente, a fertilização realizada na implantação da soja, no sistema rotação lavoura-pastagem, esteja conduzindo a elevadas densidades radiculares da pastagem subsequente, o que favorece aumento dos teores de MO e da agregação. Influência positiva do sistema radicular de gramíneas na formação de agregados estáveis também foi observada por Carpenedo & Mielniczuk, (1990), Paladini & Mielniczuk (1991), Silva & Mielniczuk (1997a), Haynes & Beare (1997), Campos et al. (1999), Gale et al. (2000), Bronick & Lal (2005), Zotarelli et al. (2005).

Verificou-se também, em termos gerais, que o solo LVdf-M foi o que apresentou os maiores valores de macroagregados para todos os sistemas de uso e manejo, o LVdf-D apresentou valores intermediários e o LVd-CG os menores valores. Isso pode ser resultante do uso do solo anteriormente à implantação dos experimentos, uma vez que o solo LVdf-M foi cultivado apenas durante 1 ano com preparo convencional, o LVdf-D foi cultivado durante 20 anos com preparo convencional e o LVd-CG, 20 anos sob pastagem degradada. Os menores valores observados no solo LVd-CG também podem ser resultantes da textura mais arenosa deste solo em relação aos demais, o que contribui para uma mais rápida taxa de ciclagem (formação/degradação) dos agregados. Por sua vez, nos solos argilosos (LVdf-D e LVdf-M) a provável menor taxa de ciclagem dos agregados está relacionada com a menor taxa de decomposição da MO, que pode ser parcialmente causada por uma maior proteção física da MO pelos agregados devido à adsorção de compostos orgânicos a superfícies de argila e à localização em pequenos poros, inacessíveis aos microrganismos (Tisdall & Oades, 1982).

Para facilitar a análise dos resultados da distribuição dos agregados, dividiu-se a massa total de agregados estáveis em água em três classes de tamanho (Figura 3): < 0,25 mm, 0,25-2,00 mm e > 2,00 mm. Verificou-se que o efeito adicional de ligantes orgânicos na formação de agregados secundários (> 2,00 mm) nestes solos ricos em óxidos é marcadamente mais pronunciado nos sistemas onde há maior adição e manutenção de MO ao longo do ano (sistemas com pastagens). O solo constituinte de estruturas granulares primárias, representado pelos microagregados (< 0,25 mm) e parte dos meso-agregados (0,25 a 2,00 mm), ao interagir com os agentes orgânicos de formação e estabilização, passaram a constituir estruturas maiores e,

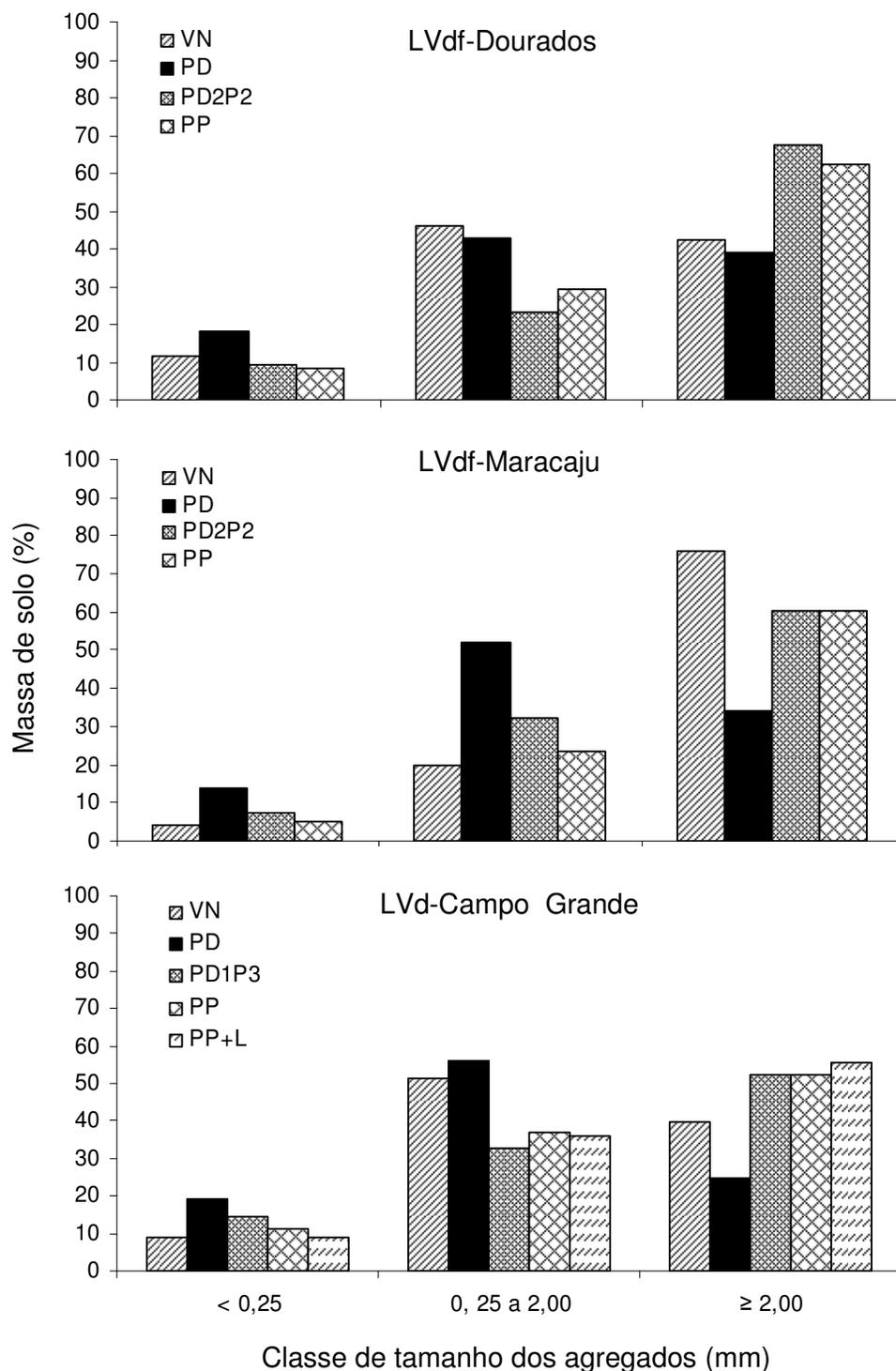


Figura 3. Distribuição dos agregados estáveis em água na camada de 0 a 5 cm dos três solos estudados, agrupados em três classes de tamanho para os sistemas de uso e manejo do solo. *VN*: vegetação nativa, *PD*: plantio direto de culturas anuais, *PD2P2* e *PD1P3*: rotação lavoura-pastagem sob plantio direto, *PP*: pastagem permanente de gramínea, *PP+L*: pastagem permanente de gramínea consorciada com leguminosa.

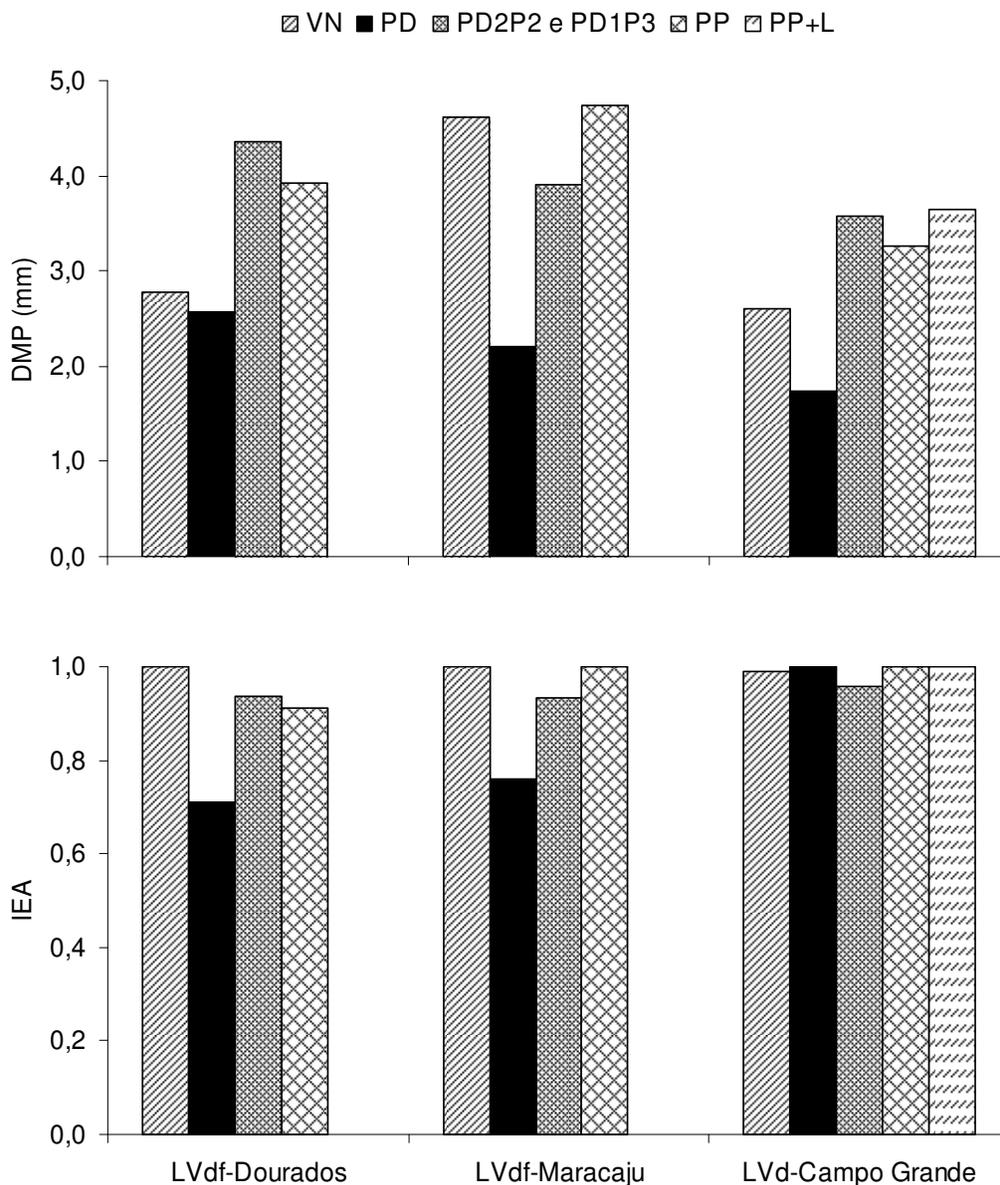
possivelmente mais ricas em carbono. Por outro lado, grande parte dos agregados com diâmetro até 2,00 mm são, provavelmente, resultantes da ação de ligantes minerais como partículas de argila, principalmente nos solos LVdf-D e LVdf-M, e óxidos de Fe e Al, principalmente no solo LVd-CG. Tisdall & Oades (1982) explicam que a estabilidade de agregados com diâmetro superior a 2,00 mm é relacionada ao crescimento de raízes e hifas, sendo, dessa forma, controlada pelas práticas de manejo do solo. A elevada estabilidade estrutural dos sistemas com pastagens resultou em mais de 50% da massa de solo presente como agregados maiores que 2,00 mm, em todos os solos.

Em todos os locais houve uma diminuição na proporção de macroagregados > 2,00 mm no sistema PD em comparação aos sistemas com pastagens e houve um correspondente aumento na proporção de agregados das classes de diâmetro inferior a 2,00 mm. Isto confirma que a produção de agentes cimentantes via sistema radicular e via atividade biológica é fundamental para formar agregados maiores e mais estáveis. O sistema PD dos solos estudados constitui-se da soja como cultura principal no verão, que apresenta baixa relação C/N, aliado às elevadas taxas de decomposição, sendo pouco favorável à formação de agregados maiores e mais estáveis. Dessa forma, grande parte da MO lábil que entra no sistema é prontamente disponível ao ataque microbiano.

Estes resultados evidenciam a importância da inclusão de culturas como as gramíneas perenes nos sistemas de produção em solos tropicais, tanto em rotação com culturas anuais como de forma contínua, isoladamente ou em consórcio com outras espécies.

Na Figura 4 é apresentado um resumo das características de cada solo e os teores de carbono em cada tratamento, onde podemos inferir sobre a influência dos diferentes constituintes desses solos no processo de formação e estabilização de agregados.

O acréscimo na proporção de macroagregados > 2,00 mm observado nos sistemas com pastagens foi também evidenciado pelo diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados obtidos pelo peneiramento em água, que ficou em torno de 4 mm, superior ao sistema PD, que foi inferior a 3 mm e o menor entre os sistemas de uso e manejo para os três solos (Figura 4).



Argila ( $\text{g kg}^{-1}$ )	630	540	360
Feo/Fed	0,03	0,03	0,03
Gt/(Gt+Hm)	0,11	0,08	0,33
Gb/(Gb+Ct)	0,04	0,22	0,47
CO ( $\text{g kg}^{-1}$ )	26 18 24 30	40 22 30 36	34 25 22 22 28

Figura 4. Diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados estáveis em água e índice de estabilidade dos agregados (IEA) na camada de 0 a 5 cm dos três solos estudados, sob sistemas de uso e manejo do solo. VN: vegetação nativa, PD: plantio direto de culturas anuais, PD2P2 (Dourados e Maracaju) e PD1P3 (Campo Grande): rotação lavoura-pastagem sob plantio direto, PP: pastagem permanente de gramínea, PP+L: pastagem permanente de gramínea consorciada com leguminosa.

Observa-se que o aumento da concentração de carbono nos sistemas com pastagens em relação ao sistema PD foi acompanhado pelo aumento de 53 a 70% no DMP para o solo LVdf-D e de 76 a 114% para o solo LVdf-M. Os maiores valores conferidos aos sistemas com pastagens indicam que suas unidades estruturais se apresentam altamente resistentes à desagregação pela ação da água.

A constatação referida também pode ser observada pelo IEA, que é a relação entre o DMP obtido pelo peneiramento em água e o DMP obtido pelo peneiramento a seco. Esse índice engloba todas as variáveis que exercem influência na agregação, representando a estabilidade estrutural de um solo quando submetido a diferentes tipos de uso e manejo. As áreas sob pastagens foram as que apresentaram os maiores valores de IEA para os solos LVdf-D e LVdf-M, demonstrando ser solos melhor estruturados e com agregados mais estáveis. Percebe-se que o cultivo de gramíneas perenes vem contribuindo para a recuperação em termos de melhoria do estado de agregação desses solos em relação ao sistema PD, com valores de IEA similares ao tratamento VN. Entretanto, no solo LVd-CG, apesar da área ter sido submetida por vários anos a pastagem degradada, anteriormente à instalação do experimento, todos os tratamentos apresentam elevado índice de estabilidade, inclusive o PD, embora apresente os menores valores de DMP entre os solos.

Considerando que dentro de cada solo não ocorre variação de textura e mineralogia que possam ser utilizadas para serem responsabilizadas pelo maior ou menor índice de estabilidade apresentados, os maiores teores de argila e de CO, somado ao efeito do sistema radicular das gramíneas, no caso dos tratamentos com pastagens, são, provavelmente, os fatores responsáveis pela estável agregação dos solos LVdf-D e LVdf-M sob pastagens. Neufeldt et al. (2002), ao avaliarem Latossolos argilosos e arenosos do Cerrado Brasileiro, observaram que o conteúdo de MO em solos argilosos foi duas vezes maior do que em solos arenosos, o que foi relacionado à quantidade de sítios de adsorção na superfície mineral da argila por unidade de solo. Feller & Beare (1997) referem-se a esta característica como estabilização de superfície, mostrando uma relação linear entre conteúdo de argila e MO em solos dominados por argila de atividade baixa.

Já, no solo LVd-CG, o qual apresenta o menor teor de argila, a maior proporção de óxidos de Fe (goetita) e Al (gibbsita), constituintes efetivos na estabilização de agregados de solo, parece estar contribuindo mais para a estabilidade dos agregados do que os teores de carbono nos diferentes sistemas de uso e manejo do solo.

Em relação ao DMP, não apenas um fator isolado pode estar contribuindo para a sua elevação, mas o efeito combinado das várias substâncias agregantes responsáveis pela agregação. O comportamento nos três solos sugere que as gramíneas perenes exercem efeitos benéficos e importantes na união de agregados pequenos em agregados grandes, conforme observado também por Silva et al. (1997a, 1998). No entanto, parte da estabilidade em solos dominados por argilominerais 1:1 e óxidos, é induzida pela capacidade ligante destes minerais e óxidos (Tisdall & Oades, 1982, Oades & Waters, 1991). Nesse contexto, as características mineralógicas de um solo podem influenciar a estabilidade potencial e a relação entre conteúdo de MO e estabilidade de agregados do solo (Six et al., 2000b).

### 5.3.2 Carbono orgânico no solo

Os sistemas de manejo influenciaram os estoques de carbono ao longo de 9 anos para o solo de Dourados e de 11 anos para os solos de Maracaju e Campo Grande (Tabela 6).

Em todos os solos, o sistema PD apresentou menores teores de carbono em todas as camadas avaliadas em relação à vegetação nativa de cerrado, exceto nas camadas de 5-10 e 10-20 cm do solo LVdf-M. Essa diferença no estoque de CO na camada de 0-20 cm variou de 5,59 a 9,77 Mg ha<sup>-1</sup>. Isso indica a ocorrência de perdas de carbono nos solos, ocorridas, possivelmente, no período de cultivo anterior ao estabelecimento dos experimentos. Porém, a elevada diferença obtida no solo LVdf-M pode não ser um indicativo de que a área possuía um histórico de utilização que tenha resultado em reduções significativas do estoque de carbono, mas sim, um indicativo de superestimação do estoque de carbono no tratamento VN devido a não representatividade do local de coleta.

Tabela 6. Teores e estoque de carbono nos três solos estudados, sob vegetação nativa (VN), plantio direto (PD), rotação lavoura-pastagem (PD2P2) e (PD1P3) e pastagem permanente de gramínea (PP) e de gramínea consorciada com leguminosa (PP+L).

Sistemas de uso e manejo	Camada (cm)			
	0 - 5	5 - 10	10 - 20	0 - 20
	.....g C kg <sup>-1</sup> solo.....			.....Mg C ha <sup>-1</sup> .....
<b>LVdf-Dourados</b>				
VN	25,83 ± 1,9 <sup>a</sup>	20,83 ± 0,8	16,70 ± 1,0	44,56
PD	18,23 ± 0,9	15,11 ± 0,6	15,60 ± 0,8	36,31
PD2P2	24,48 ± 0,9	17,62 ± 0,4	15,73 ± 0,4	41,03
PP	30,46 ± 2,5	18,98 ± 0,9	16,25 ± 1,1	45,49
<b>LVdf-Maracaju</b>				
VN	39,88 <sup>b</sup>	21,20	18,60	66,34
PD	22,41 ± 0,7	22,25 ± 1,4	19,58 ± 0,5	56,57
PD2P2	30,00 ± 0,6	23,83 ± 0,8	20,62 ± 1,6	64,17
PP	35,70 ± 0,2	24,55 ± 1,1	21,53 ± 1,1	69,73
<b>LVd-Campo Grande</b>				
VN	33,69 ± 6,6	20,86 ± 1,6	18,25 ± 0,4	53,12
PD	25,24 ± 1,6	18,80 ± 0,4	18,04 ± 1,6	47,53
PD1P3	21,94 ± 1,9	19,64 ± 0,8	17,63 ± 0,5	46,00
PP	22,40 ± 0,3	21,93 ± 0,4	19,57 ± 0,2	50,22
PP+L	27,78 ± 0,4	21,28 ± 0,2	18,54 ± 0,5	50,99

<sup>a</sup> Média ± erro padrão; <sup>b</sup> Valores correspondentes a apenas 1 repetição.

Levando em consideração somente os sistemas de manejo do solo, excluindo-se o tratamento VN, observamos que os sistemas com pastagens apresentaram aumento nos teores de carbono em relação ao sistema PD, em todas as profundidades, para os solos LVdf-D e LVdf-M, com exceção do sistema PD1P3 do LVd-CG nas camadas de 0-5 e 10-20 cm. Isso representa, conseqüentemente, um acréscimo no estoque de carbono de 4,72 (PD2P2) e 9,18 Mg ha<sup>-1</sup> (PP) para o solo LVdf-D, de 7,60 (PD2P2) e 13,16 Mg ha<sup>-1</sup> (PP) para o LVdf-M e de 2,69 (PP) e 3,46 Mg ha<sup>-1</sup> (PP+L) para o solo LVd-CG, demonstrando o potencial desses sistemas em recuperar os estoques de MO do solo. As maiores alterações nos teores de carbono, decorrentes dos sistemas de manejo dos solos, foram observadas na camada de 0-5 cm, o que fortalece a importância da adição contínua de MOP como fonte de carbono, na manutenção e/ou recuperação deste no solo. A manutenção dos estoques de

carbono do solo, especialmente as frações lábeis, é essencial à melhoria da qualidade do solo e sustentabilidade dos sistemas de produção.

Resultados de Corazza et al. (1999) demonstram que, sistema manejado sob PD estabelecido por mais de doze anos em Latossolo argiloso da região do Cerrado do Distrito Federal, apresentou um estoque de 7,58 Mg C ha<sup>-1</sup> superior na camada de 0-20 cm em relação à vegetação natural de Cerrado. Bayer et al. (2006) também encontraram em Latossolos Brasileiros sob plantio direto após 15 e 20 anos, estoques de carbono na camada de 0-20 cm, superiores ou equivalentes ao de solo sob Cerrado nativo. Entretanto, para as condições de manejo adotadas no presente estudo, o sistema PD com culturas anuais, não favoreceu o aumento nos estoques de carbono do solo da mesma forma que os sistemas com pastagens, o que é favorecido pela constante renovação tanto do sistema radicular como da parte aérea das gramíneas perenes utilizadas em rotação com culturas anuais sob plantio direto e em sistema de pastagem permanente (contínua). Esse aporte adicional de carbono no sistema permite o solo atingir uma melhor agregação, a qual exerce papel dominante na proteção física da MO do solo, pois a interação entre agregados de solo e MO tem dois caminhos: a MO estabiliza agregados e agregados de solo estabilizam a MO (Six et al., 2000b).

Somente o sistema PP superou o estoque de carbono do tratamento VN, em 1 a 3 Mg ha<sup>-1</sup>, nos solos LVdf-D e LVdf-M, respectivamente. Esses resultados são coerentes com os de Roscoe et al. (2001), em que os autores estudaram o impacto da conversão de cerrado nativo em pastagem cultivada de braquiária após 23 anos em um Latossolo tropical com alto teor de argila (>800 g kg<sup>-1</sup>) e não encontraram diferença significativa no estoque de carbono entre esses tratamentos, o que foi atribuído à alta produção de biomassa das gramíneas tropicais e ao efeito da argila na estabilização de carbono (Hassink & Whitmore, 1997; Schulten & Leinweber, 2000). Estudos similares em solos de Cerrado têm mostrado que pastagens cultivadas mantêm ou até aumentam os estoques de carbono no solo (Corazza et al., 1999; Neufeldt et al., 2002).

Entre os solos estudados, as maiores diferenças no estoque de carbono dos sistemas com pastagens em relação ao sistema PD foram observadas na ordem LVdf-M > LVdf-D > LVd-CG. De certa forma, o LVdf-M apresentava uma condição inicial beneficiada pelo manejo anterior da área,

que foi cultivada apenas durante um ano sob preparo convencional. Porém, os solos LVdf-D e LVd-CG, embora apresentem um histórico similar, sendo cultivados durante 20 anos sob preparo convencional de soja/milho e 20 anos sob pastagem degradada, respectivamente, as características intrínsecas desses solos como a textura e os teores de óxidos de Fe e Al, são bastante distintas (Figura 4).

O fato do LVd-CG apresentar as menores diferenças no estoque de carbono dos sistemas com pastagens em relação ao PD e ainda não ter atingido o estoque da VN, pode estar relacionado com a textura argilo-arenosa desse solo, o que poderia estar limitando a capacidade deste solo em estocar carbono, apesar da elevada proporção de óxidos de Fe (goetita) e Al (gibsitita), comparativamente aos outros solos. Por outro lado, existe grande potencial das pastagens em acumular carbono ao solo, o que pode ser potencializado com a adubação da pastagem como demonstrado por Shunke (2000). A baixa adição de fertilizantes e a inadequada taxa de pastejo na região do Cerrado explicam, em parte, o processo de degradação em que as pastagens se encontram (Macedo, 1995), principalmente em solos de textura arenosa como o LVd-CG.

### 5.3.3 Fracionamento da matéria orgânica do solo

Diferenças das frações orgânicas, em decorrência dos sistemas de uso e manejo, em cada solo estudado, podem ser observadas na Tabela 7.

No LVdf-D, a fração pesada, por ser a mais estável das frações à decomposição, foi a que representou a maior percentagem do CO do solo, contribuindo com 67 a 87%. Os menores valores percentuais (67 a 76%) são observados na camada de 0-5 cm, onde a contribuição das frações leves é maior. Entre estas, a FLO representou os maiores teores de carbono em todas as profundidades e sistemas de uso e manejo. Na camada de 0-5 cm, onde o efeito do manejo é mais pronunciado, 14 a 25% do CO do solo ocorreu na MO oclusa em agregados, com destaque para os sistemas com pastagens (PD2P2 e PP), os quais representam o maior acúmulo entre os sistemas (25%). O efeito das raízes das gramíneas sobre a agregação favoreceu a oclusão de material orgânico em todas as camadas, evidenciando a importância do mecanismo de proteção física na estabilização do CO em solos tropicais.

Tabela 7. Teores de carbono nas frações físicas da MO (FLL, FLO e FP), carbono orgânico total (COT) e % de cada fração em relação ao COT, nos três solos estudados, sob vegetação nativa (VN), plantio direto (PD), rotação lavoura-pastagem (PD2P2 e PD1P3) e pastagem permanente de gramínea (PP) e de gramínea com leguminosa (PP+L).

Solo	Sistemas de uso e manejo	COT		FLL		FLO		FP		
		g C kg <sup>-1</sup> solo	g C kg <sup>-1</sup> solo	%	g C kg <sup>-1</sup> solo	%	g C kg <sup>-1</sup> solo	%		
0-5 cm										
LVDf-D	VN	25,83 ± 1,9 <sup>a</sup>	2,70 ± 0,4	10	3,60 ± 0,6	14	19,53 ± 2,4	76		
	PD	18,23 ± 0,9	1,15 ± 0,2	6	3,89 ± 0,1	21	13,19 ± 0,6	72		
	PD2P2	24,48 ± 0,9	1,28 ± 0,2	5	6,04 ± 0,5	25	17,16 ± 0,1	70		
	PP	30,46 ± 2,5	2,52 ± 0,6	8	7,53 ± 0,4	25	20,42 ± 1,6	67		
	5-10 cm									
	VN	20,83 ± 0,8	0,68 ± 0,1	3	2,88 ± 0,2	14	17,27 ± 0,7	83		
	PD	15,11 ± 0,6	0,38 ± 0,1	3	2,65 ± 0,2	18	12,08 ± 0,5	80		
	PD2P2	17,62 ± 0,4	0,47 ± 0,1	3	3,27 ± 0,1	19	13,88 ± 0,3	79		
	PP	18,98 ± 0,9	0,81 ± 0,2	4	3,65 ± 0,3	19	14,52 ± 0,7	77		
	10-20 cm									
	VN	16,70 ± 1,0	0,31 ± 0,1	2	1,91 ± 0,1	11	14,48 ± 1,0	87		
	PD	15,60 ± 0,8	0,48 ± 0,1	3	2,44 ± 0,3	16	12,68 ± 0,6	81		
PD2P2	15,73 ± 0,4	0,34 ± 0,1	2	2,61 ± 0,2	17	12,78 ± 0,2	81			
PP	16,25 ± 1,1	0,37 ± 0,1	2	2,95 ± 0,1	18	12,92 ± 1,1	80			
LVDf-M	0-5 cm									
	VN	39,88 <sup>b</sup>	4,12	10	11,34	28	24,42	61		
	PD	22,41 ± 0,7	0,94 ± 0,2	4	4,14 ± 0,1	18	17,33 ± 0,4	78		
	PD2P2	30,00 ± 0,6	1,25 ± 0,1	4	5,84 ± 0,2	19	22,91 ± 0,8	76		
	PP	35,70 ± 0,2	1,88 ± 0,1	5	7,45 ± 0,8	21	26,36 ± 0,9	74		
	5-10 cm									
	VN	21,20	0,39	2	4,16	20	16,65	79		
	PD	22,25 ± 1,4	0,32 ± 0,1	1	3,27 ± 0,4	15	18,66 ± 0,9	84		
	PD2P2	23,83 ± 0,8	0,64 ± 0,3	3	3,76 ± 0,1	16	19,42 ± 1,0	81		
	PP	24,55 ± 1,1	0,53 ± 0,1	2	4,05 ± 0,5	16	19,97 ± 0,7	81		
	10-20 cm									
	VN	18,60	0,28	2	2,93	16	15,38	83		
PD	19,58 ± 0,5	0,18 ± 0,1	1	2,10 ± 0,2	11	17,29 ± 0,4	88			
PD2P2	20,62 ± 1,6	0,27 ± 0,1	1	2,42 ± 0,4	12	17,93 ± 1,2	87			
PP	21,53 ± 1,1	0,33 ± 0,1	2	2,55 ± 0,5	12	18,66 ± 0,6	87			
LVDf-CG	0-5 cm									
	VN	33,69 ± 6,6	5,24 ± 2,3	16	5,85 ± 0,9	17	22,59 ± 3,5	67		
	PD	25,24 ± 1,6	3,59 ± 0,5	14	5,49 ± 0,5	22	16,16 ± 0,8	64		
	PD1P3	21,94 ± 1,9	1,90 ± 0,2	9	5,14 ± 0,6	23	14,91 ± 1,3	68		
	PP	22,40 ± 0,3	1,24 ± 0,2	6	4,23 ± 0,3	19	16,93 ± 0,5	76		
	PP+L	27,78 ± 0,4	2,15 ± 0,2	8	6,50 ± 0,3	23	19,13 ± 0,2	69		
	5-10 cm									
	VN	20,86 ± 1,6	1,74 ± 0,2	8	3,60 ± 0,4	17	15,52 ± 1,1	74		
	PD	18,80 ± 0,4	1,15 ± 0,2	6	3,63 ± 0,2	19	14,02 ± 0,1	75		
	PD1P3	19,64 ± 0,8	0,59 ± 0,1	3	3,41 ± 0,1	17	15,64 ± 0,8	80		
	PP	21,93 ± 0,4	0,70 ± 0,1	3	4,10 ± 0,6	19	17,13 ± 0,2	78		
	PP+L	21,28 ± 0,2	0,75 ± 0,1	4	3,49 ± 0,3	16	17,04 ± 0,2	80		
10-20 cm										
VN	18,25 ± 0,4	0,72 ± 0,1	4	2,67 ± 0,6	15	14,86 ± 0,4	81			
PD	18,04 ± 1,6	0,93 ± 0,1	5	2,76 ± 0,3	15	14,35 ± 1,3	80			
PD1P3	17,63 ± 0,5	0,51 ± 0,1	3	3,00 ± 0,1	17	14,13 ± 0,4	80			
PP	19,57 ± 0,2	0,56 ± 0,1	3	3,14 ± 0,2	16	15,86 ± 0,1	81			
PP+L	18,54 ± 0,5	0,60 ± 0,2	3	2,59 ± 0,1	14	15,35 ± 0,7	83			

<sup>a</sup> Média ± erro padrão; <sup>b</sup> Valores correspondentes a apenas 1 repetição.

A FLL, a qual independe dos níveis de proteção física e química, variou de 1,15 g C kg<sup>-1</sup> de solo a 2,70 g C kg<sup>-1</sup> de solo na camada superficial, representando 5 a 10% do CO armazenado no solo. Nas demais camadas a sua contribuição foi inferior, não ultrapassando 4%. Ainda na camada superficial, o tratamento VN apresentou a maior concentração de carbono na FLL (2,70 g C kg<sup>-1</sup> de solo), não diferindo do sistema PP. Isso evidencia a contribuição do material orgânico senescente (liteira) do Cerrado, depositado em superfície, para o aumento do compartimento mais lábil da MO. Na FLO, entretanto, o tratamento VN apresentou a menor concentração de carbono (3,60 g C kg<sup>-1</sup> de solo), não diferindo do sistema PD.

Entre os sistemas de manejo (PD, PD2P2 e PP) no solo LVdf-D, o sistema PD apresentou os menores teores de carbono em todas as frações e profundidades, com exceção da FLL na camada de 10-20 cm. Apesar do tempo de duração do experimento ser considerado relativamente longo (9 anos), o solo sob PD ainda não atingiu os estoques originais do Cerrado (Tabela 6), pois, apesar de ser cultivado em sistema de rotação de culturas trianual (aveia/soja, trigo/soja e nabo/milho), outros fatores podem estar contribuindo para estes resultados, como por exemplo, o modo como o solo foi conduzido anteriormente à instalação do experimento e à quantidade e qualidade dos resíduos vegetais adicionados anualmente pelo sistema, cuja decomposição pode ser acelerada pelas condições climáticas da região.

O LVdf-M apresentou os maiores estoques de CO do solo (Tabela 6), e a FP contribuiu com a maior proporção de CO entre os três solos (Tabela 7), representando 88% do CO no sistema PD na camada de 10-20 cm. Observa-se que a contribuição das frações leves para o COT no solo decresceu em profundidade. Entre os sistemas de manejo, tanto as concentrações de carbono da FLL quanto da FLO aumentaram na ordem PD<PD2P2<PP. Na camada superficial, os teores de carbono da FLO variaram de 4,1 g C kg<sup>-1</sup> de solo (PD) a 7,4 g C kg<sup>-1</sup> de solo (PP), o que equivale a uma contribuição de 18 a 21% do CO do solo. Resultados encontrados por Golchin et al. (1994a), a partir de amostra de agregados < 2,00 mm, na camada de 0-10 cm de 5 solos sob vegetação natural revelam que a proporção de CO do solo recuperado como FLO representou 9,2% a 17,5% e foram maiores em solos com maior conteúdo de argila, porém, inferiores aos observados neste estudo. Nas

demais profundidades a variação da FLO entre os sistemas foi pequena, com menor magnitude na camada de 10-20 cm. A FLL contribuiu com uma pequena proporção de carbono, representando em torno de 4% do CO armazenado, na camada de 0-5 cm, enquanto que na camada de 5-10 cm variou de 1% a 3% do CO total e manteve-se estável na camada de 10-20 cm com 1% do CO total em todos os sistemas.

Houve certa semelhança quanto aos teores de carbono das frações leves da MO entre os sistemas de manejo dos solos LVdf-D e LVdf-M. Como os teores de CO total do LVdf-M são maiores que do LVdf-D, os teores de carbono das frações leves deste solo representam, conseqüentemente, uma menor proporção do CO total em relação aos teores das frações leves do LVdf-D. A semelhança em relação à FLO, provavelmente esteja relacionada à semelhança nos teores, principalmente de argila, pois o aumento na concentração de argila é associado com o aumento na estabilização do CO do solo (Sollins et al., 1996).

Na camada de 0-5 cm, o tratamento VN de Maracaju apresentou teor de carbono nas frações leves superior aos demais sistemas. Essa superestimação ocorreu, provavelmente, devido à dificuldade de se encontrar uma área de vegetação nativa representativa do cerrado, situada na mesma cota da área experimental.

No solo LVd-CG, apesar da proporção de microagregados ( $< 0,25$  mm) e mesoagregados (0,25 a 2,00 mm) ser maior e de macroagregados ( $\geq 2,00$  mm) ser menor (Figura 3), comparativamente aos solos LVdf-D e LVdf-M, suas concentrações de carbono da FLO são semelhantes e tão elevadas quanto nos demais solos. Isso pode estar associado à influência dos óxidos de Fe e Al somado ao efeito da MO, ambos atuando conjuntamente como agentes responsáveis pela formação e estabilização de agregados. Como não se tem informações suficientes para inferir sobre o limite de tamanho entre micro e macroagregados em solos ricos em óxidos, possivelmente, grande parte da FLO esteja sendo protegida em micro e mesoagregados, uma vez que, devido à textura, a taxa de ciclagem, principalmente dos macroagregados  $> 2,00$  mm, supostamente, deve ser mais rápida que nos solos argilosos. Entretanto, estas conjecturas precisam ser esclarecidas, através de um fracionamento

densimétrico detalhado, visando a separação das frações orgânicas localizadas em micro e macroagregados.

O sistema PD, ao contrário do ocorrido nos outros solos, se sobressaiu para as concentrações de carbono da FLO e, principalmente da FLL em todas as camadas. Uma possível explicação para estes resultados é a grande quantidade de carvão observada visualmente (a olho nu e em lupa) tanto no filtro da FLL como no filtro da FLO desse sistema, o que pode estar causando uma superestimação dos valores. Esse fato não foi constatado, na mesma proporção, para os outros sistemas de manejo e a causa para isto não é explícita, uma vez que a área, no período anterior à instalação do experimento, foi submetida às mesmas condições. Carvão pode ser um importante constituinte da fração leve de alguns solos (Spycher et al., 1983; Skjemstad et al., 1990). Elliott et al. (1991) estimaram que aproximadamente metade da fração leve em um solo tropical era carvão, resultante de roçada e queima da vegetação. Pelos resultados obtidos pela espectroscopia de RMN  $^{13}\text{C}$  (Tabela 11), os quais serão discutidos no Estudo II, constatou-se uma maior proporção de C aromático (alta recalcitrância) na FLL do sistema plantio PD em relação aos outros sistemas, o que é uma evidência da presença de carvão.

Por sua vez, a PP do LVd-CG foi um tratamento conduzido sem adubação, o que se refletiu no reduzido desenvolvimento em que a pastagem se encontrava no momento em que foi realizada a coleta de solo. Parte da superfície estava exposta ao pisoteio e à ação da chuva, com pouco material senescente disponível para a biosíntese microbiana e para proteger o solo da degradação. Conseqüentemente, na camada superficial (0-5 cm), esse sistema apresentou a menor contribuição da FLL (6%) com  $1,24 \text{ g C kg}^{-1}$  de solo e da FLO (19%) com  $4,23 \text{ g C kg}^{-1}$  de solo e, a maior contribuição da FP (76%) para o COT, entre os sistemas de manejo. A proporção de carbono nas frações do sistema PP, nas camadas mais profundas, foi maior do que nos demais sistemas, atingindo na camada de 0-20 cm um estoque elevado ( $50,22 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) e semelhante ao sistema PP+L ( $50,99 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) (Tabela 6). Comportamento similar observado por Fischer et al. (1994) em pastagem cultivada nas savanas colombianas, foi atribuído ao sistema radicular agressivo, embora a pastagem estivesse degradada.

Na Figura 5 observa-se o efeito dos sistemas de manejo na retenção de carbono nos compartimentos das frações leves da MO dos três solos estudados.

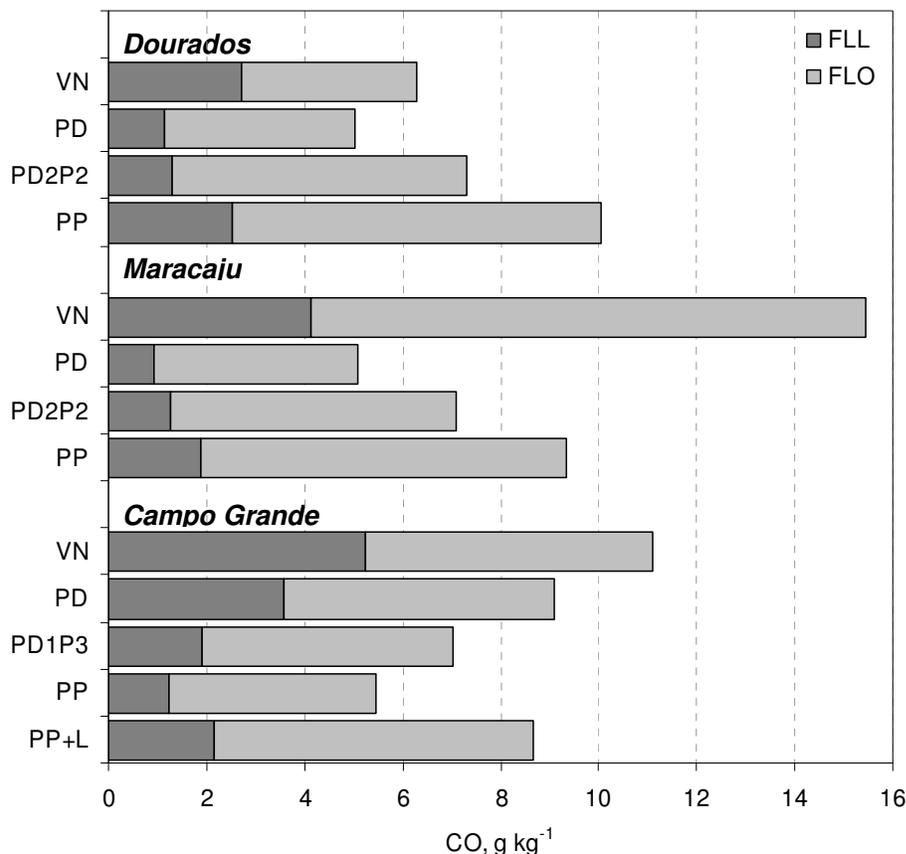


Figura 5. Teores de carbono nas frações físicas da MO (FLL e FLO) na camada de 0-5 cm dos três solos estudados, sob diferentes sistemas de uso e manejo. VN: vegetação nativa, PD: plântio direto de culturas anuais, PD2P2 e PD1P3: rotação lavoura-pastagem sob plântio direto, PP: pastagem permanente de gramínea, PP+L: pastagem permanente de gramínea consorciada com leguminosa.

Considerando o aumento na retenção de carbono nas frações leves, do sistema PD para os sistemas com pastagens, observou-se comportamento similar entre os solos LVdf-D e LVdf-M.

Entre o sistema PD e PD2P2, o aumento de carbono na FLL foi mais significativo para o solo LVdf-M (33%) do que para o solo LVdf-D (11%). Enquanto que na FLO, o aumento foi maior no LVdf-D (55%) do que no LVdf-M (41%). A concentração da FLL no solo é afetada pela adição de resíduos (Besnard et al., 1996) e pelo microclima do solo (Krull et al., 2003), pois sua

permanência no solo está relacionada apenas à própria recalcitrância molecular (Sollins et al., 1996). Sendo assim, pode-se dizer que o PD2P2 do LVdf-D está adicionando menos resíduo e/ou as condições que facilitam a sua degradação são mais favoráveis do que no solo LVdf-M.

Já, entre os dois sistemas com pastagens, o aumento de carbono que ocorreu na FLL foi praticamente o dobro no LVdf-D, enquanto que na FLO foi muito similar entre os dois solos. Entre os sistemas extremos, PD e PP, observou-se, tanto na FLL quanto na FLO, um aumento de carbono em torno de duas vezes mais favorável para o sistema PP.

Considerando que a incorporação de material orgânico recente no interior de agregados (preferencialmente macroagregados), representa um dos principais mecanismos de proteção e estabilização da MO no solo (Beare et al., 1994b; Paustian et al., 1995; Balesdent et al., 1998), o material orgânico protegido fisicamente, que constitui a FLO, parece ser coerente com a grande percentagem de macroagregados nos sistemas com pastagens desses solos.

O ambiente menos oxidativo do solo sob plantio direto de culturas anuais em rotação com gramíneas perenes e, principalmente, sob pastagem permanente de gramíneas perenes, intensifica os fluxos de matéria (carbono fotossintetizado, nutrientes, etc) e energia no solo, refletindo-se no aumento dos teores de carbono, principalmente através dos compartimentos mais lábeis da MO, os quais são mais sensíveis ao manejo do solo (Gregorich & Janzen, 1996).

Ao contrário dos outros dois solos, observou-se, na FLL do LVd-CG, que o carbono sofreu um déficit do sistema PD para os demais sistemas, variando de 47% entre PD e PD1P3 a 65% entre PD e PP e a 40% entre PD e PP+L. Por outro lado, o déficit de carbono na FLO foi menor e ocorreu somente entre PD e PD1P3 (6%) e entre PD e PP (23%), enquanto que entre os sistemas PD e PP+L ocorreu um aumento de 18% na FLO. A principal causa do acentuado decréscimo de carbono na FLL no sistema PD em relação aos demais sistemas é a elevada, e talvez superestimada, concentração de carbono na FLL do sistema PD, conforme discutido anteriormente.

Considerando apenas os sistemas com pastagem permanente (PP e PP+L), observou-se um acréscimo de 73% e de 54% para a FLL e FLO, respectivamente. Esperava-se um acréscimo menos acentuado entre esses

sistemas, porém, a qualidade do manejo (fertilização e pastejo) é distinta e favorável ao sistema PP+L, além da presença de leguminosa nesse sistema. Essas condições, entre outras, expressam o significativo potencial do sistema PP+L em aumentar a adição de resíduos orgânicos e protegê-los dentro de agregados, tornando-os menos acessíveis aos microrganismos e suas enzimas e reduzindo a velocidade de decomposição dos mesmos (Christensen, 2000).

A magnitude do efeito das pastagens (permanente e em rotação com lavoura) nos diferentes mecanismos de proteção da MO foi avaliada pela variação no estoque de carbono em cada fração em relação à variação no estoque de CO total do solo, na camada de 0-5 cm, para os solos LVdf-D e LVdf-M, tendo-se como referência o solo em PD. Por outro lado, devido à provável presença de carvão na FLL e FLO do solo LVd-CG em PD (plantio direto de culturas anuais), utilizou-se o sistema PP (pastagem permanente), o qual não foi fertilizado, como referência para avaliar o efeito dos sistemas PD1P3 (rotação lavoura-pastagem) e PP+L (pastagem permanente de gramínea consorciada com leguminosa), os quais apresentaram melhor manejo de pastejo e fertilização (Tabela 8).

Tabela 8. Estoque de carbono nas frações leve livre (FLL), leve oclusa (FLO), pesada (FP) e no solo integral (COT) na camada de 0-5 cm e relação da variação das frações com a variação do COT para os três solos estudados.

Solo	Sistema de manejo	FLL	FLO	FP	COT	$\Delta$ Fração/ $\Delta$ COT		
						FLL	FLO	FP
		Mg C ha <sup>-1</sup>				%		
LVdf-D	PD	0,61 ± 0,1 <sup>a</sup>	2,04 ± 0,1	6,92 ± 0,3	9,57 ± 0,4			
	PD2P2	0,67 ± 0,1	3,17 ± 0,3	9,01 ± 0,1	12,85 ± 0,4	2	34	64
	PP	1,32 ± 0,3	3,95 ± 0,2	10,72 ± 0,8	15,99 ± 1,3	11	30	59
LVdf-M	PD	0,63 ± 0,2	2,79 ± 0,1	11,70 ± 0,3	15,13 ± 0,4			
	PD2P2	0,84 ± 0,1	3,94 ± 0,1	15,46 ± 0,5	20,25 ± 0,4	4	22	74
	PP	1,27 ± 0,1	5,03 ± 0,5	17,79 ± 0,6	24,10 ± 0,2	7	25	68
LVd-CG	PP	0,58 ± 0,1	1,99 ± 0,1	7,96 ± 0,2	10,53 ± 0,1			
	PD1P3	0,89 ± 0,1	2,41 ± 0,3	7,01 ± 0,6	10,31 ± 0,9	-	-	-
	PP+L	1,01 ± 0,1	3,05 ± 0,1	8,99 ± 0,1	13,06 ± 0,2	17	42	41

<sup>a</sup> Média ± erro padrão.

A proporção de CO total mantido no solo nos sistemas com pastagens, em cada mecanismo de proteção, foi semelhante entre os solos

LVdf-D e LVdf-M. Verifica-se que ocorreram níveis crescentes de proteção da MO do solo entre as FLL, FLO e FP. O estoque de carbono na FLO foi superior ao da FLL, o que é coerente com a existência de dois mecanismos atuando conjuntamente para a estabilização da MO, através da recalitrância molecular das estruturas orgânicas e oclusão desses no interior de agregados. Da mesma forma, na FP ocorreu a maior proporção do estoque de CO total do solo, sendo coerente com a proposição da presença, na FP, dos mecanismos de recalitrância, proteção física e química (Sollins et al., 1996).

O sistema pastagem permanente contribuiu mais para o aumento de carbono na FLL do que o sistema rotação lavoura-pastagem, devido, provavelmente, a não interrupção do ciclo da pastagem. Assim, a quantidade de resíduos tende a ser contínua e a velocidade de decomposição tende a diminuir.

Para os solos LVdf-D e LVdf-M, os benefícios dos sistemas de manejo que contemplam os requisitos de mínimo revolvimento do solo e alto aporte de resíduos vegetais (sistemas com pastagens) se refletiram no aumento da retenção de carbono no solo, principalmente através dos mecanismos de proteção física e química. O acúmulo de MO protegida da decomposição microbiana no interior de agregados (FLO) contribuiu de forma mais efetiva ao acúmulo total de CO no solo entre as frações leves, sendo responsável por 30 a 34% do acúmulo de carbono no solo LVdf-D e por 22 a 25% no solo LVdf-M. Dessa maneira, pode-se inferir que o mecanismo de proteção física foi de 3 a 17 vezes mais importante no acúmulo de carbono no solo do que o mecanismo de recalitrância.

O mecanismo de proteção química foi o mais importante no acúmulo de carbono no solo, sendo que o carbono na FP representou de 59 a 64% do acúmulo de CO total no solo LVdf-D e de 68 a 74% no solo LVdf-M, concordando com resultados de literatura que indicam ser essa a fração responsável pela manutenção da maior parte do estoque de CO total (Christensen, 1992; Cambardella & Elliott, 1994, Six et al., 1999; Roscoe & Machado, 2002). No solo LVdf-M, onde o estoque de CO total foi maior, a proporção de carbono associado à matriz mineral (FP) também foi maior.

Para o solo LVd-CG verificou-se efeito positivo apenas do sistema PP+L em relação ao sistema PP, o qual foi usado como referência. O sistema

PD1P3, apesar de apresentar acúmulo de carbono na FLL e na FLO superior ao sistema PP, apresenta acúmulo inferior na FP e também no estoque de CO total, o que faz com que o efeito do maior suprimento de carbono ao solo via material particulado não se manifeste. O fato do sistema PD1P3 ser adubado somente na implantação da soja, seguido por três anos com pastejo contínuo sem adubação da pastagem, pode estar contribuindo para o declínio no acúmulo de carbono no compartimento mais estável da MO do solo. Por outro lado, o sistema PP+L, além de receber adubação de manutenção a cada dois anos, fixa nitrogênio atmosférico através da leguminosa consorciada, beneficiando, dessa forma, o desenvolvimento da gramínea e, conseqüentemente, o efeito desta sobre a agregação e proteção da MO do solo em agregados estáveis, bem como contribuindo para aumentar o estoque de carbono associado com a matriz mineral.

Por sua vez, o uso do solo com PP+L apresentou relevante importância em todos os mecanismos de proteção da MO. O mecanismo de proteção física se mostrou tão eficiente quanto à proteção química em acumular carbono no solo, sendo que cada mecanismo foi responsável por aproximadamente 40% do CO total acumulado na camada superficial do solo. Esses resultados evidenciam que a utilização de um sistema manejado com qualidade conduz o solo a atingir qualidade.

#### **5.4 Conclusões**

A inclusão de braquiária nos sistemas de produção, através da sua integração com culturas produtoras de grãos sob plantio direto ou como pastagem contínua, proporciona uma melhor agregação ao solo, bem como o incremento do estoque total de carbono em solos da região do Cerrado Brasileiro.

A melhoria da agregação e o aumento dos teores de carbono nas frações físicas da MO e do CO total em solos sob pastagens estão relacionados, provavelmente, com a contribuição do aporte de material orgânico particulado via parte aérea e, principalmente via sistema radicular das gramíneas perenes utilizadas nos sistemas de produção.

O efeito da pastagem na proteção física, em sistema contínuo, depende de uma adequada adubação de manutenção. Em sistema de rotação com culturas anuais, o efeito da pastagem também depende da duração do ciclo mantido com lavoura.

O mecanismo de proteção física pela agregação, nos sistemas com pastagens, foi responsável por mais de 30% do acúmulo de carbono no solo LVdf-Dourados e por mais de 20% no solo LVdf-Maracaju, sendo a maior parte do carbono do solo acumulado na FP. No solo LVd-Campo Grande, o sistema de manejo PP+L contribuiu com 40% do acúmulo de carbono na FLO e 40% na FP, ocorrendo assim, a mesma ordem de importância entre os mecanismos de proteção física e química da MO no solo.

## **6 ESTUDO II**

### **Qualidade da matéria orgânica em sistemas de manejo sob pastagens, avaliada por RMN <sup>13</sup>C CPMAS, em solos da região do Cerrado Brasileiro**

#### **6.1 Introdução**

Práticas de manejo do solo exercem considerável influência sobre os níveis de MO do solo por controlar a quantidade de substrato adicionado, bem como a taxa de ciclagem e de mineralização da MO do solo. Embora o teor de MO do solo seja um importante atributo na avaliação da sustentabilidade dos sistemas agrícolas, a composição química da MO do solo, a qual afetará diretamente sua biodegradação, também deve ser considerada em estudos sobre seu comportamento no solo, pois o conhecimento sobre a estrutura e função da MO pode ser usado para avaliar o impacto de diferentes tipos de uso e manejo sobre a qualidade do solo (Oades, 1987; 1988; Golchin et al., 1994a; 1994b; 1995; Ceretta, 1999; Baldock et al., 1997; Conte & Piccolo, 1997; Kögel-Knabner, 1997; Skjemstad et al., 1997; Bayer et al., 2000; Pillon, 2000; Sohi et al., 2001; Freixo et al., 2002; Kölbl & Kögel-Knabner, 2004; Roscoe et al., 2004; Diekow et al., 2005; Dick et al., 2005).

A significativa influência dos sistemas de manejo sobre a composição de frações densimétricas leves (livre e oclusa) é reportada em alguns estudos, sendo que estes compartimentos orgânicos, principalmente a FLL, são altamente sensíveis e diretamente afetados pelo manejo do solo (Gregorich et al., 1989; Gregorich & Janzen, 1996; Six et al., 1998). O efeito do manejo em proteger a MO é realçado pelo uso de sistemas agrícolas que melhorem e preservem a estrutura do solo, possibilitando, assim, o acúmulo e estabilização da MO (fisicamente protegida no interior de agregados estáveis) por um maior período de tempo. A fração pesada, constituída por MO associada aos

minerais, pertence a um compartimento orgânico mais estável (Christensen, 1992; Golchin et al., 1997). A elevada estabilidade da fração pesada é realçada em solos tropicais devido ao alto teor de óxidos de Fe e Al (Sollins et al., 1996; Zotarelli et al., 2005). A composição química dos materiais orgânicos livres (FLL) mantém as características do material vegetal de origem (Golchin et al., 1994a, 1994b). Por outro lado, as variações verificadas na composição e na qualidade do carbono associado com a FLO e com a FP são resultantes de diferenças na natureza e na magnitude dos processos de decomposição atuantes em cada solo e influenciados pelos diferentes sistemas de manejo.

Técnicas como a espectroscopia na região do infravermelho, a ressonância paramagnética eletrônica (EPR) e a ressonância magnética nuclear (RMN) têm conduzido os maiores avanços em estudos de caracterização da MO do solo. Dentre essas técnicas, a RMN  $^{13}\text{C}$  CPMAS tem sido mais frequentemente utilizada e amplamente aceita na avaliação das variações na composição estrutural da MO durante sua decomposição, o que se expressa em diferentes níveis de recalcitrância e estabilização da MO no solo. (Golchin et al., 1994a; 1994b; 1995; Ceretta, 1999; Baldock et al., 1997; Conte & Piccolo, 1997; Kögel-Knabner, 1997; Skjemstad et al., 1997; Bayer et al., 2000; Pillon, 2000; Sohi et al., 2001; Freixo et al., 2002; Kölbl & Kögel-Knabner, 2004; Roscoe et al., 2004). Esses estudos têm demonstrado que polissacarídeos são os componentes estruturais primeiramente afetados pela decomposição microbiana, conduzindo a um decréscimo no conteúdo de C O-alquil. Adicionalmente, em muitos estudos, um concomitante aumento no conteúdo de C alquil tem sido observado e explicado pela preservação seletiva e pela síntese microbiana *in situ* (Golchin et al., 1994b; Baldock et al., 1997; Pillon, 2000; Kölbl & Kögel-Knabner, 2004;).

A vantagem da técnica de RMN é que ela fornece informações sobre a composição química das estruturas orgânicas presentes em amostras de solo inteiro ou de frações orgânicas, sem a necessidade de extração e fracionamento químico. Apesar de ser utilizada há mais de quatro décadas, somente nos últimos 15 a 20 anos é que o desenvolvimento da RMN  $^{13}\text{C}$  tem permitido a expansão de seu uso em estudos de MO do solo. No entanto, informações referentes ao efeito do uso do solo na composição química do CO

em frações densimétricas de solos ainda são insuficientes, principalmente no que diz respeito a solos tropicais brasileiros.

Este estudo baseia-se na seguinte hipótese:

Sistemas de manejo sob pastagens de gramíneas perenes influem na qualidade da matéria orgânica leve livre, oclusa em agregados e associada aos minerais de solos tropicais da região do Cerrado Brasileiro.

O objetivo do presente estudo foi:

Avaliar a influência de sistemas de manejo sob pastagens, na qualidade e composição química da matéria orgânica do solo e de suas frações físicas densimétricas.

## **6.2 Material e métodos**

Informações referentes às áreas experimentais e procedimentos de coleta e preparo de amostras de solo foram descritas no item Material e Métodos Geral.

A seguir será descrita metodologia utilizada nas análises realizadas.

### **6.2.1 Fracionamento densimétrico da matéria orgânica**

Com o objetivo de se obter quantidade suficiente de amostra das frações orgânicas para a realização das análises espectroscópicas de RMN, realizou-se a repetição do fracionamento densimétrico da MO do solo descrito no Estudo I, utilizando-se solo da amostra original de agregados utilizada inicialmente. Neste procedimento, a FP, além das frações leves (FLL e FLO) também foi quantificada. Para tanto, foi realizada a remoção politungstato de sódio (PTS) do solo residual, através de lavagem com água destilada, para dentro de um tubo de 250 ml. O tubo foi fechado e a suspensão, agitada com a mão até a completa dispersão do “pellet” e, após, centrifugada a 2000 g por 30 min. Este procedimento foi repetido três vezes a fim de remover o PTS da

fração. Por fim, a FP foi transferida para frascos plásticos menores para a secagem a 50° C, pesada e moída.

Amostras de solo integral (< 0,5 mm) e das frações orgânicas, apenas da camada superficial (0-5 cm), dos três solos foram selecionadas para este estudo.

### 6.2.2 Tratamento químico das amostras

Os solos utilizados para realizar a presente pesquisa contêm elevado teor de óxidos de ferro. A baixa abundância relativa do isótopo  $C^{13}$  na natureza, aliada com a baixa concentração de carbono nas amostras de solo, pode gerar espectros com baixa relação sinal/ruído. Portanto, as amostras de solo inteiro e da FP necessitaram ser previamente tratadas com solução de ácido fluorídrico 10% (HF) a fim de remover o íon paramagnético  $Fe^{3+}$ , componente inorgânico que interfere nas análises espectroscópicas, e concentrar o C da amostra e, conseqüentemente, melhorar a qualidade dos espectros de RMN (Schmidt et al., 1997). Através de resultados obtidos por amostras tratadas com HF, Diekow (2003), Schmidt et al. (1997), Gonçalves et al. (2003) e Dick et al. (2005), constataram que não houve alterações na relação C:N, supondo-se assim, que a composição da matéria orgânica não foi alterada pelo tratamento.

Na seqüência segue uma breve descrição metodológica do procedimento realizado no tratamento com HF das amostras de solo inteiro e da FP, conforme Diekow (2003), antes do emprego da técnica espectroscópica. As amostras a serem tratadas (5 g) foram pesadas em tubo de centrífuga de 250 mL, ao qual 200 mL de solução HF 10% foram adicionados. A suspensão ficou sob agitação por um período de 5 a 7 dias, visando à solubilização dos minerais. Essa solubilização pode, de certa forma, ser monitorada visualmente, pois à medida que ela ocorre, somente o material orgânico, de coloração escura tende a se depositar no fundo do tubo. Após a agitação, a suspensão foi centrifugada durante 20 minutos a uma rotação de 3000 rpm e o sobrenadante, descartado. A remoção do excesso de HF do material orgânico remanescente foi feita através de três lavagens com água destilada seguidas de centrifugação. As amostras tratadas foram secas em estufa a 50° C.

Na figura 6 são apresentados espectros de RMN  $^{13}\text{C}$  CPMAS para amostras de solo inteiro não tratado e tratado com HF 10%. Para a amostra não tratada com HF, a aquisição de sinal por 40 minutos (Figura 6a) e 12 horas (Figura 6b), resultou em espectros de RMN com baixa razão sinal/ruído, não sendo adequados para quantificação dos diferentes tipos de carbono. Por outro lado, a aquisição de sinal por 40 minutos em amostra tratada com HF 10% (Figura 6c), resultou em um espectro de RMN com alta razão sinal/ruído.

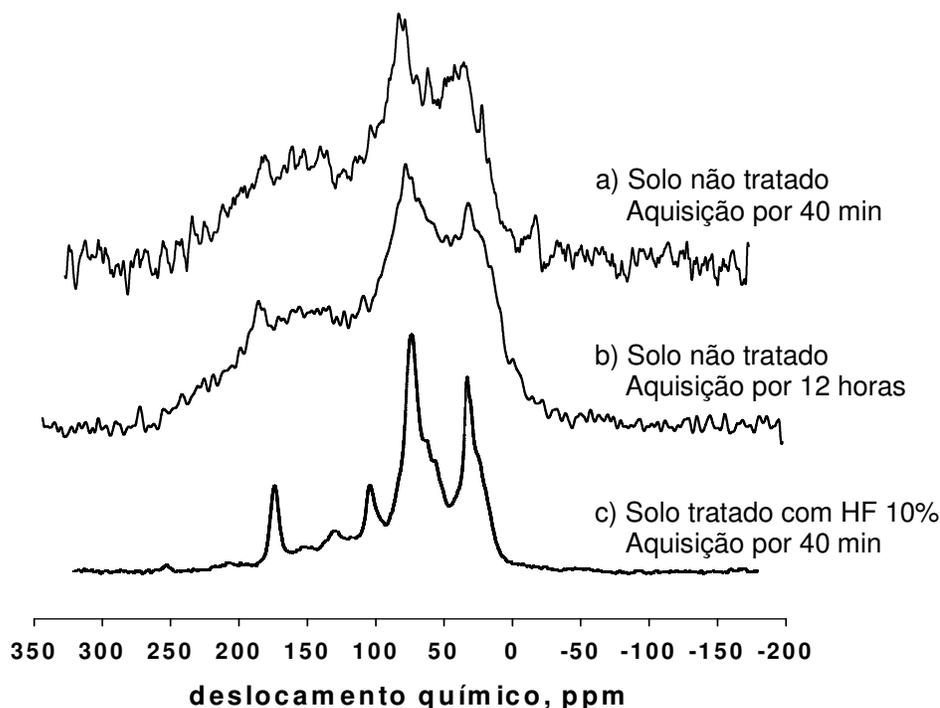


Figura 6. Espectros de RMN  $^{13}\text{C}$  CPMAS de amostra de solo inteiro (LVdf-Dourados) não tratada, a) e b) e tratada c) com HF 10%.

As amostras da FLO, apesar de conterem alta concentração de carbono, também foram tratadas com HF 10%, devido a uma possível contaminação com óxidos de Fe, verificada a partir da coloração avermelhada das amostras. Essa contaminação pode ter sido proveniente de uma forte associação de material orgânico ocluso, em estágio intermediário de decomposição, com partículas minerais, o que, possivelmente, estaria resistindo ao tratamento físico com ultra-som.

O procedimento metodológico para o tratamento da FLO diferiu do descrito acima para as amostras de solo inteiro e FP. Aproximadamente 0,3 g

da FLO foram pesadas em tubo de 40 ml e adicionados 20 ml de solução HF 10%. A suspensão foi agitada durante 3 h em agitador horizontal e, após, centrifugada durante 10 min a 3000 rpm. O sobrenadante foi removido e descartado, e o resíduo foi novamente, submetido ao tratamento com HF. Após 3 subseqüentes tratamentos com HF, as amostras foram lavadas com água destilada por 5 vezes, até a completa remoção do HF e, por fim, foram congeladas e liofilizadas.

Espectros de RMN  $^{13}\text{C}$  CPMAS para amostras de FLO não tratada e tratada com HF 10% estão demonstrados na Figura 7.

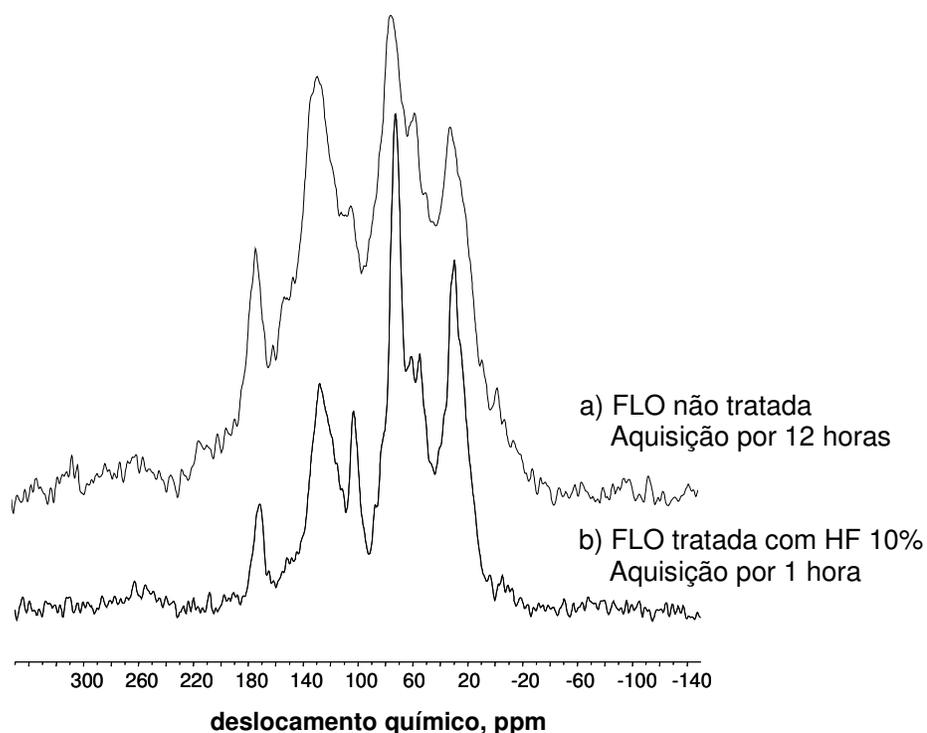


Figura 7. Espectros de RMN  $^{13}\text{C}$  CPMAS de amostra de FLO da MO do solo LVdf-Dourados não tratada, a) e tratada b) com HF 10%.

Para a amostra não tratada com HF, a aquisição de sinal por 12 horas (Figura 7a), resultou em espectro de RMN com baixa razão sinal/ruído, além de elevada proporção de C aromático, o que nos levou a considerar a hipótese de que estivesse ocorrendo algum grau de associação das estruturas orgânicas oclusas, como C O-alkil e C alkil, com partículas minerais. A aquisição de sinal por 1 hora em amostra tratada com HF 10% (Figura 7b), resultou, no entanto, em um espectro de RMN adequado para quantificação

dos diferentes tipos de carbono, com 7% e 5% de aumento na proporção de C O-alkil e C alkil, respectivamente, e 7% de redução na proporção de C aromático. Análises complementares, no entanto, necessitam ser realizadas para esclarecer a hipótese de interação entre resíduos vegetais parcialmente decompostos da FLO e a fração inorgânica.

As amostras da FLL também não possibilitaram a obtenção de espectros de boa qualidade, apresentando inadequada razão sinal-ruído (Figura 8a e 8b), o que pode estar relacionado à presença de microagregados fortemente associados aos fragmentos orgânicos (densidade  $< 2,0 \text{ g cm}^{-3}$ ) não decompostos ou parcialmente decompostos, constituídos principalmente por raízes finas. Em teste preliminar com uma amostra de FLL tratada com ditionito de sódio, observou-se considerável melhoria na qualidade espectral sem promover alterações na estrutura química dos compostos (Figura 8c). Por esta razão, optamos pelo tratamento com ditionito de sódio da FLL.

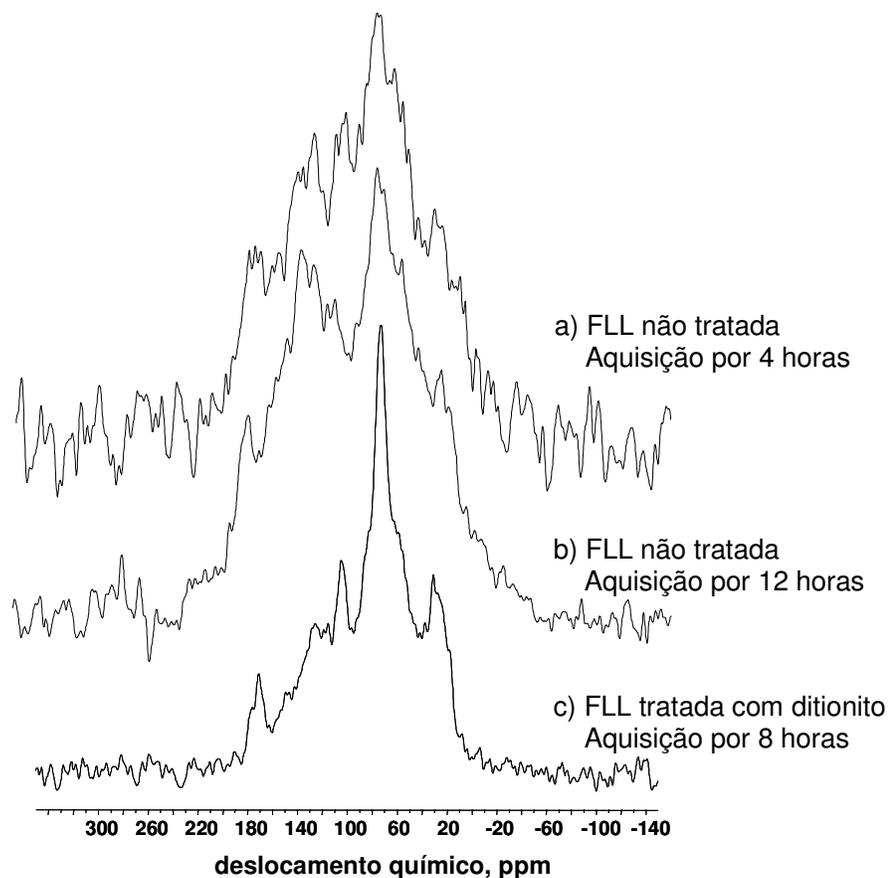


Figura 8. Espectros de RMN  $^{13}\text{C}$  CPMAS de amostra de FLL da MO do solo LVdf-Dourados não tratada, a) e b) e tratada c) com ditionito de sódio.

As amostras correspondentes à FLL, portanto, foram submetidas ao tratamento com ditionito de sódio ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ ). Optou-se por ditionito ao invés de HF devido a menor periculosidade e visível eficiência do tratamento, embora alguns autores (Preston et al., 1994; Skjemstad et al., 1994) considerem o tratamento com ditionito de sódio menos eficiente em remover constituintes minerais do que o tratamento com HF. Vassalo et al. (1987) constatou efeito positivo do uso do ditionito na remoção de óxidos de ferro. A metodologia para o tratamento da FLL consistiu em pesar 0,5 g de amostra em tubo de 40 ml, adicionando-se 20 mL de ditionito de sódio. A suspensão foi agitada durante 16 h e após, centrifugada por 10 min a 3000 rpm. O sobrenadante foi descartado e o resíduo (amostra tratada), lavado com água destilada por 3 vezes, seguido por centrifugação e liofilização.

Não foram observadas significativas variações, promovidas pelo tratamento com HF 10% e ditionito de sódio, na composição química da matéria orgânica das frações densimétricas, uma vez que a relação C:N destas amostras mostrou-se similar antes e após tratamento (Tabela 9).

Tabela 9. Relação C:N das frações orgânicas, antes (inicial) e após (final) tratamento com HF 10% (FLO e FP) e ditionito de sódio (FLL).

Solo	Sistemas de manejo	Relação C:N					
		FLL		FLO		FP	
		inicial	final	inicial	final	inicial	final
LVdf-D	PD	16,5	18,8	16,1	17,6	11,3	9,8
	PD2P2	22,3	22,8	19,3	19,3	11,7	10,1
	PP	24,4	26,3	20,4	20,7	12,7	11,2
LVdf-M	PD	14,0	14,5	17,9	18,5	12,6	10,8
	PD2P2	19,4	20,0	20,4	23,4	12,6	11,2
	PP	28,7	29,5	25,1	22,9	13,8	12,9
LVd-CG	PD	15,8	18,1	16,0	16,7	14,6	11,8
	PD1P3	20,0	19,8	19,1	19,1	16,4	13,3
	PP	29,9	31,4	22,6	23,5	14,7	11,8
	PP+L	18,9	19,6	17,8	17,2	14,8	11,8

FLL: fração leve livre, FLO: fração leve oclusa, FP: fração pesada, PD: plantio direto de culturas anuais, PD2P2: rotação lavoura (soja) por 2 anos/pastagem (*B. decumbens*), PD1P3: rotação lavoura (soja) por 1 ano/pastagem (*B. brizantha*) por 3 anos em plantio direto, PP: pastagem permanente de gramínea (*B. decumbens*); PP+L: pastagem permanente de gramínea (*B. decumbens*) consorciada com leguminosa (*Stylosanthes guianensis*).

### 6.2.3 Análise espectroscópica de RMN $^{13}\text{C}$ CPMAS

A qualidade da matéria orgânica foi avaliada por espectroscopia de RMN  $^{13}\text{C}$  CPMAS, segundo metodologia descrita em Skjemstad et al. (1993).

A caracterização espectroscópica por RMN  $^{13}\text{C}$  CPMAS das amostras das frações orgânicas foi realizada com um espectrômetro Bruker DSX 200, pertencente ao Departamento de Solos da Universidade Técnica de Munique, Alemanha. Amostras em pó foram colocadas em um rotor de zircônio de 7 mm operando com uma frequência de giro de 6,8 kHz e a uma frequência de ressonância do  $^{13}\text{C}$  de 50,3 MHz e utilizando-se a técnica da polarização cruzada com ângulo mágico de rotação (CPMAS). A fim de melhorar a razão sinal/ruído, aplicou-se nos espectros um alargamento de linha de 100 Hz. A escala de deslocamento químico dos espectros foi referenciada pelo composto tetrametilsilano (TMS = 0 ppm). Para uma comparação qualitativa, os espectros foram divididos em quatro principais regiões de deslocamento químico, que correspondem a diferentes tipos de C: C alquil (0-45 ppm), C O-alquil (45-110 ppm), C aromático (110-160 ppm) e C carboxílico (160-220 ppm) (Knicker & Lüdemann, 1995). A quantificação de cada tipo de C foi realizada através da integração das áreas dos correspondentes picos no espectro.

A composição da matéria orgânica das amostras de solo integral foi analisada em espectrômetro semelhante ao descrito acima, porém, pertencente à Embrapa Instrumentação Agropecuária, em São Carlos-SP, em um trabalho de parceria com essa Instituição. As amostras foram acondicionadas em um rotor cilíndrico de zircônio com 5 mm de diâmetro, girando a 8,5 kHz. Os espectros foram obtidos usando-se frequência de ressonância de 100,58 MHz para  $^{13}\text{C}$  com banda espectral para polarização cruzada (CP). Os valores de deslocamentos químicos foram referenciados ao tetrametilsilano (TMS=0 ppm) e a contribuição relativa de cada tipo de carbono para a intensidade total do sinal, foi quantificada por integração da área dos sinais nas regiões de (-10)-45, 45-110, 110-160 e 160-220 ppm.

Para testar a reprodutibilidade e a precisão da técnica espectroscópica, foram feitas análises das três repetições, em todos os tratamentos das amostras de solo integral. No entanto, para a análise espectroscópica das amostras das frações orgânicas (FLL e FP) realizadas no

Departamento de solos da Universidade Técnica de Munique, onde as principais limitações são o preço da análise e a alta demanda pelo equipamento, as análises foram realizadas em triplicatas apenas para um tratamento de cada solo. Dessa forma, foi possível calcular um desvio padrão relativo para esse tratamento e aplicá-lo aos demais tratamentos. Já, para a FLO, a análise apenas de uma repetição por tratamento foi possível de ser realizada, devido à indisponibilidade de tempo para análise de RMN de amostras em triplicatas.

#### 6.2.4 Carbono nas frações orgânicas

As amostras da FLL, FLO e FP obtidas para este estudo, foram quantificadas quanto à massa e analisadas quanto ao teor de carbono por combustão seca, em analisador Vario EL, pertencente ao Departamento de Solos da Universidade Técnica de Munique.

### 6.3 Resultados e discussão

#### 6.3.1 Variações na composição química da MO em solo inteiro e em frações físicas densimétricas, afetadas por sistemas de manejo sob pastagens

Para todos os tratamentos, a composição da MO do solo inteiro e de cada fração física foi analisada na camada de 0-5 cm para os três solos investigados.

##### 6.3.1.1 Solo inteiro

Os espectros de RMN  $^{13}\text{C}$  CPMAS de amostras de solo inteiro, oriundos dos diferentes sistemas de manejo, da camada de 0-5 cm dos três solos investigados, são apresentados na Figura 9.

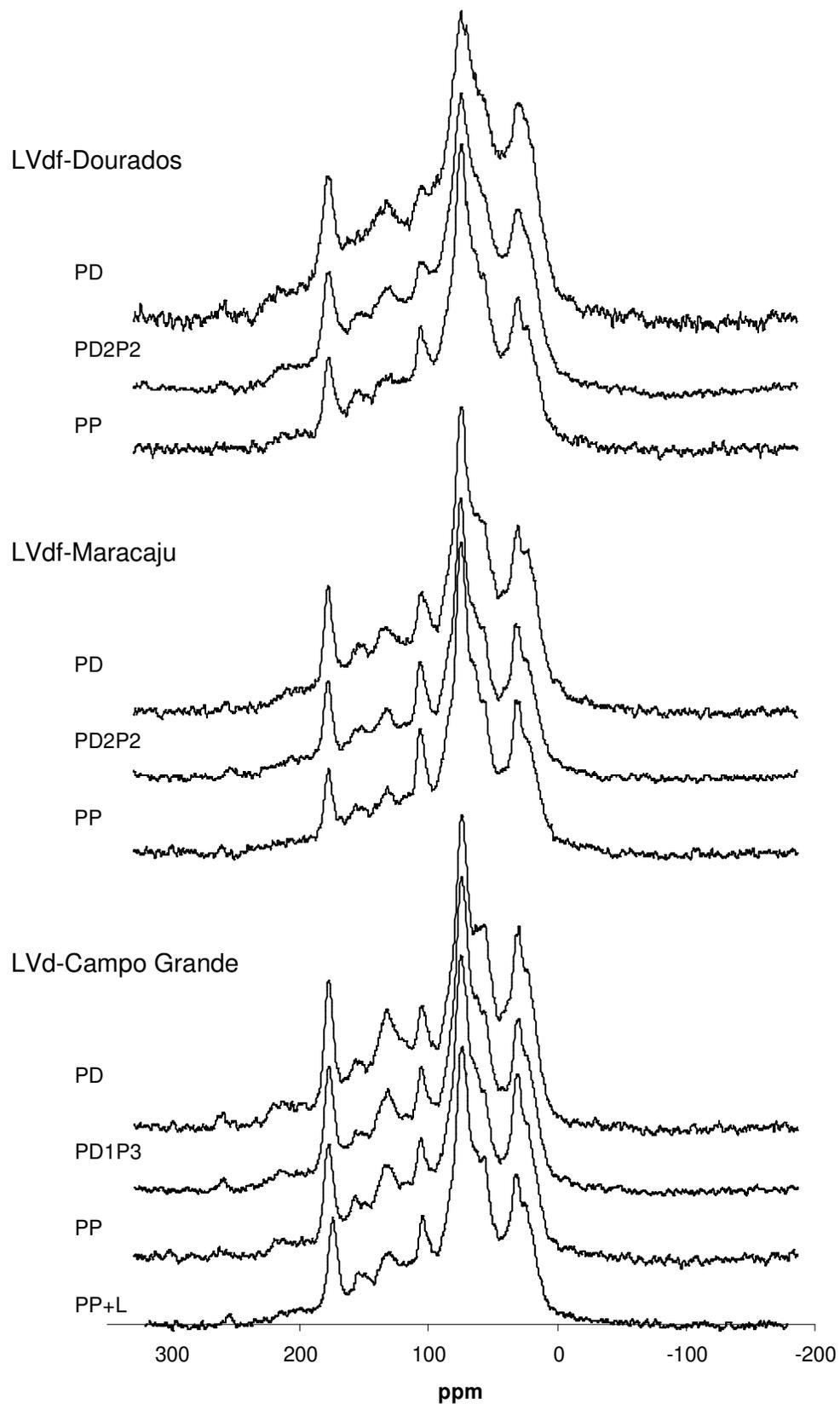


Figura 9. Espectros de RMN  $^{13}\text{C}$  CPMAS das amostras de solo inteiro, obtidos dos sistemas de manejo dos três solos analisados, na camada de 0-5 cm.

Os principais sinais foram observados a 30, 56-58, 72-75, 105, 130, 150 and 173-175 ppm. A ressonância em 30 ppm origina-se de C metilênico em compostos de longas cadeias alifáticas de origem variada, como ácidos graxos, lipídios, cutina e outros biopolímeros alifáticos. Grupos metoxílicos da lignina e o C de grupos amina em proteínas aparecem ao redor de 58 ppm. Os sinais proeminentes em 72-75 ppm são atribuídos ao C oxigenado de carboidratos e é acompanhado pelo sinal 105 ppm, típico da celulose, o qual corresponde ao  $C_6(CH_2)$  da estrutura de carboidratos. Os sinais alargados entre 110 e 160 ppm são característicos de C aromático. As ressonâncias em 130 e 150 ppm são atribuídas ao C aromático C-substituído e ao C aromático O-substituído, respectivamente, em lignina. A alta intensidade do sinal em 130 ppm para C aromático C-substituído mostra que a estrutura original de lignina é altamente alterada e/ou que material com tais estruturas derivado de outras fontes (carvão, fuligem) está presente no solo (Kögel-Knabner, 1997). Os picos em 173-175 ppm são derivados de C em grupos carboxílico, amida ou éster de vários compostos, no entanto, parecem ser dominados por C carboxílico (Baldock et al., 1992; Golchin et al., 1994a; 1994b; Kögel-Knabner, 1997).

Os espectros de RMN  $^{13}C$  CPMAS foram divididos em quatro regiões de deslocamento químico, correspondentes a C alquil (0-45 ppm), C O-alquil (45-110 ppm), C aromático (110-160 ppm) e C carboxílico (160-220 ppm) (Knicker & Lüdemann, 1995). A composição química da MO do solo pode variar amplamente, de altamente alifática a altamente aromática (David et al., 1995), dependendo, mais provavelmente, do tipo de solo e efeito de cultivo.

Na Tabela 10 está apresentada a proporção dos diferentes tipos de carbono, avaliada em amostras de solo inteiro tratadas com HF 10% e expressa como percentagem do carbono total recuperado.

Tabela 10. Contribuição relativa de carbono (% de CO total) nas regiões de variação química dos espectros de RMN  $^{13}\text{C}$  CPMAS e a razão C O-alquil/C alquil em amostras de solo inteiro, na camada de 0-5 cm dos três solos estudados.

Solo	Sistemas de manejo	C carboxílico (220-160 ppm)	C aromático (160-110 ppm)	C O-alquil (110-45 ppm)	C alquil (45-0 ppm)	CO-alquil/C alquil
(%)						
LVdf-D	PD	10,8 ± 0,7 <sup>a</sup>	17,5 ± 0,1	46,7 ± 0,2	24,9 ± 0,8	1,9
	PD2P2	10,3 ± 0,4	16,8 ± 0,6	50,2 ± 0,4	22,8 ± 0,6	2,2
	PP	10,0 ± 0,6	17,0 ± 0,4	52,0 ± 1,1	21,0 ± 0,2	2,5
LVdf-M	PD	10,6 ± 0,2	15,9 ± 0,4	48,3 ± 0,6	25,1 ± 0,4	1,9
	PD2P2	10,0 ± 0,4	15,5 ± 0,1	52,0 ± 0,4	22,5 ± 0,1	2,3
	PP	8,3 ± 0,2	14,4 ± 0,3	55,3 ± 0,3	22,0 ± 0,1	2,5
LVd-CG	PD	11,0 ± 0,6	18,5 ± 0,2	47,6 ± 0,4	22,9 ± 0,7	2,1
	PD1P3	10,5 ± 0,1	17,7 ± 0,2	50,1 ± 0,7	21,7 ± 0,8	2,3
	PP	10,4 ± 0,8	17,4 ± 0,6	49,9 ± 1,1	22,3 ± 0,5	2,2
	PP+L	10,4 ± 0,1	16,8 ± 0,3	50,8 ± 0,7	22,0 ± 0,3	2,3

PD: plantio direto de culturas anuais; PD2P2: rotação lavoura-pastagem sob plantio direto (soja no verão e aveia preta no inverno por 2 anos, seguido por 2 anos de pastagem de gramínea (*Brachiaria decumbens*)); PD1P3: rotação lavoura-pastagem sob plantio direto (soja no verão e milho no inverno por 1 ano, seguido por três anos de pastagem de gramínea (*Brachiaria brizantha*)); PP: pastagem permanente de gramínea (*Brachiaria decumbens*); PP+L: pastagem permanente de gramínea (*Brachiaria decumbens*) consorciada com leguminosa (*Stylosanthes guianensis*). <sup>a</sup> Média ± erro padrão.

Embora as variações observadas na composição química da MO do solo inteiro sejam pouco evidentes, a maior diferença entre os sistemas agrícolas foi observada no C O-alquil, componente quimicamente lábil, representado pelos carboidratos, indicando que este é o mais sensível e variável componente ao manejo do solo. Carboidratos são usualmente considerados os componentes mais lábeis quimicamente. Eles ocorrem como polissacarídeos tais como celulose, hemicelulose e quitina, os quais podem ser rapidamente decompostos por uma ampla variedade de microrganismos, servindo como fonte inicial de carbono e energia (Krull et al., 2003).

A variação de C O-alquil está demonstrando que, entre os sistemas de manejo, o grau de decomposição da MO do solo encontra-se na ordem PD>PDP>PP, sendo que, com o decréscimo no grau de decomposição, ocorreu um aumento de 3% a 7% em C O-alquil do sistema PD para o PP, acompanhado por um decréscimo de 1% a 4% no conteúdo de C alquil entre

os mesmos sistemas. Em média, a MO do solo inteiro contém, aproximadamente, 50% de C O-alquil e 23% de C alquil, mostrando, em cada solo, uma clara tendência de melhoria na qualidade do solo sob pastagens (em rotação ou permanente). Isto é explicado, provavelmente, pela substancial adição de material orgânico recente, principalmente como resíduos vegetais e exudatos radiculares liberados durante o período de crescimento das gramíneas, cuja composição principal são polissacarídeos, o que aumenta a proporção do sinal C O-alquil (Pillon, 2000; Kögel-Knabner, 2002; Diekow, 2003). Por outro lado, o incremento de C alquil, associado ao provável decréscimo na quantidade de resíduos adicionados ao solo (sistema PD), é resultado da utilização preferencial de polissacarídeos pelos microrganismos e da preservação seletiva de C alquil associado ao material vegetal de origem e ao tecido microbiano (Baldock et al., 1992). Baldock et al. (1990) e Kögel-Knabner et al. (1988) também demonstraram que o C alquil pode ser sintetizado pelos microrganismos do solo, a partir da biodegradação da glicose e da lignina.

No entanto, apesar da introdução de pastagens, constituídas por gramíneas perenes, objetivar alta produção de biomassa vegetal durante todo o ano e melhorar a estrutura do solo, ou seja, proporcionar um manejo com qualidade, o sistema PP do solo LVd-Campo Grande não diferiu do sistema PD quanto ao conteúdo de C O-alquil. A causa aparente para esse fato é a degradação que o sistema PP apresentava no momento da coleta devido à falta de adubação aliada ao excesso de pastejo, o que provavelmente refletiu em uma redução na adição de resíduos, e, conseqüentemente, no início do processo de perda da qualidade do solo.

A adição de material orgânico, diretamente no interior de solos tropicais, pode ser de grande importância para a manutenção dos níveis de MO do solo, pois, em geral, o material depositado sobre a superfície, é rapidamente mineralizado a CO<sub>2</sub>, processo favorecido pelas condições climáticas da região. Em contrapartida, os resíduos radiculares, incorporados diretamente sobre a matriz mineral, têm sua biodisponibilidade no solo reduzida devido à estabilização pela interação com partículas de argila e sesquióxidos (Oades, 1988). A MO adsorvida a sesquióxidos é altamente estável e dominada por constituintes alifáticos e C O-alquil (Oades et al., 1989). A MO também é

estabilizada devido à incorporação em agregados, os quais protegem fisicamente a MO da ação decompositora dos microrganismos (Balesdent & Balabane, 1996; Balesdent et al., 2000). Em solos minerais, polissacarídeos dissolvidos podem difundir para o interior de poros, onde se tornam impossíveis de serem utilizados como substrato pelos microrganismos (Adu & Oades, 1978; Ladd et al., 1993).

Observou-se, para os três solos estudados, um leve decréscimo na região do C carboxil e C aromático (Figura 9 e Tabela 10) na ordem PD>PDP>PP. A mais rápida taxa de decomposição de carboidratos no sistema PD, com menor adição de resíduos vegetais ao longo do ano, pode estar contribuindo para o aumento de grupos carboxílicos e aromáticos, durante o processo de decomposição da MO. A proteção física mais efetiva nos solos dos sistemas com pastagens estaria contribuindo para o acúmulo de MO mais lábil (C O-alquil), enquanto que a recalcitrância do material mais humificado estaria contribuindo para a estabilização da MO no sistema PD.

Esses resultados foram similares aos obtidos por Kinchesh et al. (1995), os quais usaram RMN  $^{13}\text{C}$  CPMAS para analisar a composição de MO não fracionada do solo, em experimento de longa duração em Rothamsted, Inglaterra. Eles encontraram que o grupamento C O-alquil variou notavelmente entre os tratamentos de manejo, enquanto que o C aromático dificilmente variou e, que a quantidade de carboidratos foi maior onde as adições de MO foram maiores.

Nossos resultados demonstram que as variações associadas com C carboxílico e aromático são irrelevantes e que a maior proporção de C O-alquil e menor de C alquil nos sistemas com pastagens, são consistentes com o menor grau de decomposição da MO proporcionado por estes sistemas. A razão C O-alquil/C alquil também foi relacionada com o decréscimo do grau de decomposição do MO nos sistemas com pastagens e pode ser utilizada como um indicador sensível às mudanças no grau de decomposição de materiais orgânicos (Baldock et al., 1997; Pillon, 2000).

A espectroscopia de RMN  $^{13}\text{C}$  CPMAS mostrou-se útil para o monitoramento das alterações qualitativas da MO em amostras de solo inteiro sobre uma escala de tempo de 9 anos (LVdf-Dourados) a 11 anos (LVdf-Maracaju e LVd-Campo Grande). É uma técnica que permite adicionar

informações ao entendimento das variações que ocorrem durante a biodegradação de resíduos orgânicos.

#### 6.3.1.2 Frações físicas densimétricas da MO

As frações físicas analisadas pela técnica RMN  $^{13}\text{C}$  CPMAS apresentaram diferenças na sua composição química, pois, originam-se de diferentes posições na matriz do solo, variando, desta forma, em acessibilidade à decomposição pelos microrganismos. A separação dessas frações pode ajudar a definir compartimentos com diferentes taxas de decomposição (Golchin et al., 1994a; Oades, 1988; Baldock & Skjemstad, 2000). Significantes variações químicas da MO induzidas pelo efeito do uso do solo podem ocorrer, primeiramente, na fração mais lábil da MO como a fração leve (Golchin et al., 1995). No entanto, ainda há insuficientes informações sobre o efeito do uso do solo na composição química do CO em frações densimétricas de solos.

Os espectros de RMN  $^{13}\text{C}$  CPMAS das frações orgânicas nos diferentes sistemas agrícolas dos solos LVdf-Dourados, LVdf-Maracaju e LVd-Campo Grande são apresentados nas Figuras 10, 11 e 12, respectivamente.

Em todas as amostras, os principais sinais foram observados nos mesmos deslocamentos químicos observados anteriormente, para as amostras de solo inteiro. O pico dominante nos espectros das frações físicas, na camada superficial (0-5 cm) dos três solos foi o C O-alquil.

A distribuição de cada tipo de carbono mostra que as diferentes frações contêm os mesmos tipos de carbono, porém, em diferentes proporções (Tabela 11).

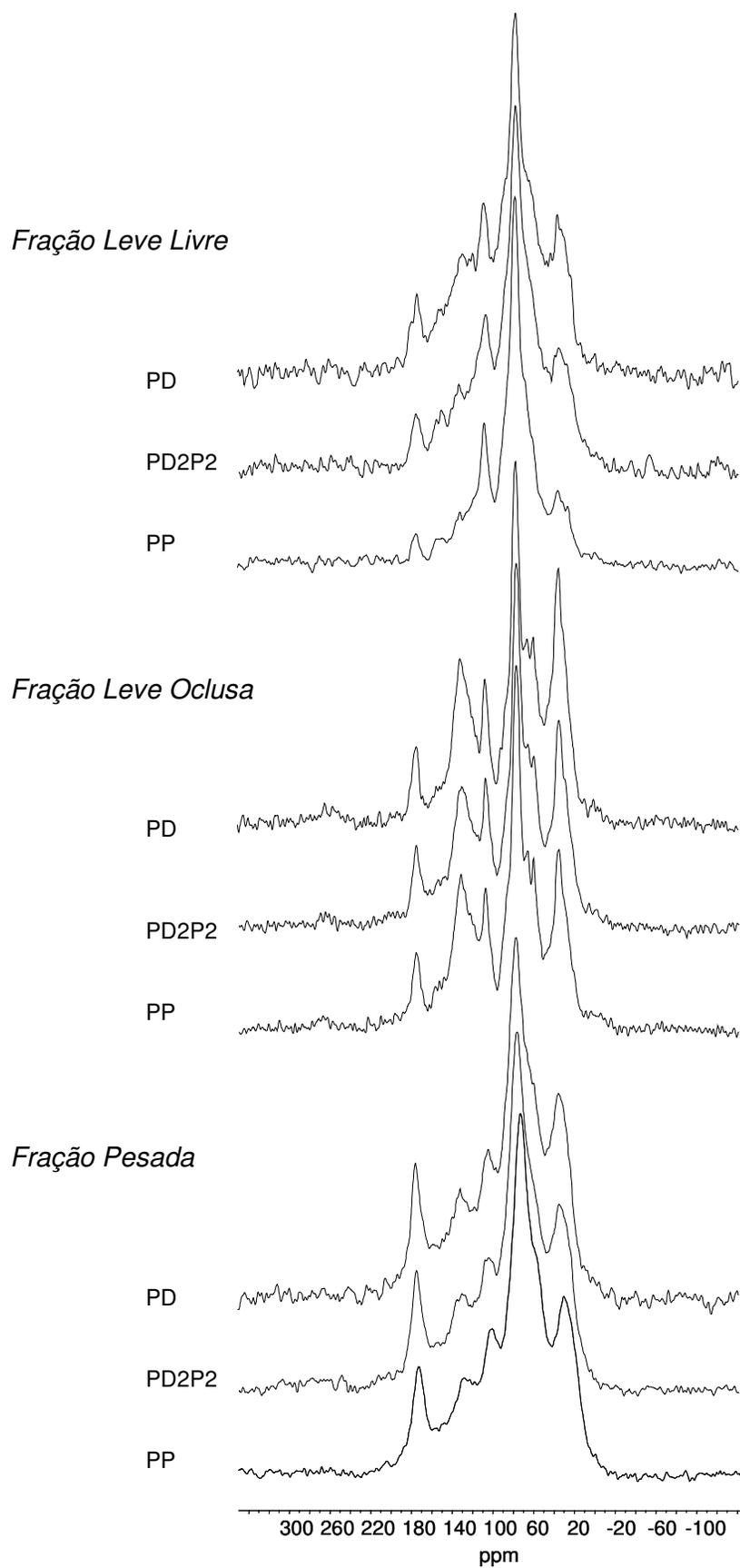


Figura 10. Espectros de RMN  $^{13}\text{C}$  CPMAS das frações físicas da MO obtidas dos sistemas de manejo do solo LVdf-Dourados, na camada de 0-5 cm.

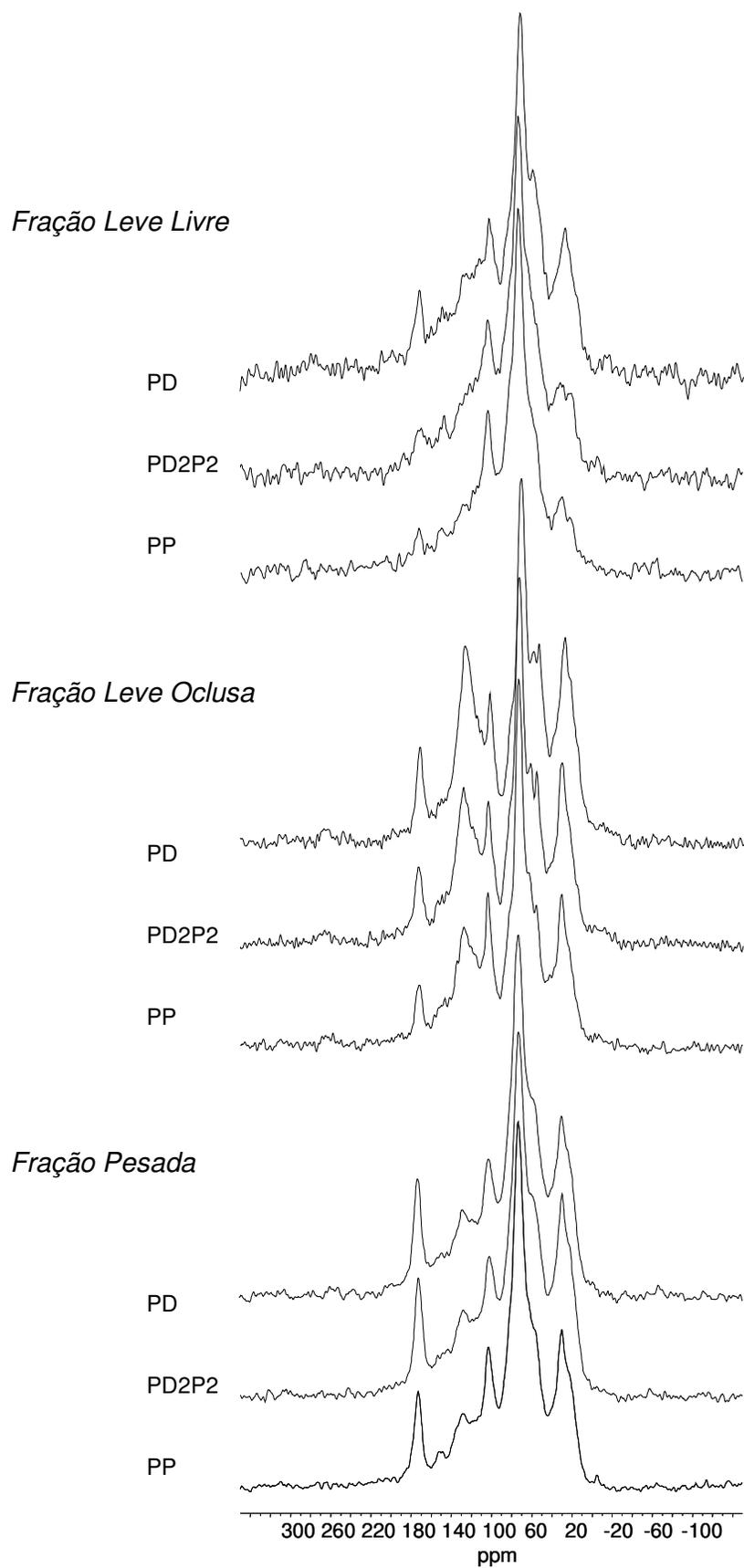


Figura 11. Espectros de RMN  $^{13}\text{C}$  CPMAS das frações físicas da MO obtidas dos sistemas de manejo do solo LVdf-Maracaju, na camada de 0-5 cm.

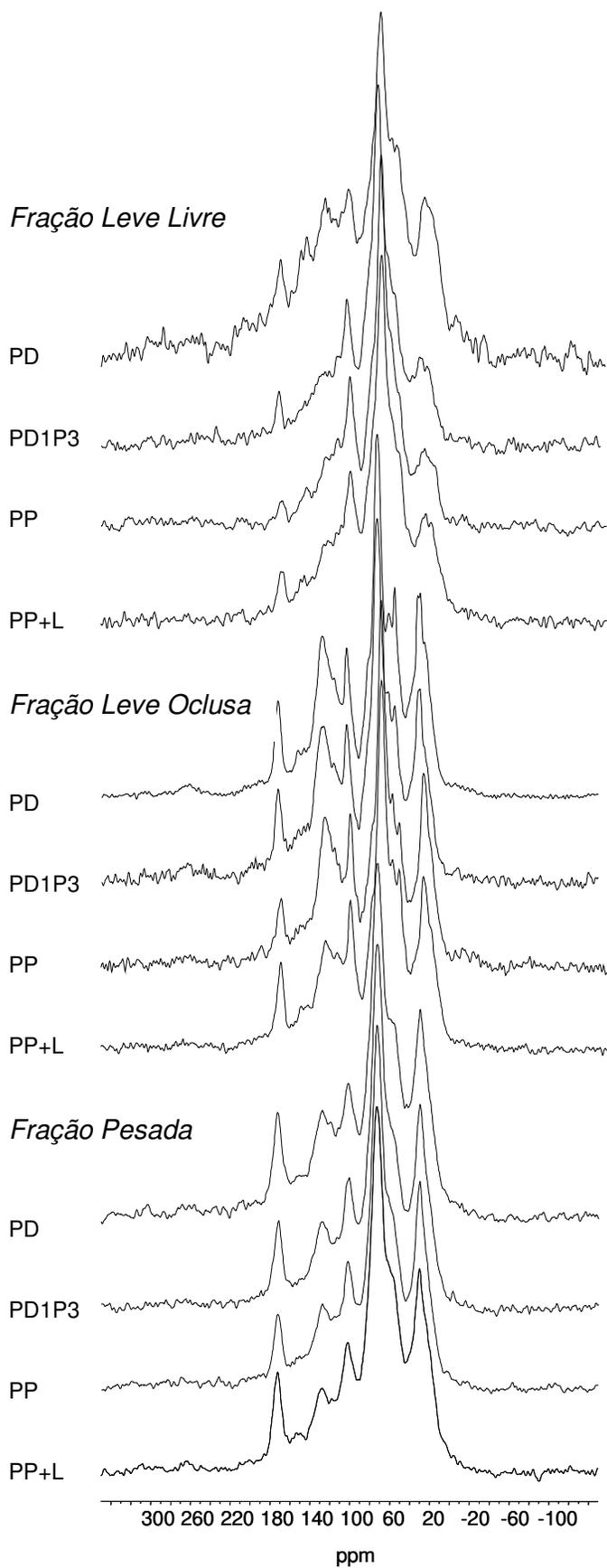


Figura 12. Espectros de RMN  $^{13}\text{C}$  CPMAS das frações físicas da MO obtidas dos sistemas de manejo do solo LVd-Campo Grande, na camada de 0-5 cm.

Tabela 11. Contribuição relativa de carbono (% de CO total) nas regiões de variação química dos espectros de RMN  $^{13}\text{C}$  CPMAS e a razão C O-alquil/C alquil das frações físicas da MO, na camada de 0-5 cm dos três solos estudados.

Fração	Solo	Sistema de manejo	C carboxílico (220-160 ppm) (%)	C aromático (160-110 ppm)	C O-alquil (110-45 ppm)	C alquil (45-0 ppm)	O-alquil/alquil	
FLL	LVdf-D	PD	6,9 ± 0,4 *	21,7 ± 1,0	53,5 ± 1,1	17,9 ± 0,8	2,99	
		PD2P2	6,3 ± 0,3	18,5 ± 0,9	57,8 ± 1,1	17,4 ± 0,8	3,32	
		PP	6,2 ± 0,3	17,6 ± 0,8	62,8 ± 1,2	13,4 ± 0,6	4,69	
	LVdf-M	PD	10,1 ± 1,4	22,6 ± 0,5	51,4 ± 0,5	15,9 ± 1,1	3,22	
		PD2P2	7,8 ± 1,1	20,2 ± 0,5	58,2 ± 0,5	13,7 ± 1,0	4,24	
		PP	7,4 ± 1,0	18,4 ± 0,4	61,9 ± 0,6	12,3 ± 1,0	5,04	
	LVd-CG	PD	12,7 ± 1,6	27,3 ± 1,4	44,1 ± 1,9	16,0 ± 1,4	2,75	
		PD1P3	7,8 ± 1,0	19,5 ± 1,0	58,9 ± 2,6	13,8 ± 1,2	4,28	
		PP	7,4 ± 0,9	20,5 ± 1,1	60,0 ± 2,6	12,2 ± 1,1	4,91	
		PP+L	6,5 ± 0,8	19,1 ± 1,0	58,5 ± 2,6	15,9 ± 1,4	3,67	
	FLO	LVdf-D	PD	6,3 **	23,8	45,3	24,6	1,84
			PD2P2	7,9	23,3	47,8	21,0	2,28
PP			7,1	21,0	52,2	19,8	2,63	
LVdf-M		PD	7,1	26,5	45,4	21,0	2,16	
		PD2P2	7,6	25,2	48,2	19,0	2,53	
		PP	7,3	23,0	52,3	17,3	3,01	
LVd-CG		PD	7,3	24,2	47,7	20,8	2,29	
		PD1P3	9,1	25,3	47,6	18,0	2,64	
		PP	8,1	25,7	47,7	18,4	2,59	
		PP+L	7,9	20,4	52,7	19,0	2,76	
FP		LVdf-D	PD	10,6 ± 0,5	17,2 ± 0,2	50,3 ± 0,2	21,9 ± 0,4	2,30
			PD2P2	9,9 ± 0,4	16,7 ± 0,2	51,7 ± 0,2	21,7 ± 0,4	2,38
	PP		9,6 ± 0,4	16,4 ± 0,2	53,7 ± 0,2	20,3 ± 0,4	2,64	
	LVdf-M	PD	9,9 ± 0,5	15,4 ± 0,9	53,3 ± 1,3	21,3 ± 0,4	2,50	
		PD2P2	9,5 ± 0,5	15,4 ± 0,9	53,6 ± 1,3	21,6 ± 0,4	2,49	
		PP	8,8 ± 0,5	14,8 ± 0,8	57,5 ± 1,4	18,9 ± 0,4	3,04	
	LVd-CG	PD	10,2 ± 1,0	17,8 ± 0,8	50,5 ± 1,8	21,5 ± 0,1	2,35	
		PD1P3	8,0 ± 0,7	15,1 ± 0,7	54,8 ± 2,0	22,1 ± 0,1	2,48	
		PP	7,7 ± 0,7	15,5 ± 0,7	55,0 ± 2,0	21,8 ± 0,1	2,52	
		PP+L	8,9 ± 0,8	15,7 ± 0,8	53,1 ± 1,9	22,3 ± 0,1	2,38	

*FLL*: fração leve livre; *FLO*: fração leve oclusa; *FP*: fração pesada; *PD*: plantio direto de culturas anuais; *PD2P2*: rotação lavoura-pastagem sob plantio direto (soja no verão e aveia preta no inverno por 2 anos, seguido por 2 anos de pastagem de gramínea (*Brachiaria decumbens*)); *PD1P3*: rotação lavoura-pastagem sob plantio direto (soja no verão e milho no inverno por 1 ano, seguido por três anos de pastagem de gramínea (*Brachiaria brizantha*)); *PP*: pastagem permanente de gramínea (*Brachiaria decumbens*); *PP+L*: pastagem permanente de gramínea (*Brachiaria decumbens*) consorciada com leguminosa (*Stylosanthes guianensis*). \* Média ± erro padrão, proveniente da análise das amostras em triplicata \*\* valores correspondentes a apenas uma repetição por tratamento.

### 6.3.1.2.1 Fração Leve Livre (FLL)

A FLL é representada por fragmentos de plantas incorporados ao solo, os quais se encontram não-decompostos ou parcialmente decompostos (Spycher et al., 1983; Golchin et al., 1997). A composição química da MO contida nesta fração é controlada principalmente pela estrutura orgânica e pelo grau de decomposição da MO adicionada ao solo, sendo que, no solo, o único mecanismo atuante contra a decomposição da FLL é a recalcitrância molecular, o que a torna mais susceptível ao ataque microbiano (Young & Spycher, 1979; Sollins et al., 1996, Golchin et al., 1995).

A FLL é muito ligada em termos de dinâmica, ao suprimento de resíduos orgânicos ao solo (Christensen, 2001). Por essa razão, sua quantidade e composição no solo, apresentam alta variabilidade espacial e sazonal em comparação às outras frações (Spycher et al., 1983; Christensen, 2001).

A composição química da FLL foi similar nos três solos. Esta fração consistiu, em média, de 55-58% de C O-alkil, seguido por 19-22% de C aromático, 14-16% de C alquil e, em menor quantidade (6-9%) de C carboxílico. Resultados similares foram encontrados por Golchin et al. (1995) em fração  $<1,6 \text{ g cm}^{-3}$  (livre). A maior proporção de C O-alkil reflete a significativa contribuição de polissacarídeos ao material orgânico adicionado no solo (Golchin et al., 1994a, 1994b, 1995). A região de variação química do C O-alkil teve dois picos distintos (Figuras 10, 11 e 12). Em 72-75 ppm, atribuído principalmente a celulose e em 105 ppm, derivado de hemicelulose e outros carboidratos. A região de variação química entre 110 e 160 ppm mostra ressonância de estrutura aromática de lignina. A banda na variação química do C alquil é a de metileno (25-35 ppm) derivado de estruturas de longas cadeias alifáticas. Os correspondentes grupos carboxílicos de ácidos orgânicos e o carbono amida de peptídeos e proteínas contribuem para a intensidade do sinal entre 160 e 220 ppm (Knicker & Skjemstad, 2000; Kögel-Knabner, 2002).

De forma geral, entre as estruturas mais recalcitrantes, o tratamento PP mostrou a menor proporção de C aromático (18-20%), C alquil (12-13%) e C carboxílico (6-7%), enquanto que no tratamento PDP (rotação laboura-pastagem) foi encontrado um conteúdo intermediário e o tratamento PD

mostrou a mais alta intensidade relativa dessas regiões de variação química. A proporção de estrutura mais lábil como o C O-alquil representou mais do que 50% do carbono total da FLL, sendo que os sistemas com pastagens apresentaram, em média, as mais altas proporções deste grupamento entre os sistemas agrícolas para os três solos: 62% (PP) e 58% (PDP), enquanto que o PD apresentou 54% para o LVdf-D, 51% para o LVdf-M e somente 44% para o LVd-CG. O fato de o sistema PD apresentar a menor proporção de C O-alquil pode ser atribuído à provável menor adição de fitomassa e à estrutura da vegetação que o compõe, a qual é constituída por um ciclo de leguminosa (soja) por ano, o que pode favorecer o aumento no conteúdo de C alquil. Além disso, a mais rápida taxa de decomposição do sistema PD, comparativamente aos sistemas com pastagem, também pode estar contribuindo para a redução no conteúdo de C O-alquil, uma vez que fragmentos vegetais em estágio inicial de decomposição também fazem parte da FLL.

A razão C O-alquil/C alquil aumentou do tratamento PD para o PP em todos os solos, exceto para o PP+L do solo LVd-CG, o qual apresentou, após o PD, o segundo mais baixo valor entre os sistemas agrícolas, devido ao seu alto conteúdo de C alquil. Uma explicação para isto pode ser o tipo de vegetação do qual o material orgânico do sistema PP+L originou. O PP+L é o único sistema de pastagem permanente constituído por gramínea perene (*Brachiaria decumbens*) consorciada com leguminosa (*Stylosanthes guianensis*) e sua elevada proporção de C alquil pode ser atribuída a um alto conteúdo de ácidos graxos derivados de tecidos de cutina e suberina da espécie leguminosa e/ou a um alto conteúdo de peptídeos (C metil), pois a espécie leguminosa é hábil em fixar N<sub>2</sub> atmosférico simbioticamente e convertê-lo em material proteináceo.

A baixa recalcitrância da FLL do sistema PP (constituído unicamente pela gramínea *Brachiaria decumbens*) verificada pela mais baixa intensidade do sinal C alquil e C aromático, em todos os solos, é coerente com resultados encontrados por Kögel-Knabner (2002) ao analisar espectro de raízes da gramínea *Lolium multiflorum* e verificar que tais raízes distinguem-se por apresentar alta concentração de polissacarídeos e baixa concentração de lignina e suberina.

### 6.3.1.2.2 Fração Leve Oclusa (FLO)

A FLO compreende compostos orgânicos com um grau de decomposição mais avançado comparado à FLL. Estes compostos normalmente estão localizados em sítios inacessíveis ao ataque microbiano e enzimático ou protegidos fisicamente devido à incorporação dentro de agregados de solo (Christensen, 1992; Golchin et al., 1994a; 1997).

A agregação do solo é uma propriedade transitória e agregados estão continuamente sendo formados e destruídos. Portanto, a oclusão no interior de agregados, de material orgânico rico em carboidratos e susceptível aos microrganismos, será maior onde a estabilidade de agregados é maior e, conseqüentemente, a taxa de ciclagem é mais lenta (Krull et al., 2003). A presença de porções mais lábeis (CO “novo”), atuando como agente ligante entre microagregados ou como núcleo de agregados, é um indicativo do decréscimo do grau de decomposição da MO do solo (Tisdall & Oades, 1982; Six et al., 2000a).

Diferenças na composição dos materiais orgânicos, livre e ocluso, foram similares nos três solos estudados e uma significativa tendência entre os sistemas agrícolas foi observada (Figura 10-12 e Tabela 11). A principal diferença na química das duas frações está na considerável redução na proporção de C O-alkil e aumento das estruturas quimicamente mais recalcitrantes como o C aromático e, de forma mais pronunciada, C alquil.

Analisando valores médios de cada solo, a proporção de C O-alkil decresceu na ordem FLL (55 a 58%) > FLO (48 a 49%), enquanto que a proporção de C alquil aumentou da FLL (14 a 16%) para a FLO (19 a 22%). Essas variações e o resultante decréscimo na razão C O-alkil/C alquil de 4 (FLL) a 2,5 (FLO) indicam um aumento no grau de decomposição na ordem FLL < FLO. As variações químicas da MO particulada, sofridas durante a decomposição, são caracterizadas pela utilização de carboidratos facilmente decomponíveis e uma concomitante preservação seletiva das estruturas mais recalcitrantes como o C alquil, associado ao material vegetal de origem (Baldock et al., 1992). Baldock et al. (1990) e Kögel-Knabner et al. (1988), no entanto, demonstraram que a síntese microbiana *in situ* é a principal razão para o aumento em conteúdo de C alquil quando substratos simples são degradados

no solo. Nossos resultados estão de acordo com os de Golchin et al. (1994a, 1994b), os quais encontraram que a decomposição de materiais orgânicos contidos em frações densimétricas aumentou na ordem MO particulada livre<sub><1.6</sub> < MO particulada oclusa<sub>1.8-2.0</sub> < MO particulada oclusa<sub>1.6-1.8</sub> em cinco solos Australianos. Outros autores como Zeck et al. (1997), Baldock et al. (1992), Baldock & Preston (1995); Sohi et al. (2001) e Helfrich et al. (2006) também encontraram comportamento similar.

John et al. (2005) ao determinarem a estabilidade do CO em solo cultivado com milho, através da técnica isotópica do <sup>13</sup>C, observaram que a idade média aumentou na ordem MO particulada livre<sub><1.6</sub> (22 anos) < MO particulada oclusa<sub>1.6-2.0</sub> (49 anos) < MO mineral<sub>>2.0</sub> (63 anos). No entanto, não ficou claro para os autores se a maior estabilidade da MO oclusa em relação à MO livre foi devido, unicamente à proteção física pelos agregados, ou se a recalcitrância química contribuiu para o tempo de ciclagem mais longo da MO oclusa. Provavelmente os dois mecanismos estejam atuando concomitantemente, pois, além de substâncias facilmente decomponíveis, material orgânico recalcitrante também é incorporado aos agregados e passa a contribuir para uma taxa de decomposição mais lenta da MO oclusa.

Os espectros da fração oclusa estão indicando que a estrutura da MO, representada principalmente por C O-alquil, C alquil e C aromático, varia muito mais amplamente entre os sistemas de manejo nos solos LVdf-D e LVdf-M do que do solo LVd-CG (Figuras 10-12).

Sabe-se que a estrutura química dos materiais orgânicos incorporados ao solo é controlada pela composição química original do carbono (recalcitrância molecular) e pelo ambiente solo (Baldock et al., 1992). Uma vez que a composição química dos materiais orgânicos livres, dos quais os materiais oclusos são derivados, são similares entre solos, pode-se esperar que as variações na composição do carbono associado com a FLO sejam resultantes de diferenças na natureza e na magnitude dos processos de decomposição atuantes em cada sistema de manejo e em cada solo.

Os solos LVdf-D e LVdf-M são similares em relação à textura e propriedades mineralógicas, portanto, a capacidade destes solos em formar e estabilizar agregados e proteger compostos orgânicos dentro de agregados parece ser similar. Baseado em nossos resultados, a capacidade destes solos

em proteger estruturas orgânicas, estimada na proporção de C O-alquil, variou entre os diferentes sistemas agrícolas, porém, foi igual em ambos os solos. O sistema PP, considerado o mais eficiente no processo de agregação, mostrou a mais alta proporção de C O-alquil (52%) e o sistema PD2P2, intermediária intensidade relativa desta região de variação química (48%). Já, no sistema PD (cultivado somente com culturas anuais), o C O-alquil correspondeu a 45% do COT. O aumento relativo de C O-alquil na ordem PD<PD2P2<PP foi seguido pelo decréscimo relativo de C alquil e C aromático na mesma ordem.

Essas diferenças composicionais entre os sistemas de manejo, e a aparente maior taxa de decomposição no sistema PD, resultaram da utilização de carboidratos facilmente decomponíveis pelos microrganismos do solo e da preservação seletiva e relativo acúmulo de grupamentos mais recalcitrantes associados ao material original e/ou devido à síntese de grupamentos alquil pela microbiota do solo (Baldock et al., 1992). Essas variações provavelmente ocorrem durante a decomposição dos materiais orgânicos livres, quando eles são incorporados em agregados como material ocluso. Durante o processo de decomposição e interação do material orgânico com partículas minerais, parte dos compostos orgânicos facilmente decomponíveis tornam-se inacessíveis temporariamente devido ao mecanismo de proteção física, o qual é um dos mecanismos determinantes da estabilização da MO em solos.

O efeito desse mecanismo é realçado nos sistemas com pastagens, principalmente no sistema PP, devido a esses apresentarem uma melhor agregação do solo comparado ao sistema PD (resultados apresentados no Estudo I). Outro fato que deve ser considerado é que resíduos orgânicos oriundos de florestas são enriquecidos em C aromático, essencialmente lignina, e C alquil, cujos sinais originam-se de lipídios, cutina e peptídios (Kögel-Knabner, 2002; Helfrich et al., 2006). Uma vez que a idade média da MO oclusa é de 49 anos (John et al., 2005), podemos considerar que parte das estruturas recalcitrantes oriundas da vegetação nativa, antecessora à instalação dos experimentos, esteja sendo preservada devido à oclusão em agregados estáveis.

O solo LVd-CG, por outro lado, não mostrou variação na proporção de C O-alquil, mantendo uma intensidade relativa de aproximadamente 48% em todos os sistemas agrícolas, exceto para o PP+L, o qual apresentou o

mesmo conteúdo de C O-alquil (~52%) que o sistema PP dos demais solos. O conteúdo de C aromático também permaneceu invariável, exceto para o sistema PP+L que apresentou a menor proporção entre os tratamentos. A similar eficiência entre os três primeiros tratamentos, em proteger estruturas orgânicas mais lábeis, pode ser explicado pelas características mineralógicas deste solo, o qual é o mais rico em goetita e gibsita (Tabela 3). Estes óxidos, de Fe e Al, respectivamente, são muito importantes no processo de formação e estabilidade de microagregados e, provavelmente, estão atuando mais efetivamente do que a MO no processo de agregação, e, conseqüentemente, na proteção da MO e sua estabilização (Oades et al., 1989; Oades & Waters, 1991; Six et al., 2000b; 2002b). No sistema PP+L, além do efeito protetor do solo, causado pelos óxidos, a alta adição de carbono ao solo, possivelmente favoreceu a formação de agregados maiores e o acúmulo de estruturas orgânicas mais lábeis (O-alquil) dentro desses agregados.

Embora os resultados demonstrem que as variações associadas com C carboxílico e C aromático são inconsistentes e irrelevantes, o decréscimo na proporção de C O-alquil e aumento na proporção de C alquil são consistentes com a decomposição da MO nos solos estudados. Isto foi claramente mostrado pela variação da razão C O-alquil/C alquil, a qual foi maior na FLL e decresceu consideravelmente na FLO. Entre os sistemas de manejo de cada solo, na FLO, a redução dessa razão foi observada do sistema PP para o PD. Este comportamento era esperado devido a melhor estrutura do solo proporcionada pelos sistemas com pastagens (PDP, PP e PP+L), e, conseqüentemente, sua maior capacidade em proteger o material orgânico que entra no solo e sofre decomposição. Em contradição, o sistema PP do solo LVd-CG, o qual encontrava-se em processo de degradação no momento da amostragem, apresentou uma razão O-alquil/C alquil menor (2,59) do que o sistema PD1P3 (2,64). Isto indica que todo e qualquer sistema agrícola deve ser manejado com qualidade ao longo de todo o ano para que possa expressar seu potencial produtivo e seus benefícios ao sistema solo.

### 6.3.1.2.3 Fração Pesada (FP)

O material orgânico da FP constitui-se de material altamente decomposto e, estabilizado principalmente por interações com partículas minerais (Baldock & Skejnostad, 2000) e, conseqüentemente, com uma taxa de decomposição muito lenta (Christensen, 2001; Bayer et al., 2001), não sendo facilmente modificada pelos diferentes sistemas de uso do solo (Golchin et al., 1995).

A composição da MO da FP é determinada, principalmente, por produtos derivados da decomposição microbiana (polissacarídeos), os quais são estruturas ricas em C O-alquil (Golchin et al., 1995; Baldock et al., 1992). Exudatos radiculares também são possíveis contribuintes dessas estruturas. Aproximadamente 10-40% do carbono assimilado pelas folhas são transferidos para as raízes e incorporados no solo através da deposição de exudatos radiculares ou decomposição de material radicular morto (Van Veen et al., 1989).

O C O-alquil foi a estrutura orgânica que mostrou a maior variação entre os sistemas de manejo (4%) (Tabela 11). O sistema PP, o qual teve a maior adição de fitomassa, provavelmente teve também, a maior atividade microbiana e/ou população microbiana diferenciada. Isto refletiu na maior proporção de C O-alquil para este tratamento em todos os solos: 54% para o LVdf-D, 58% para o LVdf-M e 55% para o LVd-CG (Tabela 11 e Figuras 10-12).

O sistema PP pode ser considerado como um ecossistema equilibrado com uma comunidade microbiana estabilizada e bem adaptada. Porém, quando este sistema é interrompido por algum período de tempo, a condição de solo originada daquela condição varia significativamente e, supostamente, o mesmo ocorre com a comunidade microbiana e com a qualidade de seus produtos. Schmitz (2003) observou uma maior atividade enzimática em solo de pastagem do que em solo sob sistemas de culturas em plantio direto, o que pode ser uma indicação de que distintas comunidades microbianas existem entre os dois sistemas de uso do solo.

A diferença na proporção de C O-alquil entre os sistemas com pastagem (PDP e PP) para o LVdf-D e LVdf-M foi maior do que entre os mesmos tratamentos para o LVd-CG. Isto ocorreu, provavelmente, devido ao

sistema rotação lavoura-pastagem (PD1P3) do solo LVd-CG ser cultivado por um maior período de tempo com pastagem (3 anos) e menor período de tempo com culturas anuais (1 ano) comparado aos outros solos. Apesar do processo de degradação observado no sistema PP do solo LVd-CG, a população microbiana deste sistema parece estar atuando de forma similar ao sistema PD1P3.

O sistema PD do solo LVd-CG mostrou a menor proporção de C O-alkil e C alkil entre os tratamentos, com um aumento considerável na proporção de C carboxil e C aromático, os quais são tipos de carbono não diretamente afetados pelo metabolismo microbiano. Isto indica que em solos sujeitos a uma menor adição de resíduos pelas plantas, e a um maior grau de oxidação da MO, somente as estruturas mais recalcitrantes (pobres em carbono) da MO do solo tendem a permanecer.

A maior proporção de C O-alkil observada na FP (50 a 58%) comparado à FLO (45 a 53%) e a considerável contribuição de C O-alkil (mais do que 50% do C total) preservada na fração mineral indicam que compostos mais lábeis, metabolizados microbianamente podem ser acumulados e estabilizados pelo mecanismo de interação organo-mineral (Krull et al., 2003; Guggenberger et al., 1994), enquanto que compostos de lignina, os mais importantes compostos aromáticos no solo, não estão sendo estabilizados nesta fração. Está ocorrendo uma preservação seletiva de C derivado do metabolismo microbiano (C O-alkil) e de cutina/suberina (C alkil) ao C derivado de lignina (C aromático).

#### **6.4 Conclusões**

O procedimento de fracionamento físico utilizado permitiu distinguir compartimentos com materiais orgânicos quimicamente diferentes.

Os sistemas de manejo compostos por braquiária favoreceram elevada proporção de resíduos ricos em C O-alkil na FLL e uma maior estabilização desses resíduos devido à oclusão em agregados de solo, confirmando a importância do mecanismo de proteção física na incorporação e preservação do carbono no solo.

A provável maior população microbiana e/ou atividade microbiana, decorrente da maior adição de fitomassa pelos sistemas com pastagens, refletiu em um aumento do CO total na forma de C O-alkil associado aos minerais dos solos estudados sob estes sistemas.

As alterações na composição química da MO determinadas por RMN  $^{13}\text{C}$  CPMAS foram evidenciadas pelo aumento na razão C O-alkil/C alkil nos sistemas com pastagens, mostrando-se um indicador sensível às alterações qualitativas promovidas pelos sistemas de manejo sobre o grau de decomposição das frações orgânicas.

## 7 DISCUSSÃO GERAL

A qualidade do sistema de produção agrícola e, por conseguinte, do solo e ambiente depende de um sistema de manejo adequado às condições, principalmente de solo e clima de cada região.

A introdução da agricultura de forma desordenada e o uso inapropriado de sistemas de manejo em substituição a áreas de vegetação natural na região do Cerrado Brasileiro, somado ao clima tropical que favorece rápidas taxas de decomposição da MO do solo (Sanchez & Logan, 1992) podem contribuir, consideravelmente, não somente para o processo de degradação do solo, mas também para o avanço do efeito estufa através da emissão de C-CO<sub>2</sub> para a atmosfera, um problema global que se manifesta, a cada dia, em nível crescente de intensidade. No entanto, solos tropicais como os da região do Cerrado Brasileiro, que abrangem uma área de 200 milhões de ha (Goedert, 1983), correspondendo a aproximadamente 25% do território brasileiro e 4% dos solos tropicais do mundo, são áreas potenciais para drenar carbono atmosférico.

A adoção de sistemas de manejo que atuem no sentido de intensificar o fluxo de carbono ao solo e/ou de reduzir suas perdas, proporciona retenção e acúmulo de MO no solo, de forma que as elevadas taxas de decomposição da MO podem ser retardadas por mecanismos de proteção atuantes na matriz do solo através das características intrínsecas do material vegetal adicionado ao solo, de interações com minerais e incorporação em agregados estáveis.

Considerando que aproximadamente 50 milhões de ha da região do Cerrado Brasileiro estão atualmente ocupados com pastagens cultivadas (Macedo, 1995), principalmente com gramíneas africanas do gênero *Brachiaria* e que gramíneas de ciclo perene têm significativo potencial em produzir

fitomassa, melhorar a estrutura do solo e, conseqüentemente, favorecer a estabilização da MO no solo, maior atenção deveria ser dispendida no sentido de melhorar o manejo dessas pastagens através da adição de fertilizantes, manejo das culturas (uso de espécies gramíneas com enraizamento profundo e associações com leguminosas) e controle das taxas de pastejo.

O incremento no estoque de MO, na camada de 0-20 cm, promovido pelos sistemas de manejo envolvendo gramíneas perenes, tanto em rotação com soja quanto como pastagem permanente, foi refletido nos três solos avaliados e também nas frações da MO (Tabela 12). Entre os solos, o maior incremento no estoque de carbono (COT) ocorreu no solo de Maracaju, com valor intermediário no solo de Campo Grande e o menor estoque no solo de Dourados. Esse comportamento, provavelmente, está relacionado ao uso do solo no período anterior à instalação dos experimentos e ao efeito conjunto da textura e da mineralogia dos solos. De modo geral, pode-se observar que o sistema de manejo PD manteve o solo com estoque de COT inferior ao da VN e que o uso de pastagens possibilitou alcançar ou superar o estoque do sistema PD.

Elevada proporção de MOP, representada pelo carbono da FLL, é um indicativo, a curto prazo, de que resíduos estão sendo adicionados em quantidades satisfatórias. No entanto, por ser considerada uma fração altamente sensível a alterações, a FLL apresentou comportamento distinto das demais frações físicas, sendo que nessa fração, o sistema PP apresentou o menor estoque de carbono para o solo de Campo Grande, onde ocorreram as maiores adversidades climáticas e de manejo em relação aos demais solos.

Vale destacar o incremento no estoque de MO, pelos sistemas com pastagem, na FLO. Isso indica que os solos estão sendo capazes de proteger fisicamente a MO na estrutura construída pelo próprio sistema de manejo. Os processos físicos e orgânicos de agregação, decorrentes do desenvolvimento das raízes, a atividade da fauna e dos microrganismos do solo, proporcionam o agrupamento de macroagregados (Tisdall & Oades, 1982; Haynes & Beare, 1996), ou seja, enquanto a MO forma e estabiliza agregados (principalmente os macroagregados, nesses solos ricos em óxidos), os agregados estáveis protegem fisicamente a MO da decomposição microbiana.

Tabela 12. Estoque de carbono orgânico total (COT) e das frações físicas da MO (FLL, FLO e FP), na camada de 0-20 cm dos três solos estudados (LVdf-Dourados=D, LVdf-Maracaju=M e LVd-Campo Grande=CG), nos diferentes sistemas de uso e manejo.

Sistema de uso e manejo	COT				FLL				FLO				FP			
	solo				solo				solo				solo			
	D	M	CG	média	D	M	CG	média	D	M	CG	média	D	M	CG	média
VN	44,46	66,34	53,12	<b>53,64</b>	2,14	3,43	4,53	<b>3,37</b>	5,69	14,42	8,57	<b>9,56</b>	36,73	48,49	40,02	<b>41,75</b>
PD	36,31	56,57	47,53	<b>46,80</b>	1,38	1,10	3,65	<b>2,04</b>	6,37	7,84	8,53	<b>7,58</b>	28,56	47,64	35,36	<b>37,19</b>
PDP	41,03	64,17	46,00	<b>50,40</b>	1,33	1,64	1,93	<b>1,63</b>	8,02	9,75	8,53	<b>8,77</b>	31,67	52,79	35,54	<b>40,00</b>
PP	45,49	69,73	50,22	<b>55,15</b>	2,19	2,07	1,77	<b>2,01</b>	9,42	11,20	8,73	<b>9,78</b>	33,89	56,46	39,71	<b>43,35</b>
<b>média</b>	<b>41,82</b>	<b>64,20</b>	<b>49,22</b>		<b>1,76</b>	<b>2,06</b>	<b>2,97</b>		<b>7,38</b>	<b>10,80</b>	<b>8,59</b>		<b>32,71</b>	<b>51,35</b>	<b>37,66</b>	

VN: vegetação natural, PD: plantio direto de culturas anuais, PDP = PD2P2 para Dourados e Maracaju: rotação lavoura (soja)/pastagem (*B. decumbens*) em plantio direto e PD1P3 para Campo Grande: rotação lavoura (soja)/pastagem (*B. brizantha*) em plantio direto, PP: pastagem permanente de gramínea (*B. decumbens*).

Quanto maior o tempo de residência dos macroagregados, como ocorre nos sistemas sem revolvimento do solo e com adição contínua de resíduos orgânicos, maior é a probabilidade de acúmulo e estabilização da MO no solo, e desta cumprir o importante papel como atributo biológico, físico e químico e de suprimento de nutrientes às plantas.

Em resumo, em todas as frações físicas, o principal constituinte químico da MO foi o carboidrato, que é de origem vegetal nas frações leves da MO. A elevada proporção de carboidratos na FLO, associado ao fato de serem compostos facilmente decomponíveis, demonstra que a recalcitrância molecular não é o principal mecanismo de estabilização dessa fração. Nesse caso, considera-se a proteção física dos compostos orgânicos adicionados ao solo, um importante mecanismo de estabilização da MO nos solos estudados.

A maior proporção do estoque de carbono do solo (79%) está presente na FP, o que está relacionado mais diretamente ao efeito conjunto da textura e mineralogia dos solos e à atividade da comunidade microbiana e seus respectivos produtos. Enquanto o solo de Dourados apresenta 1,75 vezes mais argila do que o solo de Campo Grande, este apresenta as maiores proporções de óxidos de Fe (goetita) e de Al (gibbsite) na fração argila (Figura 4), constituintes importantes na formação e estabilização de microagregados de tamanho silte e argila, e, por sua vez, apresentou maior estoque de carbono na FP do que o solo de Dourados. Em termos de uso do solo no período anterior à instalação dos experimentos, os solos de Dourados e Campo Grande apresentam um histórico semelhante, 20 anos de cultivo convencional com culturas anuais de arroz, soja e milho, e 20 anos de pastagem de *Brachiaria* em processo de degradação, respectivamente. O tempo de duração dos experimentos também é semelhante, 9 anos (Dourados) e 11 anos (Campo Grande). Já, o solo de Maracaju, embora apresente teor de argila e mineralogia semelhante ao solo de Dourados, foi mantido sob vegetação natural de cerrado até um ano antes da instalação do experimento e apresenta uma diferença média no estoque de carbono na FP de 18 Mg ha<sup>-1</sup>. Isso estaria condicionado, provavelmente ao histórico da área, uma vez que as condições climáticas são similares e envolveram as mesmas culturas.

Por fim, vale considerar que muitos resultados obtidos nos estudos de dinâmica e qualidade da matéria orgânica do solo estão condicionados ao

método empregado. O fracionamento físico densimétrico constitui uma importante ferramenta para o entendimento da dinâmica da MO do solo e a espectroscopia de RMN  $^{13}\text{C}$  fornece informações sobre grupos de compostos orgânicos presentes na amostra. Apesar dessa técnica apresentar algumas limitações, muitos têm sido os pesquisadores dedicados ao estudo de alternativas que possam melhorar a resolução dos espectros de RMN. Dessa maneira, resultados bastante significativos têm sido obtidos em relação à caracterização estrutural da MO do solo e da sua dinâmica de decomposição, possibilitando avaliar o efeito e a sustentabilidade de sistemas naturais e agrícolas.

## 8 ESTUDOS FUTUROS

Os resultados do presente estudo permitem salientar alguns aspectos que poderão ser objeto de pesquisa para o avanço do entendimento da dinâmica e da proteção física da MO de solos em ambiente tropical.

Em virtude da importância da proteção física da MO no interior de agregados, uma questão que merece ser investigada para as condições de solos tropicais ricos em óxidos, é avaliar o efeito de sistemas de manejo sobre as alterações nos teores de carbono no interior de microagregados e de macroagregados. O objetivo é determinar a influência da MO em cada classe de agregados e avaliar o papel dos óxidos na agregação e na estabilização da MO em solos ricos nesses constituintes.

Realizar análises de foto-oxidação da FP da MO, por energia ultravioleta, para que se possa ter evidências sobre os mecanismos de acúmulo de MO que ocorrem nessa fração, bem como avaliar a magnitude da proteção física que microagregados de tamanho silte e argila desempenham sobre a MO.

Através de análises de pirólise, identificar a origem dos compostos orgânicos protegidos em amostras de FLO e FP, verificando assim, a influência dos microrganismos no processo de proteção da MO.

Observar, por microscopia eletrônica de varredura, as diferenças entre o material que compõe as frações orgânicas, antes e após tratamento químico, para posterior análise de RMN  $^{13}\text{C}$  CPMAS, a fim de otimizar a observação dos diferentes tipos de carbono nas amostras.

Devido à diferença de dinâmica entre as frações físicas, obtidas eficientemente por fracionamento densimétrico, essas poderiam constituir reservatórios mensuráveis a serem inseridos em modelos simuladores da dinâmica da MO do solo.

## 9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADU, J. K.; OADES, J. M. Physical factors influencing decomposition of organic materials 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.

BALDOCK, J. A. et al. Solid-state CP/MAS  $^{13}\text{C}$  N.M.R. analysis of bacterial and fungal cultures isolated from a soil incubated with glucose. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, v. 28, p. 213-225, 1990.

BALDOCK, J. A. et al. Aspects of the chemical structure of soil organic materials as revealed by solid-state  $^{13}\text{C}$  NMR spectroscopy. **Biogeochemistry**, Netherlands, v. 16, p. 1-42, 1992.

BALDOCK, J. A.; PRESTON, C. M. Chemistry of carbon decomposition process in forests as revealed by solid-state  $^{13}\text{C}$ -NMR. In: McFEE, W. W.; KELLY, J. M. (eds.) **Carbon forms and functions in forest soils**. Madison: Soil Science Society of America Inc., 1995. p. 89-117.

BALDOCK, J. A. et al. Assessing the extent of decomposition of natural organic materials using solid-state  $^{13}\text{C}$  NMR spectroscopy. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, v. 35, p. 1061-1083, 1997.

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. The significance of organic separates to carbon dynamics and its modelling in some cultivated soils. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 47, p. 485-493, 1996.

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. The dynamics of carbon in particle-size fractions of soil in a forest-cultivation sequence. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 201, p. 49-57, 1998.

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

BARRAL, M. T.; ARIAS, M.; GUERIF, J. Effects of iron and organic matter on the porosity and structural stability of soil aggregates. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 46, p. 261-272, 1998.

BAYER, C. **Dinâmica da matéria orgânica em sistemas de manejo de solos**. 1996. 240 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, 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: Ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre, Genesis, 1999, p. 9-26.

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, 2000.

BAYER, C. et al. Changes in soil organic matter fractions under subtropical no-till cropping systems. **Soil Science Society of American 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. 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.; HENDRIX, P.; COLEMAN, D. Water stable aggregates and organic matter fractions in conventional 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-and no-tillage soils. **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.

BRONICK, C. J.; LAL, R. Soil structure and management: a review. **Geoderma**, Amsterdam, v. 124, p. 3-22, 2005.

BÜHMANN, C.; RAPP, I.; LAKER, M. C. Differences in mineral ratios between disaggregated and original clay fractions in some South African soils as affected by amendments. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, v. 34, p. 909-923, 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. Carbon and nitrogen distribution in aggregates from cultivated and native grassland soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 57, p. 1071-1076, 1993.

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 apos sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo de 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 de 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. Researching structural complexity in agricultural soils. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 79, p. 1-6, 2004.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. L., Estabilidade de agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo Distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de cultura e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, p. 527-538, 1998.

CERETTA, C. A. et al. Métodos espectroscópicos. In: SANTOS G. A.; CAMARGO, F. A. O. (Eds.) **Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Genesis, 1999. p. 293-336.

CHAN, K. Y. et al. Restoring soil fertility of degraded hardsetting soils in semi-arid areas with difference pastures. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, Collingwood, v. 41, p. 507-514, 2001.

CHENU, C.; STOTZKY, G. Interactions between microorganisms and soil particles. An overview. In: HUANG, P.M.; BOLLAG, J.M.; SENESI, N. (eds.) **Interactions between soil particles and microorganisms**. Weinheim: Wiley VCH Verlag, 2002. p. 3-39.

CHRISTENSEN, B. T. Physical fractionation of soil and organic matter in primary particle size and density separates. **Advances in Soil Science**, 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 Press, 1996. p. 97-165.

CHRISTENSEN, B. T. **Organic matter in soil-structure, function and turnover**. 2000. 95 f. Danish Institute of Agricultural Sciences, Research Centre Foulum, Tjele, Denmark, 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. 45-353, 2001.

COLLINS, H. P. et al. Characterization of soil organic carbon relative to its stability and turnover. In: PAUL, E. A. et al. (eds.) **Soil organic matter in temperate agroecosystems: long-term experiments in North America**. Boca Raton: CRC, 1997. p. 51-72.

CONTE, P.; PICCOLO, A. Quantitative differences in evaluating soil humic substances by liquid and solid-state  $^{13}\text{C}$  NMR spectroscopy. **Geoderma**, Amsterdam, v. 80, p. 339-352, 1997.

CORAZZA, E. J. et al. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 425-432, 1999.

CORNEJO, J.; HERMOSÍN, M. C. Interaction of humic substances in soil clays. In: PICCOLO, A. (Ed.) **Humic substances in terrestrial ecosystems**. Amsterdam: Elsevier, 1996. p. 595-624.

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.

DAVID, M. B.; VANCE, G. F.; KRZYSZOWSKA, J. Carbon controls on spodosol nitrogen, sulfur, and phosphorus cycling. In: McFee, W.W., Kelly, J.M. (Eds.) **Carbon Forms and Functions in Forest Soils**. Madison: SSSA, 1995. p. 329-353.

DENEF, K. et al. Short-term effects of biological and physical forces on aggregate formation in soils with different clay mineralogy. **Plant and soil**, Dordrecht, v. , p. 185-200, 2002.

DICK, D. P. **Caracterização de óxidos de ferro e adsorção de fósforo na fração argila de horizontes B latossólicos**. 1986. 196 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1986.

DICK, D. P. et al. Characteristics of soil organic matter of different Brazilian Ferralsols under native vegetation as a function of soil depth. **Geoderma**, Amsterdam, v. 124, p. 319-333, 2005.

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 fertilisation. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 268, p. 319-328, 2005.

DIXON, J. B. Kaolin and serpentinite group minerals. In: DIXON, J. B.; WEED, S. B. (eds.) **Minerals in soil environments**. Madison: SSSA, 1989. pp. 467-525.

DUIKER, S. W. et al. Iron (hydr)oxide crystallinity effects on soil aggregation. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 67, p. 606-611, 2003.

EDWARDS, A. P.; BREMNER, J. M. Microaggregates in soil. **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 and Environment**, Amsterdam, v. 34, p. 443-451, 1991.

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

FAO. **Soil Map of the World**. Revised Legend. Rome, 1994.

FABRÍCIO, A. C.; SALTON, J. C. **Alterações no teor de matéria orgânica do solo em diferentes sistemas de produção**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 1999. 4 p. (Comunicado Técnico, 7).

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

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

FERREIRA, M. M.; FERNANDES, B.; CURI, N. Mineralogia da fração argila e estrutura de latossolos da Região Sudoeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 507-514, 1999.

FISHER, M. J. et al. Carbon storage by introduced deep-rooted grasses in the South American savannas. **Nature**, v. 371, p. 236-238, 1994.

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, 2002.

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. 201-217, 2000.

GOEDERT, W. J. Management of cerrado soils of Brazil: a review. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 34, p. 405-428, 1983.

GOLCHIN, A. et al. Study of free and occluded particulate organic matter in soils by solid state  $^{13}\text{C}$  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  $^{13}\text{C}$  natural abundance, pyrolysis mass spectrometry and solid-state  $^{13}\text{C}$  NMR spectroscopy in density fractions of na Oxisol under forest and pature. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, v. 33, p. 59-76, 1995.

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

GONÇALVES, C. N. et al. The effect of 10% HF treatment on the resolution of CPMAS  $^{13}\text{C}$  NMR spectra and on the quality of organic matter in Ferralsols. **Geoderma**, Amsterdam, v. 116, p. 373-392, 2003.

GREENLAND, D. J. Interaction between clays and organic compounds in soil. Part I. Mechanisms of interaction between clays and defined organic compounds. **Soil and Fertilizers**, Oxon, v. 28, p. 415-425, 1965.

GREGORICH, E.; KACHANOSKI, R. G.; VORONEY, R. P. Carbon mineralisation in soil size fractions after various amounts of aggregate disruption. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 40, p. 649-659, 1989.

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.

GUGGENBERGER, G.; CHRISTENSEN, B. T.; ZECH, W. Land-use effects on the composition of organic matter in particle size separates of soil: I. Lignin and carbohydrate signature. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 45, p. 449-458, 1994.

GUPTA, V. V. S. R.; GERMIDA, J. J. Distribution of microbial biomass and its activity in different soil aggregate size classes as affected by cultivation. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 20, p. 777-786, 1988.

HASSINK, J. The capacity of soils to preserve organic C and N by their association with clay and silt particles. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 191, p. 77-87, 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.

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 Soil Science**, Oxford, v. 7, p. 189-199, 1997.

HAYNES, R. J.; BEARE, M. H. Influence of six crop species on aggregate stability and some labile organic matter fractions. **Soil Biology & Biochemistry**, Amsterdam, v. 29, p. 1647-1653, 1997.

HELFRICH, M. et al. Effect of land use on the composition of soil organic matter in density and aggregate fractions as revealed by solid-state  $^{13}\text{C}$  NMR spectroscopy. **Geoderma**, Amsterdam, v. 136, p. 331-341, 2006.

INDA JUNIOR, A. V.; KÄMPF, N. Avaliação de procedimentos de extração dos óxidos de ferro pedogênicos com ditionito-citrato-bicarbonato de sódio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 1139-1147, 2003.

INDA JUNIOR, A. V.; KÄMPF, N. Variabilidade de goethita e hematita via dissolução redutiva em solos de região tropical e subtropical. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, p. 851-866, 2005.

INDA JUNIOR, A. V. et al. Variáveis relacionadas à estabilidade de complexos organo-minerais em solos tropicais e subtropicais brasileiros. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, 2007 (no prelo).

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

JASTROW, J. D.; BOUTTON, T. W.; MILLER, R. M. Carbon dynamics of aggregate-associated organic matter estimated by carbon 13 natural abundance. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 60, p. 801-807, 1996.

JOHN, B. et al. Storage of organic carbon in aggregate and density fractions of silty soils under different types of land use. **Geoderma**, Amsterdam, v. 128, p. 63-79, 2005.

JOHNSTON, A. E. Soil organic matter effects on soils and crops. **Soil Use & Management**, Stirling, v. 2, p. 97-105, 1986.

KEMPER, W. D.; CHEPIL, W. S. Size distribution of aggregation. In.: BLACK, C.A. (ed). **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy, 1965. p. 499-510.

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.

KINCESH, P.; POWLSON, D. S.; RANDAL, E. W.  $^{13}\text{C}$  NMR studies of organic matter in whole soils: I. quantitation possibilities. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 46, p. 125-138, 1995.

KITAGAWA, Y. Goethite and hematite in some soils from the Amazon region. **Soil Science Plant Nutrition**, Tsukuba, v. 29, p. 209-217, 1983.

KNICKER, H.; LÜDEMANN, H-D. N-15 and C-13 CPMAS and solution NMR studies of N-15 enriched plant material during 600 days of microbial degradation. **Organic Geochemistry**, Oxford, v. 28, p. 329-341, 1995.

KNICKER, H.; SKJEMSTAD, L. A. Nature of organic carbon and nitrogen in physically protected organic matter of some Australian soils as revealed by solid-state  $^{13}\text{C}$  and  $^{15}\text{N}$  NMR spectroscopy. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, v. 38, p. 113-127, 2000.

KÖGEL-KNABNER, I. et al. Chemical composition of the organic matter in forest soils. I. Forest litter. **Soil Science**, Hagerstown, v. 146, p. 124-136, 1988.

KÖGEL-KNABNER, I.  $^{13}\text{C}$  and  $^{15}\text{N}$  NMR spectroscopy as tool in soil organic matter studies. **Geoderma**, Amsterdam, v. 80, p. 243-270, 1997.

KÖGEL-KNABNER, I. The macromolecular organic composition of plant and microbial residues as inputs to soil organic matter. **Soil Biology & Biochemistry**, Amsterdam, v. 34, p. 139-162, 2002.

KÖLBL, A.; KÖGEL-KNABNER, I. Content and composition of free and occluded particulate organic matter in a differently textured arable Cambisol as revealed by solid-state  $^{13}\text{C}$  NMR spectroscopy. **Journal Plant Nutrition of Soil Science**, v. 167, p. 45-53, 2004.

KRULL, E. S.; BALDOCK, J. A.; SKJEMSTAD, J. O. Importance of mechanisms and processes of the stabilisation of soil organic matter for modeling carbon turnover. **Functional Plant Biology**, Collingwood, v. 30, p. 207-222, 2003.

LADD, J. N.; FOSTER, R. C.; SKJEMSTAD, J. O. Soil structure: carbon and nitrogen metabolism. **Geoderma**, Amsterdam, v. 56, p. 401-434, 1993.

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 Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

LÜTZOW, M. V. et al. Stabilization of organic matter in temperate soils: mechanisms and their relevance under different soil conditions-a review. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 57, p. 426-445, 2006.

MACEDO, M. C. M. Pastagens no ecossistema Cerrados: Evolução das pesquisas para o desenvolvimento sustentável. In: REUNIÃO ANUAL DA SBZ, 32., Goiânia. **Anais...** Goiânica: SBZ, 1995. p. 28-62.

MACEDO, M. C. M. et al. Preliminary results of agropastoral systems in the cerrados of Mato Grosso do Sul - Brazil In: KANNO, T.; MACEDO, M. C. M. (eds.) **International joint workshop on agropastoral system in South America**. Tsukuba: JIRCAS, 2001. p. 35-42. (Working Report, 19)

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

MELO, V. F. et al. Características dos óxidos de ferro e de alumínio de diferentes classes de solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 19-32, 2001.

MEHRA, O. P.; JACKSON, M. L. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. **Proceedings Clays and Clay Mineral Conference**, Oxford, v. 7, p. 317-327, 1960.

MIELNICZUK, J. et al. Manejo de solo e culturas e sua relação com 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.

NEUFELDT, H.; RESCK, D. V. S.; AYARZA, M. A. Texture and land-use effects on soil organic matter in Cerrado Oxisols, Central Brazil. **Geoderma**, Amsterdam, v. 107, p. 151-164, 2002.

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

OADES, J. M. Characterization of organic matter in particle size and density fractions from a red-brown earth by solid-state  $^{13}\text{C}$  NMR. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, v. 25, p. 71-82, 1987.

OADES, J. M. The retention of organic matter in soils. **Biogeochemistry**, Netherlands, v. 5, p. 35-70, 1988.

OADES, J. M. et al. Interactions of soil organic matter and variable-charge clays. In: COLEMAN, D. C.; OADES, J. M.; UEHARA, G. (eds.) **Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems**. Honolulu: University of Hawaii Press, 1989. p. 69-95.

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

OLIVEIRA, J. B. ; JACOMINE, P. K. ; CAMARGO, M. N. **Classes gerais de solos do Brasil** : guia auxiliar para seu reconhecimento. Jaboticabal: Funesp, 1992. 201 p.

PALADINI, F. L. S.; MIELNICZUK, J. Distribuição de tamanho de agregados de um solo Podzólico Vermelho-Escuro afetado por sistema de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 15, p. 135-140, 1991.

PAUSTIAN, K.; COLLINS, H. P.; PAUL, E. A. Management controls on soil carbon. In: PAUL, E. A. et al. (eds.) **Soil organic matter in temperate agroecosystems: Long-term experiments in North America**. Boca Raton: CRC Press, 1995. p. 15-49.

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

POWERS, J. S.; SCHLESINGER, W. H. Relationships among soil carbon distributions and biophysical factors at nestes spatial scales in rain forests of northeastern Costa Rica. **Geoderma**, Amsterdam, v. 109, p. 165-190, 2002.

PRESTON, C. M.; NEWMAN, R. H.; ROTHER, P. Using  $^{13}\text{C}$  CPMAS NMR to assess effects of cultivation on the organic matter of particle size fractions in a grassland soil. **Soil Science**, Hagerstown, v. 157, p. 26-35, 1994.

RANSOM, B. et al. Organic Matter preservation on continental slopes: importance of mineralogy and surface area. **Geochimica and Cosmochimica Acta**, Washington, v. 62, p. 1329-1345, 1998.

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.

REINERT, D. J. **Recuperação da agregação pelo uso de leguminosas e gramíneas em solo Podzólico Vermelho-Amarelo**. 1993. 62 f. (Tese de concurso a Professor Titular) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1993.

RESENDE, M. et al. **Pedologia**: base para distinção de ambientes. Viçosa: Neput, 1997. 367 p.

RESCK, D. V. S. et al. Impact conversion of Brazilian Cerrados to cropland and pasture land on soil carbon pool and dynamics. In: LAL, L.; KIMBLE, J. M.; STEWART, B. A. (eds.) **Global climate change and tropical ecosystems**. Boca Raton: CRC, 1999. p. 169-196.

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  $^{13}\text{C}$ -CPMAS-NMR and  $\delta^{13}\text{C}$  signature. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 811-818, 2004.

ROSCOE, R.; MADAR, B. E.; MACHADO, P. L. O. A. Fracionamento físico do solo na obtenção de compartimentos mensuráveis para uso em simuladores da dinâmica da matéria orgânica. In: ROSCOE, R.; MERCANTE, F. M.; SALTON, J. C. (eds.) **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas**: modelagem matemática e métodos auxiliares. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006. p. 107-132.

SALTON, J. C. **Matéria orgânica e agregação do solo na rotação lavoura-pastagem em ambiente tropical**. 2005. 258 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2005.

SANCHEZ, P. A.; LOGAN, T. J. Myths and science about the chemistry and fertility of soil in the tropics. In: LAL, R.; SANCHEZ, P. A. (eds.) **Myths and science of soils of the tropics**. Wisconsin: Soil Science Society of America, 1992. p. 35-46.

SCHMIDT, M. W. I. et al. Improvement of  $^{13}\text{C}$  and  $^{15}\text{N}$  CPMAS NMR spectra of bulk soils, particle size fractions and organic material by treatment with 10% hydrofluoric acid. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 8, p. 319-328, 1997.

SCHMITZ, J. A. K. **Indicadores biológicos de qualidade do solo**. 2003. 234 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

SCHWERTMANN, U. Differenzierung der Eisenoxide des Bodens durch Extraktion mit Ammoniumoxalat-Lösung. **Zeitschrift fuer Pflanzenernährung Düng Bodenkunde**, Weinheim, v. 105, p. 194-202, 1964.

SCHWERTMANN, U. Some properties of soil and synthetic iron oxides. In: STUCKI, J. W.; GOODMAN, B. A.; SCHWERTMANN, U. (eds.) **Iron in soils and clay minerals**. Dordrecht: Proc. Nato Advances Study Institute, 1988. p. 203-250.

SHANG, C.; TIESSEN, H. Organic matter stabilization in two semiarid tropical soils: size, density and magnetic separations. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 62, p. 1247-1257, 1998.

SHANG, C.; TIESSEN, H. Sequencial 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.

SCHULTEN, H. R.; LEINWEBER, P. New insights into organic mineral particles: composition, properties and molecular structure. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 30, p. 399-432, 2000.

SHUNKE, R. M. Alternativas de manejo de pastagem para melhor aproveitamento do nitrogênio do solo. In: MERCANTE, F. M. (ed.) **Workshop nitrogênio na sustentabilidade de sistemas intensivos de produção agropecuária**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2000. p. 125-140.

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 Ciência do Solo, 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.

SILVA, J. E.da et al. Carbon storage in clayey Oxisol cultivated pastures in the "Cerrado" region, Brazil. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 103, p. 357-363, 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.; ELLIOTT, E. T.; PAUSTIAN, K. Aggregate and soil organic matter dynamics under conventional and no-tillage systems. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 63, p. 1350-1358, 1999.

SIX, J.; ELLIOTT, E. T.; PAUSTIAN, K. Soil structure and soil organic matter: II. A normalized stability index and the effect of mineralogy. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 64, p. 1042-1049, 2000a.

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

SIX, J.; ELLIOTT, E. T.; PAUSTIAN, K. 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, 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, 2002a.

SIX, J.; CONANT, R. T.; PAUL, E. A.; PAUSTIAN, K. Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturation of soils. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 241, p. 155-176, 2002b.

SKJEMSTAD, J. O.; LE FEUVRE, R. P., PREBBLE, R. E. Turnover of soil organic matter under pasture as determined by  $^{13}\text{C}$  natural abundance. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, v. 28, p. 267-277, 1990.

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

SKJEMSTAD, J. O. et al. The removal of magnetic materials from surface soils. A solid state  $^{13}\text{C}$  CP/MAS NMR study. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, v. 32, p. 1215-1229, 1994.

SKJEMSTAD, J. O. et al. Characterization of soil organic matter by solid-state  $^{13}\text{C}$  NMR spectroscopy. In: GADISCH, G.; GILLER, K. E. (eds.) **Driven by nature: plant litter quality and decomposition**. Wallingford: CAB International, 1997. p. 253-271.

SKJEMSTAD, J. O. et al. Changes in chemical nature of soil organic carbon in Vertisols under wheat in southeastern Queensland. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, v. 39, p. 343-359, 2001.

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.

SOLLINS, P.; HOMMAN, P.; CALDWELL, B. A. Stabilization and destabilization of soil organic matter: mechanisms and controls. **Geoderma**, Amsterdam, v. 74, p. 65-105, 1996.

SPYCHER, G.; SOLLINS, P.; ROSE, S. 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.

STEVENSON, F. L. Soil Carbohydrates In: STEVENSON, F. L. (ed.) **Humus Chemistry: genesis, composition, reactions**. New York: John Wiley, 1994. p. 141-165.

TIESSEN, H.; STEWART, J. W. B. Light and electron microscopy of stained microaggregates: the role of organic matter and microbes in soil aggregation. **Biogeochemistry**, Netherlands, v. 5, p. 312-322, 1988.

TISDALL, J. M.; OADES, J. M. Stabilization of soil aggregates by the root systems of ryegrass. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, v. 17, p. 429-441, 1979.

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.

VAN VEEN, J.A.; MERCKX, R.; VANDE GLIJN, S. C. Plant and soil related controls of the flow of carbon from roots through the soil microbial biomass. In: CLARHOLM, M.; BERGSTROM, L. (eds.) **Ecology of arable lands**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1989. p. 43-52.

VASSALO, A. M.; WILSON, M. A.; COLLIN, P. J. Structural analysis of geochemical samples by solid-state nuclear magnetic resonance spectrometry. Role of paramagnetic material. **Analytical Chemistry**, Columbus, v. 59, p. 558-562, 1987.

VEZZANI, F. **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.

VITORINO, A. C. T. et al. Mineralogia, química e estabilidade de agregados do tamanho de silte de solos da região sudeste do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, p. 133-141, 2003.

WANDER, M. M.; YANG, X. Influence of tillage on the dynamics of loose and occluded particulate and humified organic matter fractions. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 32, p. 1151-1160, 2000.

YOUNG, J. L.; SPYCHER, G. Water dispersible soil organic-mineral. I. carbon and nitrogen distribution. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 43, p. 324-328, 1979.

ZECH, W. et al. Factors controlling humification and mineralization of soil organic matter in the tropics. **Geoderma**, Amsterdam, v. 79, p. 17-161, 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.

## 10 APÊNDICES

Apêndice 1. Distribuição percentual da massa de agregados estáveis por classe de tamanho nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm de cada solo (LVdf-D=Dourados, LVdf-M=Maracaju e LVd-CG=Campo Grande), submetidos a sistemas de uso e manejo. VN: vegetação nativa, PD: plantio direto de culturas anuais, PD2P2 e PD1P3: rotação lavoura-pastagem, PP: pastagem permanente de gramínea, PP+L: pastagem permanente de gramínea consorciada com leguminosa.

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

## Apêndice 1. Continuação...

Solo	Trat.	Prof.	Peneira	Repetição I		Repetição II		Repetição III		média
				I. 1	I. 2	II. 1	II. 2	III.1	III.2	
		...cm...	...mm...	.....%						
			1,00	9,38	11,08	11,61	11,03	11,69	14,83	11,60
			0,50	14,42	16,44	21,21	21,26	15,21	17,82	17,73
			0,25	12,21	14,63	15,63	16,45	9,15	13,00	13,51
			0,105	9,93	10,41	10,43	8,97	7,35	6,59	8,95
			0,053	3,29	2,74	3,88	2,92	2,50	2,57	2,98
			<0,053	6,10	6,86	4,99	5,36	6,96	6,27	6,09
		5-10	4,76	27,45	31,27	19,09	30,96	13,55	24,34	24,45
			2,00	18,37	18,71	23,71	21,44	19,11	18,48	19,97
			1,00	14,03	10,08	15,63	11,33	17,54	14,66	13,88
			0,50	15,51	12,94	14,83	12,15	20,80	17,28	15,59
			0,25	9,95	11,09	10,26	9,15	12,91	10,83	10,70
			0,105	6,17	7,71	8,72	7,15	8,10	6,45	7,38
			0,053	2,04	2,05	2,42	2,49	2,37	1,97	2,22
			<0,053	6,48	6,13	5,35	5,32	5,61	5,98	5,81
		10-20	4,76	49,30	43,93	22,81	29,34	28,38	15,12	31,48
			2,00	12,17	18,19	18,91	16,75	21,23	17,65	17,48
			1,00	8,12	10,04	14,00	11,60	14,35	19,07	12,86
			0,50	9,21	8,19	16,34	15,31	12,72	20,25	13,67
			0,25	6,19	6,40	10,21	11,01	8,29	12,78	9,15
			0,105	6,33	5,17	9,34	7,59	7,48	7,28	7,20
			0,053	2,07	1,89	2,72	2,71	1,89	1,94	2,20
			<0,053	6,61	6,19	5,67	5,68	5,66	5,91	5,95
	PD2P2	0-5	4,76	52,37	45,57	49,55	55,06	48,30	44,83	49,28
			2,00	18,07	19,29	17,07	16,59	20,03	17,27	18,05
			1,00	8,84	13,22	10,43	9,60	9,39	8,12	9,93
			0,50	6,35	7,38	8,53	6,15	8,29	10,97	7,94
			0,25	4,36	4,48	5,76	4,94	5,19	8,41	5,52
			0,105	3,55	3,38	3,24	2,25	3,36	4,73	3,42
			0,053	1,24	1,27	1,00	0,86	1,42	1,47	1,21
			<0,053	5,20	5,41	4,42	4,55	4,02	4,21	4,63
		5-10	4,76	30,26	33,25	52,58	47,45	37,82	46,86	41,37
			2,00	20,32	18,69	19,56	16,00	21,11	16,62	18,72
			1,00	13,55	14,37	8,20	9,95	11,94	10,45	11,41
			0,50	13,46	11,92	4,76	7,59	9,79	7,71	9,20
			0,25	6,45	7,27	3,37	6,18	5,81	6,31	5,90
			0,105	6,99	5,12	3,21	4,80	5,65	4,65	5,07
			0,053	1,95	2,08	1,86	1,92	2,01	1,73	1,92
			<0,053	7,03	7,31	6,46	6,11	5,86	5,68	6,41
		10-20	4,76	31,59	39,75	32,43	38,72	29,50	40,99	35,50
			2,00	21,08	16,76	20,79	18,81	24,06	18,16	19,94
			1,00	11,61	11,47	12,34	11,12	13,93	11,95	12,07

## Apêndice 1. Continuação...

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

## Apêndice 1. Continuação...

Solo	Trat.	Prof.	Peneira	Repetição I		Repetição II		Repetição III		média
				I. 1	I. 2	II. 1	II. 2	III.1	III.2	
		...cm...	...mm...	.....%						
			0,25	11,21	6,03	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	8,62
			0,105	6,52	5,67	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	6,10
			0,053	1,39	1,24	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1,32
			<0,053	2,48	2,79	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	2,63
		10-20	4,76	38,14	38,18	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	38,16
			2,00	15,28	16,18	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	15,73
			1,00	12,36	11,44	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	11,90
			0,50	12,51	12,70	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	12,60
			0,25	10,22	8,70	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	9,46
			0,105	7,28	8,46	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	7,87
			0,053	1,48	1,65	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1,57
			<0,053	2,72	2,70	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	2,71
	PD	0-5	4,76	12,43	10,03	19,63	21,62	14,93	12,91	15,26
			2,00	14,02	16,65	23,39	20,94	20,45	16,93	18,73
			1,00	15,90	21,35	20,71	17,93	15,82	14,10	17,63
			0,50	25,38	26,00	16,56	18,80	20,77	22,97	21,75
			0,25	15,73	13,40	9,18	9,32	13,18	16,60	12,90
			0,105	9,05	5,31	4,55	5,26	8,01	8,97	6,86
			0,053	2,46	2,06	1,34	1,43	1,90	2,50	1,95
			<0,053	5,04	5,21	4,63	4,71	4,95	5,01	4,92
		5-10	4,76	24,09	23,71	31,70	27,26	41,03	36,53	30,72
			2,00	27,88	27,42	25,29	25,89	18,87	17,68	23,84
			1,00	20,13	20,59	16,42	17,53	9,88	12,79	16,22
			0,50	12,26	13,09	9,55	12,86	11,23	12,76	11,96
			0,25	6,39	6,18	5,82	6,49	8,69	7,98	6,92
			0,105	3,94	3,85	4,96	4,20	4,77	6,32	4,67
			0,053	1,23	1,39	1,44	1,35	1,57	1,71	1,45
			<0,053	4,10	3,76	4,82	4,41	3,96	4,23	4,21
		10-20	4,76	45,06	40,45	39,30	33,72	39,46	36,87	39,14
			2,00	20,69	22,18	27,87	21,60	18,04	15,20	20,93
			1,00	10,69	12,30	9,52	15,11	12,16	13,51	12,22
			0,50	7,80	9,09	8,02	14,42	13,22	13,88	11,07
			0,25	5,10	6,50	5,24	7,01	7,02	8,34	6,54
			0,105	5,17	3,77	5,27	3,55	5,17	7,37	5,05
			0,053	1,45	1,64	1,22	1,20	1,45	1,37	1,39
			<0,053	4,05	4,07	3,55	3,39	3,49	3,45	3,67
	PD2P2	0-5	4,76	47,41	48,07	42,35	42,14	34,78	31,02	40,96
			2,00	16,83	16,72	24,36	16,45	20,92	21,93	19,54
			1,00	9,91	11,39	11,68	13,70	13,86	15,67	12,70
			0,50	10,42	8,95	11,05	12,53	15,96	15,96	12,48
			0,25	6,97	6,79	3,95	8,56	8,13	8,34	7,12

## Apêndice 1. Continuação...

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

## Apêndice 1. Continuação...

Solo	Trat.	Prof.	Peneira	Repetição I		Repetição II		Repetição III		média
				I. 1	I. 2	II. 1	II. 2	III.1	III.2	
		...cm...	...mm...	.....%						
			0,053	0,56	0,79	0,77	0,66	1,25	1,28	0,88
			<0,053	2,32	2,34	2,78	2,96	2,29	2,33	2,50
LVd-CG	VN	0-5	4,76	25,67	29,87	17,65	22,30	19,05	16,21	21,79
			2,00	17,54	20,57	16,11	22,89	16,64	13,72	17,91
			1,00	13,03	13,00	19,22	16,31	11,85	11,64	14,18
			0,50	18,09	16,41	21,79	20,54	21,21	20,62	19,78
			0,25	18,14	11,30	17,52	11,27	20,08	25,60	17,32
			0,105	5,21	6,38	5,65	4,61	7,77	8,87	6,42
			0,053	0,92	0,81	0,61	0,40	1,14	1,14	0,84
			<0,053	1,40	1,65	1,43	1,67	2,27	2,22	1,77
		5-10	4,76	14,13	n.d.	19,85	19,46	22,65	17,67	17,98
			2,00	21,35	n.d.	20,67	23,01	17,08	19,63	20,52
			1,00	14,13	n.d.	14,19	17,51	13,99	15,50	14,91
			0,50	23,93	n.d.	18,35	16,76	16,95	21,20	20,19
			0,25	16,60	n.d.	17,52	13,50	16,50	16,54	16,21
			0,105	7,33	n.d.	6,97	7,15	9,99	7,03	7,63
			0,053	0,65	n.d.	0,83	0,75	1,09	0,94	0,82
			<0,053	1,87	n.d.	1,63	1,87	1,73	1,49	1,74
		10-20	4,76	19,97	16,34	17,29	11,32	17,46	12,73	15,85
			2,00	14,54	19,78	21,62	18,42	22,50	18,25	19,18
			1,00	19,27	16,34	16,81	19,40	19,03	22,40	18,87
			0,50	21,49	21,42	18,15	21,96	19,44	24,07	21,09
			0,25	15,92	15,04	15,68	15,07	13,09	15,14	14,99
			0,105	6,43	8,50	7,76	10,59	5,71	5,27	7,38
			0,053	0,86	0,77	0,99	1,14	1,05	0,87	0,95
			<0,053	1,52	1,83	1,69	2,10	1,72	1,27	1,69
	PD	0-5	4,76	9,04	8,61	13,75	9,32	22,43	16,70	13,31
			2,00	13,93	11,77	12,25	10,85	9,48	10,83	11,52
			1,00	9,47	7,11	10,09	11,11	5,81	11,50	9,18
			0,50	19,01	24,37	26,38	14,71	12,79	12,34	18,26
			0,25	30,63	32,30	20,88	33,71	26,06	27,69	28,54
			0,105	10,63	9,38	8,75	11,46	14,35	9,70	10,71
			0,053	2,01	2,18	2,81	2,59	3,31	3,44	2,72
			<0,053	5,28	4,28	5,09	6,26	5,78	7,81	5,75
		5-10	4,76	24,75	24,82	17,48	17,66	23,92	23,07	21,95
			2,00	12,41	13,66	12,78	11,25	14,45	15,34	13,31
			1,00	8,45	10,93	13,10	8,79	10,00	9,54	10,14
			0,50	13,93	10,99	12,75	16,73	10,19	15,10	13,28
			0,25	21,98	27,03	22,54	28,97	22,90	20,96	24,06
			0,105	12,38	6,63	12,97	9,20	11,49	9,63	10,38
			0,053	2,09	1,98	2,83	2,14	2,30	1,96	2,22

## Apêndice 1. Continuação...

Solo	Trat.	Prof.	Peneira	Repetição I		Repetição II		Repetição III		média
				I. 1	I. 2	II. 1	II. 2	III.1	III.2	
		...cm...	...mm...	.....%						
			<0,053	4,02	3,96	5,54	5,27	4,75	4,39	4,66
		10-20	4,76	24,03	12,22	10,86	12,65	23,93	16,89	16,76
			2,00	13,01	12,82	15,86	13,77	15,78	21,89	15,52
			1,00	9,03	14,20	13,81	12,47	7,25	11,51	11,38
			0,50	12,32	21,61	10,15	18,99	13,19	13,47	14,95
			0,25	23,59	26,50	26,20	25,32	23,35	22,96	24,65
			0,105	11,55	7,52	14,99	9,64	11,47	7,82	10,50
			0,053	2,12	1,46	2,59	2,27	1,92	1,69	2,01
			<0,053	4,36	3,68	5,54	4,89	3,11	3,78	4,23
	PD1P3	0-5	4,76	34,05	40,72	43,81	48,62	39,17	39,20	40,93
			2,00	11,99	10,11	10,88	11,00	12,31	13,02	11,55
			1,00	7,26	7,42	7,95	8,23	8,85	8,16	7,98
			0,50	13,49	10,86	10,95	11,33	10,20	8,71	10,92
			0,25	19,93	11,72	13,47	11,28	13,00	14,55	13,99
			0,105	6,77	10,81	7,92	5,17	10,20	9,49	8,39
			0,053	1,66	2,14	1,45	1,19	1,53	1,85	1,64
			<0,053	4,84	6,22	3,57	3,19	4,75	5,01	4,60
		5-10	4,76	35,67	39,15	34,99	36,55	32,56	33,91	35,47
			2,00	10,61	10,40	15,56	14,95	13,72	12,16	12,90
			1,00	7,56	7,73	9,50	9,35	10,73	8,36	8,87
			0,50	13,27	11,35	14,69	12,92	13,34	15,93	13,59
			0,25	16,15	16,93	12,55	14,05	12,96	16,68	14,89
			0,105	9,82	7,35	7,69	6,76	10,63	8,06	8,39
			0,053	2,63	2,10	1,60	1,82	1,90	1,35	1,90
			<0,053	4,28	4,98	3,41	3,60	4,15	3,55	4,00
		10-20	4,76	26,67	22,61	29,36	30,91	35,84	40,12	30,92
			2,00	16,92	16,22	16,84	16,35	12,17	11,75	15,04
			1,00	9,94	12,75	8,77	9,02	8,95	5,80	9,20
			0,50	15,33	15,95	11,52	14,97	13,50	8,35	13,27
			0,25	15,83	15,10	17,25	16,33	13,63	15,56	15,62
			0,105	10,31	11,71	11,13	8,02	9,97	12,24	10,56
			0,053	1,72	1,94	2,13	1,48	1,97	2,19	1,91
			<0,053	3,28	3,71	3,01	2,91	3,97	3,99	3,48
	PP	0-5	4,76	26,69	23,45	34,26	42,24	30,38	32,34	31,56
			2,00	24,60	25,57	18,23	19,89	18,39	16,96	20,61
			1,00	13,05	12,26	9,65	7,66	12,06	12,44	11,19
			0,50	10,07	14,06	10,13	8,15	11,31	15,66	11,56
			0,25	16,18	13,61	14,99	10,78	15,18	13,16	13,98
			0,105	4,97	6,20	7,37	6,42	7,50	5,05	6,25
			0,053	1,03	1,06	1,32	1,01	1,32	0,89	1,11
			<0,053	3,40	3,79	4,05	3,85	3,87	3,50	3,74

## Apêndice 1. Continuação...

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

n.d.: não determinado, devido à falta de local apropriado para coleta de solo representativo da condição original do cerrado (VN).

Apêndice 2. Densidade do solo (Ds), teores e estoque de carbono orgânico total (COT) no solo integral, nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm de cada solo (LVdf-D=Dourados, LVdf-M=Maracaju e LVd-CG=Campo Grande), submetidos a sistemas de uso e manejo. VN: vegetação nativa, PD: plantio direto de culturas anuais, PD2P2 e PD1P3: rotação lavoura-pastagem, PP: pastagem permanente de gramínea, PP+L: pastagem permanente de gramínea consorciada com leguminosa.

Solo	Trat.	Camada .....cm.....	Ds g cm <sup>-3</sup>	COT .....g C kg <sup>-1</sup> solo.....			COT .....Mg C ha <sup>-1</sup> .....		
				Rep. I	Rep. II	Rep. III	Rep. I	Rep. II	Rep. III
LVdf-D	VN	0-5	1,05	23,27	29,65	24,27	12,37	15,57	12,74
		5-10	1,02	19,32	21,83	21,33	9,85	11,13	10,88
		10-20	1,22	14,67	17,83	17,60	17,90	21,75	21,47
	PD	0-5	1,30	19,95	17,29	17,45	10,47	9,08	9,16
		5-10	1,24	16,26	14,25	14,83	8,29	7,27	7,56
		10-20	1,34	16,92	14,05	15,84	20,64	17,14	19,32
	PD2P2	0-5	1,36	24,48	26,01	22,94	12,85	13,66	12,04
		5-10	1,19	17,11	17,32	18,44	8,73	8,83	9,40
		10-20	1,39	14,95	15,95	16,29	18,24	19,46	19,87
	PP	0-5	1,25	25,87	34,60	30,91	13,58	18,17	16,23
		5-10	1,21	19,06	20,47	17,41	9,72	10,44	8,88
		10-20	1,35	15,37	18,44	14,93	18,75	22,50	18,21
LVdf-M	VN	0-5	1,35	39,88	n.d.	n.d.	26,92	n.d.	n.d.
		5-10	1,35	21,20	n.d.	n.d.	14,31	n.d.	n.d.
		10-20	1,35	18,60	n.d.	n.d.	25,11	n.d.	n.d.
	PD	0-5	1,29	23,71	21,37	22,15	16,00	14,42	14,95
		5-10	1,29	23,58	23,72	19,45	15,92	16,01	13,13
		10-20	1,30	20,54	19,18	19,01	27,73	25,89	25,66
	PD2P2	0-5	1,29	31,04	30,07	28,89	20,95	20,30	19,50
		5-10	1,31	24,49	22,29	24,70	16,53	15,05	16,67
		10-20	1,31	22,35	17,37	22,14	30,17	23,45	29,89
	PP	0-5	1,26	35,60	35,37	36,12	24,03	23,87	24,38
		5-10	1,34	23,75	26,75	23,14	16,03	18,06	15,62
		10-20	1,31	20,42	23,73	20,45	27,57	32,04	27,61
LVd-CG	VN	0-5	0,94	46,89	26,84	27,34	22,04	12,61	12,85
		5-10	1,30	24,03	19,61	18,93	15,62	12,75	12,30
		10-20	1,30	19,02	17,50	18,24	24,73	22,75	23,71
	PD	0-5	0,99	24,82	22,71	28,19	11,67	10,67	13,25
		5-10	1,30	18,88	18,07	19,45	12,27	11,75	12,64
		10-20	1,30	15,57	17,63	20,92	20,24	22,92	27,20
	PD1P3	0-5	1,25	21,14	25,60	19,08	9,94	12,03	8,97
		5-10	1,30	18,93	21,30	18,69	12,30	13,85	12,15
		10-20	1,30	17,31	18,57	17,02	22,50	24,14	22,13
	PP	0-5	1,37	21,86	22,72	22,62	10,27	10,68	10,63
		5-10	1,30	21,26	21,79	22,74	13,82	14,16	17,78
		10-20	1,30	19,28	19,60	19,82	25,06	25,48	25,77

## Apêndice 2. Continuação...

Solo	Trat.	Camada	Ds	Teores de CO			Estoques de CO		
				Rep. I	Rep. II	Rep. III	Rep. I	Rep. II	Rep. III
		.....cm.....	g cm <sup>-3</sup>	.....g kg <sup>-1</sup> .....			.....Mg há <sup>-1</sup> .....		
	PP+L	0-5	1,34	27,81	28,36	27,16	13,07	13,33	12,77
		5-10	1,30	20,93	21,15	21,77	13,60	13,75	14,15
		10-20	1,30	19,29	17,52	18,80	25,08	22,78	24,44

n.d. = não determinado, devido à falta de local apropriado para coleta de solo representativo da condição original do cerrado (VN).

Apêndice 3. Teores de carbono nas frações físicas da MO (FLL, FLO e FP) nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm de cada solo (LVdf-D=Dourados, LVdf-M=Maracaju e LVdf-CG=Campo Grande), submetidos a sistemas de uso e manejo. VN: vegetação nativa, PD: plantio direto de culturas anuais, PD2P2 e PD1P3: rotação lavoura-pastagem, PP: pastagem permanente de gramínea, PP+L: pastagem permanente de gramínea consorciada com leguminosa. Fracionamento realizado no Estudo I.

Solo	Fração	Tratamento	Camada .....cm.....	Carbono			média
				Rep. I	Rep. II	Rep. III	
				.....g C kg <sup>-1</sup> de solo.....			
LVdf-D	FLL	VN	0-5	1,97	2,85	3,27	2,70
			5-10	0,64	0,65	0,74	0,68
			10-20	0,23	0,35	0,37	0,31
		PD	0-5	1,60	0,88	0,98	1,15
			5-10	0,28	0,39	0,46	0,38
			10-20	0,63	0,31	0,51	0,48
		PD2P2	0-5	1,20	1,64	0,99	1,28
			5-10	0,54	0,36	0,52	0,47
			10-20	0,25	0,44	0,33	0,34
	PP	0-5	1,69	3,62	2,25	2,52	
		5-10	0,95	1,04	0,44	0,81	
		10-20	0,34	0,33	0,46	0,37	
	FLO	VN	0-5	3,28	2,69	4,84	3,60
			5-10	2,74	3,19	2,71	2,88
			10-20	1,88	1,98	1,86	1,91
		PD	0-5	3,87	3,74	4,06	3,89
			5-10	2,86	2,17	2,93	2,65
			10-20	2,48	1,95	2,90	2,44
		PD2P2	0-5	6,06	7,00	5,06	6,04
			5-10	3,11	3,25	3,45	3,27
			10-20	2,24	2,56	2,03	2,61
		PP	0-5	6,84	8,23	7,51	7,53
			5-10	3,09	3,92	3,95	3,65
			10-20	2,82	2,95	3,08	2,95
	FP	VN	0-5	18,32	24,11	16,16	19,53
			5-10	15,94	17,99	17,88	17,27
			10-20	12,56	15,50	15,38	14,48
PD		0-5	14,48	12,67	12,41	13,19	
		5-10	13,12	11,69	11,44	12,08	
		10-20	13,82	11,79	12,43	12,68	
PD2P2		0-5	17,22	17,36	16,89	17,16	
		5-10	13,46	13,71	14,47	13,88	
		10-20	12,45	12,94	12,93	12,78	
PP		0-5	17,34	22,75	21,15	20,42	
		5-10	15,02	15,51	13,03	14,52	
		10-20	12,21	15,16	11,39	12,92	

## Apêndice 3. Continuação...

Solo	Fração	Tratamento	Camada	Carbono			média	
				Rep. I	Rep. II	Rep. III		
			.....cm.....	.....g C kg <sup>-1</sup> de solo.....				
LVdf-M	FLL	VN	0-5	4,12	n.d.	n.d.	4,12	
			5-10	0,39	n.d.	n.d.	0,39	
			10-20	0,28	n.d.	n.d.	0,28	
		PD	0-5	1,36	0,60	0,86	0,94	
			5-10	0,43	0,30	0,24	0,32	
			10-20	0,23	0,16	0,16	0,18	
		PD2P2	0-5	1,43	1,07	1,25	1,25	
			5-10	0,39	1,20	0,34	0,64	
			10-20	0,27	0,23	0,30	0,27	
	PP	0-5	1,78	1,78	2,09	1,88		
		5-10	0,59	0,56	0,43	0,53		
		10-20	0,35	0,33	0,33	0,33		
	FLO	VN	0-5	11,34	n.d.	n.d.	11,34	
			5-10	4,16	n.d.	n.d.	4,16	
			10-20	2,93	n.d.	n.d.	2,93	
		PD	0-5	4,28	4,21	3,93	4,14	
			5-10	3,57	3,85	2,39	3,27	
			10-20	2,38	1,73	2,19	2,10	
		PD2P2	0-5	5,49	5,86	6,17	5,84	
			5-10	3,85	3,73	3,70	3,76	
			10-20	3,01	1,58	2,67	2,42	
		PP	0-5	6,92	8,98	6,46	7,45	
			5-10	4,10	4,86	3,19	4,05	
			10-20	1,95	3,54	2,16	2,55	
		FP	VN	0-5	24,42	n.d.	n.d.	24,42
				5-10	16,65	n.d.	n.d.	16,65
				10-20	15,38	n.d.	n.d.	15,38
PD	0-5		18,07	16,56	17,36	17,33		
	5-10		19,58	19,56	16,82	18,66		
	10-20		17,93	17,29	16,67	17,29		
PD2P2	0-5		24,11	23,14	21,47	22,91		
	5-10		20,25	17,36	20,66	19,42		
	10-20		19,07	15,56	19,18	17,93		
PP	0-5		26,90	24,61	27,57	26,36		
	5-10		19,07	21,33	19,52	19,97		
	10-20		18,12	19,86	17,99	18,66		
LVd-CG	FLL	VN	0-5	9,75	2,56	3,43	5,24	
			5-10	2,17	1,34	1,70	1,74	
			10-20	1,01	0,57	0,59	0,72	

## Apêndice 3. Continuação...

Solo	Fração	Tratamento	Camada	Carbono			média
				Rep. I	Rep. II	Rep. III	
			.....cm.....	.....g C kg <sup>-1</sup> de solo.....			
		PD	0-5	2,99	3,25	4,53	3,59
			5-10	1,00	0,96	1,51	1,15
			10-20	0,98	0,81	1,00	0,93
		PD1P3	0-5	1,68	2,24	1,77	1,90
			5-10	0,54	0,63	0,60	0,59
			10-20	0,51	0,45	0,55	0,51
		PP	0-5	1,52	0,85	1,35	1,24
			5-10	0,66	0,67	0,78	0,70
			10-20	0,57	0,52	0,60	0,56
		PP+L	0-5	2,56	2,12	1,76	2,15
			5-10	0,77	0,63	0,86	0,75
			10-20	0,53	0,90	0,36	0,60
	FLO	VN	0-5	7,60	4,65	5,30	5,85
			5-10	4,27	3,11	3,43	3,60
			10-20	3,86	2,15	2,01	2,67
		PD	0-5	5,15	4,84	5,47	5,49
			5-10	3,72	3,16	4,01	3,63
			10-20	2,51	2,38	3,39	2,76
		PD1P3	0-5	4,40	6,29	4,73	5,14
			5-10	3,39	3,49	3,36	3,41
			10-20	2,81	3,22	2,95	3,00
		PP	0-5	3,96	3,96	4,79	4,23
			5-10	3,18	3,84	5,26	4,10
			10-20	2,67	3,33	3,42	3,14
		PP+L	0-5	5,92	6,92	6,65	6,50
			5-10	2,85	3,82	3,81	3,49
			10-20	2,39	2,63	2,75	2,59
	FP	VN	0-5	29,54	19,63	18,61	22,59
			5-10	17,59	15,16	13,81	15,52
			10-20	14,15	14,78	15,64	14,86
		PD	0-5	16,68	14,62	17,18	16,16
			5-10	14,17	13,96	13,93	14,02
			10-20	12,08	14,43	16,53	14,35
		PD1P3	0-5	15,06	17,07	12,58	14,91
			5-10	15,01	17,17	14,73	15,64

## Apêndice 3. Continuação...

Solo	Fração	Tratamento	Camada	Carbono			média
				Rep. I	Rep. II	Rep. III	
			.....cm.....	.....g C kg <sup>-1</sup> de solo.....			
			10-20	13,98	14,90	13,51	14,13
		PP	0-5	16,39	17,92	16,48	16,93
			5-10	17,42	17,27	16,70	17,13
			10-20	16,04	15,75	15,80	15,86
		PP+L	0-5	19,33	19,32	18,76	19,13
			5-10	17,32	16,70	17,10	17,04
			10-20	16,37	13,99	15,69	15,35

n.d. = não determinado, devido à falta de local apropriado para coleta de solo representativo da condição original do cerrado (VN).

Apêndice 4. Teores de carbono nas frações físicas da MO (FLL, FLO e FP) na camada de 0-5 cm de cada solo (LVdf-D=Dourados, LVdf-M=Maracaju e LVd-CG=Campo Grande), submetidos a sistemas de uso e manejo. VN: vegetação nativa, PD: plantio direto de culturas anuais, PD2P2 e PD1P3: rotação lavoura-pastagem, PP: pastagem permanente de gramínea, PP+L: pastagem permanente de gramínea consorciada com leguminosa. Fracionamento realizado para análise de RMN  $^{13}\text{C}$  CPMAS (Estudo II).

Solo	Fração	Tratamento	Carbono			média
			Rep. I	Rep. II	Rep. III	
			.....g C kg <sup>-1</sup> de solo.....			
LVdf-D	FLL	VN	1,62	2,95	2,81	2,46
		PD	1,08	0,94	0,91	0,98
		PD2P2	1,46	1,87	0,79	1,37
		PP	1,56	2,69	1,79	2,01
	FLO	VN	3,90	6,10	4,41	4,80
		PD	3,66	3,49	4,47	3,87
		PD2P2	6,36	7,37	5,84	6,52
		PP	6,75	9,21	6,90	7,62
	FP	VN	15,78	16,75	15,31	15,95
		PD	11,64	9,89	9,67	10,40
		PD2P2	10,74	12,25	11,89	11,63
		PP	13,99	16,46	14,65	15,03
LVdf-M	FLL	VN	3,76	n.d	n.d.	3,76
		PD	0,82	0,50	0,51	0,61
		PD2P2	1,12	1,22	0,80	1,05
		PP	1,85	1,56	2,37	1,93
	FLO	VN	11,76	n.d	n.d.	11,76
		PD	4,63	3,93	4,46	4,34
		PD2P2	5,05	5,41	6,65	5,70
		PP	5,13	6,85	6,29	6,09
	FP	VN	19,37	n.d	n.d.	19,37
		PD	13,81	14,13	14,11	14,02
		PD2P2	17,04	16,98	18,21	17,41
		PP	22,04	23,28	18,86	21,39
LVd-CG	FLL	VN	9,14	3,54	3,05	5,24
		PD	2,30	2,53	4,77	3,20
		PD1P3	2,26	2,51	1,22	2,00
		PP	1,64	1,10	0,93	1,22
		PP+L	1,97	2,19	2,18	2,11

## Apêndice 4. Continuação,,,

Solo	Fração	Tratamento	Carbono			média
			Rep. I	Rep. II	Rep. III	
			.....g C kg <sup>-1</sup> de solo.....			
	FLO	VN	7,41	3,87	5,34	5,54
		PD	4,80	5,12	5,89	5,27
		PD1P3	5,70	7,05	5,19	5,98
		PP	4,53	4,11	5,04	4,56
		PP+L	6,79	7,84	7,56	7,40
	FP	VN	16,53	13,67	13,29	14,49
		PD	11,83	12,59	13,42	12,61
		PD1P3	12,60	15,23	13,96	13,93
		PP	14,14	12,77	13,60	13,50
		PP+L	14,80	16,07	15,71	15,53

n.d. = não determinado, devido à falta de local apropriado para coleta de solo representativo da condição original do cerrado (VN).

Apêndice 5. Teores de C e N (antes e após tratamento químico), enriquecimento de C e N ( $C_E$  e  $N_E$ ) e alterações na composição química da MO do solo (fator R) devido ao tratamento com ditionito de sódio (FLL) e com HF 10% (FLO e FP).

Solo	Fração	Tratamento	C ( $g\ kg^{-1}$ )		$C_E$	N ( $g\ kg^{-1}$ )		$N_E$	R	
			Antes	Após		Antes	Após			
LVdf-D	FLL	VN	9,38	11,24	1,20	0,44	0,51	1,16	1,0	
		PD	5,76	7,61	1,32	0,35	0,41	1,17	0,9	
		PD2P2	7,03	8,70	1,24	0,32	0,38	1,19	1,0	
		PP	9,09	11,24	1,24	0,37	0,43	1,16	0,9	
	FLO	VN	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	
		PD	14,95	45,71	3,06	0,93	2,60	2,80	0,9	
		PD2P2	19,31	45,78	2,37	1,00	2,38	2,38	1,0	
		PP	19,27	46,03	2,39	0,95	2,23	2,35	1,0	
	FP	VN	1,71	17,89	10,46	0,13	1,53	11,77	1,1	
		PD	1,11	10,18	9,17	0,10	1,04	10,40	1,1	
		PD2P2	1,25	12,49	9,99	0,11	1,24	11,27	1,1	
		PP	1,63	17,89	10,98	0,13	1,44	11,08	1,0	
	LVdf-M	FLL	VN	10,95	13,40	1,22	0,46	0,56	1,22	1,0
			PD	4,30	4,71	1,10	0,31	0,33	1,06	1,0
			PD2P2	6,08	6,54	1,08	0,31	0,33	1,06	1,0
			PP	8,15	10,05	1,23	0,28	0,34	1,21	1,0
FLO		VN	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	
		PD	16,84	45,56	2,71	0,94	2,51	2,67	1,0	
		PD2P2	18,26	47,86	2,62	0,90	2,06	2,29	0,9	
		PP	17,79	45,46	2,56	0,71	2,01	2,38	1,1	
FP		VN	2,17	17,39	8,01	0,15	1,30	8,67	1,1	
		PD	1,49	13,36	8,97	0,12	1,24	10,33	1,2	
		PD2P2	1,86	15,00	8,06	0,15	1,34	8,93	1,1	
		PP	2,29	18,15	7,93	0,17	1,41	8,29	1,0	
LVd-CG		FLL	VN	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
			PD	10,93	14,11	1,29	0,69	0,78	1,13	0,9
			PD1P3	8,43	9,11	1,08	0,43	0,46	1,07	1,0
			PP	6,14	7,25	1,18	0,21	0,23	1,10	0,9
	PP+L		7,82	9,02	1,15	0,42	0,46	1,10	0,9	
	FLO	VN	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	
		PD	18,62	47,00	2,52	1,16	2,82	2,43	1,01	
		PD1P3	19,79	45,74	2,31	1,04	2,39	2,30	1,0	
		PP	17,55	48,61	2,77	0,78	2,07	2,65	1,0	
		PP+L	16,33	44,45	2,72	0,92	2,58	2,80	1,0	

## Apêndice 5. Continuação...

Solo	Fração	Tratamento	C (g kg <sup>-1</sup> )		C <sub>E</sub>	N (g kg <sup>-1</sup> )		N <sub>E</sub>	R
			Antes	Após		Antes	Após		
	FP	VN	1,61	22,75	14,13	0,11	1,93	17,55	1,2
		PD	1,34	22,28	16,63	0,09	1,98	22,00	1,3
		PD1P3	1,49	21,17	14,21	0,10	1,79	17,90	1,3
		PP	1,44	29,82	20,71	0,09	2,25	25,00	1,2
		PP+L	1,64	22,13	13,49	0,11	1,88	17,09	1,3

<sup>a</sup> Enriquecimento de C e N = [conteúdo de C ou N após tratamento químico]/[conteúdo de C ou N antes do tratameto químico]

<sup>b</sup> R = [C/N não tratado]/[C/N tratado]

Valores de R = 1,0±0,2 são usualmente aceitos como uma indicação de não alteração na composição da MO após tratamento químico com HF (Schmidt et al., 1997).

Apêndice 6. Proporção dos diferentes tipos de carbono no solo integral, da camada de 0-5 cm dos solos LVdf-Dourados (LVdf-D), LVdf-Maracaju (LVdf-M) e LVd-Campo Grande (LVd-CG), submetidos a sistemas de manejo sob plantio direto (PD), rotação lavoura-pastagem (PD2P2 e PD1P3) e pastagem permanente (PP e PP+L).

Tratamento/ Repetição	distribuição dos tipos de C (ppm) no espectro de RMN <sup>13</sup> C CPMAS										
	adeído e cetona 220-185	carboxila, éster e amida 185-160	<b>C carboxílico</b> <b>220-160</b>	C O- substituído (fenol) 160-140	C C-, H- substituído 140-110	<b>C aromático</b> <b>160-110</b>	carboidrato (anomérico) 110-90	carboidrato (C2-C6) 90-60	metoxila e aminoácido 60-45	<b>C O-alkil</b> <b>110-45</b>	<b>C alkil</b> <b>45-(-10)</b>
.....%											
<b>LVdf-D</b>											
PD/I	2,73	8,11	<b>10,84</b>	6,07	11,61	<b>17,69</b>	9,37	26,70	11,07	<b>47,15</b>	<b>24,33</b>
PD/II	3,58	8,51	<b>12,09</b>	6,07	11,43	<b>17,50</b>	9,41	26,29	10,80	<b>46,50</b>	<b>23,91</b>
PD/III	2,20	7,41	<b>9,61</b>	5,99	11,31	<b>17,31</b>	9,21	26,25	11,05	<b>46,51</b>	<b>26,58</b>
PD2P2/I	2,87	7,80	<b>10,67</b>	6,02	11,83	<b>17,85</b>	10,18	28,69	10,85	<b>49,71</b>	<b>21,76</b>
PD2P2/II	2,02	7,53	<b>9,55</b>	5,41	10,39	<b>15,80</b>	9,59	30,24	11,15	<b>50,98</b>	<b>23,67</b>
PD2P2/III	2,76	7,80	<b>10,56</b>	5,58	11,08	<b>16,66</b>	9,81	29,12	11,01	<b>49,95</b>	<b>22,84</b>
PP/I	2,82	7,87	<b>10,69</b>	5,98	11,54	<b>17,53</b>	10,28	29,71	10,63	<b>50,61</b>	<b>21,17</b>
PP/II	2,27	6,57	<b>8,84</b>	5,47	10,87	<b>16,34</b>	10,72	32,69	10,81	<b>54,23</b>	<b>20,59</b>
PP/III	3,23	7,26	<b>10,50</b>	5,75	11,34	<b>17,09</b>	10,29	30,15	10,63	<b>51,07</b>	<b>21,35</b>
<b>LVdf-M</b>											
PD/I	3,11	7,91	<b>11,02</b>	5,69	10,73	<b>16,42</b>	9,04	27,33	10,80	<b>47,16</b>	<b>25,40</b>
PD/II	2,61	7,57	<b>10,18</b>	5,34	9,81	<b>15,15</b>	8,63	29,15	11,18	<b>48,96</b>	<b>25,71</b>
PD/III	3,04	7,63	<b>10,68</b>	5,69	10,49	<b>16,18</b>	9,30	28,59	10,93	<b>48,82</b>	<b>24,32</b>
PD2P2/I	3,17	7,16	<b>10,32</b>	5,29	10,13	<b>15,42</b>	10,00	31,83	10,07	<b>51,91</b>	<b>22,35</b>
PD2P2/II	2,20	6,99	<b>9,19</b>	5,24	10,18	<b>15,42</b>	9,64	32,32	10,81	<b>52,76</b>	<b>22,63</b>
PD2P2/III	2,85	7,69	<b>10,54</b>	5,29	10,34	<b>15,63</b>	9,47	30,93	10,80	<b>51,19</b>	<b>22,64</b>

Apêndice 6. Continuação...

Tratamento/ Repetição	distribuição dos tipos de C (ppm) no espectro de RMN <sup>13</sup> C CPMAS										
	aldeído e cetona	carboxila, éster e amida	<b>C carboxílico</b>	C O- substituído (fenol)	C C-, H- substituído	<b>C aromático</b>	carboidrato (anomérico)	carboidrato (C2-C6)	metoxila e aminoácido	<b>C O-álquil</b>	<b>C álquil</b>
	220-185	185-160	<b>220-160</b>	160-140	140-110	<b>160-110</b>	110-90	90-60	60-45	<b>110-45</b>	<b>45-(-10)</b>
	.....%										
PP/I	2,27	6,24	<b>8,51</b>	4,95	9,87	<b>14,82</b>	10,21	34,40	10,14	<b>54,75</b>	<b>21,93</b>
PP/II	1,98	5,97	<b>7,95</b>	4,88	9,63	<b>14,51</b>	10,07	34,81	10,40	<b>55,28</b>	<b>22,26</b>
PP/III	2,30	6,00	<b>8,31</b>	4,60	9,22	<b>13,82</b>	10,28	35,67	9,97	<b>55,91</b>	<b>21,96</b>
<b>LVd-CG</b>											
PD/I	3,41	8,34	<b>11,76</b>	5,74	12,95	<b>18,69</b>	8,82	28,38	10,78	<b>47,98</b>	<b>21,58</b>
PD/II	2,33	7,61	<b>9,94</b>	5,31	12,78	<b>18,09</b>	8,61	27,99	11,39	<b>47,99</b>	<b>23,98</b>
PD/III	3,39	7,98	<b>11,37</b>	5,73	12,99	<b>18,72</b>	8,96	26,86	10,99	<b>46,81</b>	<b>23,09</b>
PD1P3/I	2,76	7,91	<b>10,67</b>	5,40	12,10	<b>17,51</b>	9,84	30,98	10,54	<b>51,37</b>	<b>20,46</b>
PD1P3/II	2,71	7,68	<b>10,39</b>	5,31	12,70	<b>18,01</b>	9,63	29,56	10,91	<b>50,09</b>	<b>21,50</b>
PD1P3/III	2,93	7,42	<b>10,35</b>	5,24	12,29	<b>17,53</b>	9,34	28,51	11,00	<b>48,84</b>	<b>23,28</b>
PP/I	2,47	7,04	<b>9,51</b>	5,01	11,51	<b>16,52</b>	9,79	30,44	10,48	<b>50,71</b>	<b>23,26</b>
PP/II	2,54	7,24	<b>9,78</b>	5,43	11,97	<b>17,40</b>	9,94	31,21	10,12	<b>51,28</b>	<b>21,54</b>
PP/III	4,15	7,74	<b>11,89</b>	5,68	12,74	<b>18,42</b>	9,58	27,80	10,36	<b>47,74</b>	<b>21,95</b>
PP+L/I	2,69	7,58	<b>10,28</b>	5,22	11,00	<b>16,22</b>	9,56	31,58	11,03	<b>52,16</b>	<b>21,34</b>
PP+L/II	2,80	7,77	<b>10,57</b>	5,31	11,51	<b>16,82</b>	9,40	29,97	10,96	<b>50,33</b>	<b>22,28</b>
PP+L/III	2,75	7,64	<b>10,40</b>	5,59	11,63	<b>17,22</b>	9,52	29,40	11,09	<b>50,01</b>	<b>22,38</b>

Apêndice 7. Proporção dos diferentes tipos de carbono nas frações físicas da MO (FLL, FLO e FP) da camada de 0-5 cm dos solos LVdf-Dourados (LVdf-D), LVdf-Maracaju (LVdf-M) e LVd-Campo Grande (LVd-CG), submetidos a sistemas de manejo sob plantio direto (PD), rotação lavoura-pastagem (PD2P2 e PD1P3) e pastagem permanente (PP e PP+L).

Tratamento /Repetição	distribuição dos tipos de C (ppm) no espectro de RMN <sup>13</sup> C CPMAS										
	325-300	300-245	245-185	185-160	160-140	140-110	110-90	90-60	60-45	45-0	0-(-40)
	.....%.....										
<b>LVdf-D</b>											
<b>FLL</b>											
PD	0,35	1,10	1,07	5,10	4,88	14,19	11,63	31,62	10,28	18,26	1,53
PD2P2	0,65	1,25	1,21	3,80	4,26	11,58	11,79	34,94	11,09	18,08	1,39
PP/I	0,80	1,62	2,10	2,58	2,88	10,12	12,37	42,64	10,24	13,34	1,34
PP/II	0,03	1,65	2,52	3,06	3,86	11,34	12,59	38,73	10,14	14,57	1,49
PP/III	0,20	1,47	2,56	3,77	3,66	11,99	12,46	39,77	9,48	13,26	1,38
<b>FLO</b>											
PD	0,34	2,23	1,21	4,40	3,20	16,88	7,88	26,81	10,58	24,99	1,49
PD2P2	0,23	1,50	1,96	5,43	4,24	16,06	9,02	28,87	9,92	21,24	1,52
PP	0,59	1,42	1,14	4,74	3,63	14,44	9,45	32,36	10,35	20,43	1,47
<b>FP</b>											
PD/I	0,57	1,04	2,37	7,94	4,30	10,66	9,57	29,38	11,13	21,82	1,23
PD/II	0,94	1,78	1,94	6,63	3,74	9,70	8,78	29,41	11,93	23,50	1,69
PD/III	0,46	1,96	1,44	7,47	3,96	10,48	9,14	30,20	11,44	22,26	1,18
PD2P2	0,35	1,65	1,82	7,40	3,77	10,52	9,39	30,95	11,35	22,07	0,72
PP	0,28	0,71	1,62	7,43	4,07	11,02	10,40	32,16	11,12	20,59	0,58

Apêndice 7. Continuação...

Tratamento /Repetição	distribuição dos tipos de C (ppm) no espectro de RMN <sup>13</sup> C CPMAS										
	325-300	300-245	245-185	185-160	160-140	140-110	110-90	90-60	60-45	45-0	0-(-40)
	.....%.....										
<b>LVdf-M</b>											
<b>FLL</b>											
PD	0,37	2,64	3,52	5,89	5,12	13,25	10,59	31,11	9,67	16,31	1,54
PD2P2	0,48	1,87	2,18	4,68	4,51	12,68	12,42	35,82	9,99	14,20	1,14
PP/I	0,13	1,77	2,15	3,19	3,56	11,13	12,87	39,32	10,72	13,86	1,28
PP/II	0,85	1,16	3,14	4,26	4,27	12,20	13,60	38,85	9,45	11,56	0,66
PP/III	1,28	1,12	1,06	3,83	4,51	12,31	13,37	38,35	9,26	13,71	1,23
<b>FLO</b>											
PD	0,29	1,54	1,28	5,21	3,85	19,35	8,12	26,74	10,54	21,34	1,75
PD2P2	0,25	1,50	1,79	5,30	4,27	17,78	8,81	29,68	9,71	19,30	1,61
PP	0,40	1,57	1,93	4,58	4,42	15,88	10,20	32,92	9,17	17,75	1,17
<b>FP</b>											
PD/I	0,41	0,67	1,64	7,05	3,67	10,53	10,11	33,17	11,23	20,91	0,59
PD/II	0,26	1,06	1,80	6,98	2,76	9,39	9,54	33,39	11,86	22,32	0,64
PD/III	0,46	1,43	2,46	7,62	3,93	10,70	9,05	30,41	11,26	21,91	0,78
PD2P2	0,34	0,52	1,87	6,91	3,71	10,59	10,14	32,48	10,96	21,89	0,58
PP	0,30	0,43	0,77	6,42	3,31	10,82	10,94	36,39	10,18	19,23	0,21

Apêndice 7. Continuação...

Tratamento /Repetição	distribuição dos tipos de C (ppm) no espectro de RMN <sup>13</sup> C CPMAS										
	325-300	300-245	245-185	185-160	160-140	140-110	110-90	90-60	60-45	45-0	0-(-40)
.....%.....											
<b>LVd-CG</b>											
<b>FLL</b>											
PD	0,84	3,38	4,83	6,16	6,73	14,65	9,56	25,17	9,45	16,86	2,50
PD1P3	0,28	2,03	3,12	4,11	4,09	12,44	11,52	37,24	10,13	10,04	0,99
PP/I	1,01	2,19	1,27	2,28	3,55	12,85	12,31	40,70	10,06	13,00	0,83
PP/II	0,61	2,47	2,97	3,88	3,51	12,32	12,49	40,33	9,27	11,08	1,09
PP/III	0,49	2,48	3,38	4,15	4,40	14,53	10,66	34,62	9,45	14,68	1,15
PP+L	0,40	1,15	1,78	3,89	4,03	12,12	11,65	36,13	10,76	16,35	1,77
<b>FLO</b>											
PD	0,19	1,31	1,58	5,33	3,95	17,78	8,56	28,16	10,94	21,04	1,17
PD1P3	0,45	2,54	2,55	5,62	4,50	17,14	9,17	28,79	9,68	18,48	1,07
PP	0,43	1,95	2,35	4,92	4,28	17,63	9,15	30,01	8,57	18,85	1,84
PP+L	0,40	1,11	1,67	5,44	4,00	14,31	9,50	32,42	10,74	19,45	0,98
<b>FP</b>											
PD/I	0,44	1,52	2,83	8,27	4,39	12,38	8,95	27,85	10,39	22,00	0,99
PD/II	0,58	1,07	1,87	5,72	3,33	11,47	9,32	32,68	11,52	21,98	0,46
PD/III	0,38	1,17	2,35	6,63	3,56	12,06	9,40	30,37	11,10	21,95	1,04
PD1P3	0,15	1,23	1,92	5,80	2,83	10,64	9,82	33,94	11,01	22,21	0,45
PP	0,42	1,27	1,87	5,03	3,04	10,74	9,90	34,12	10,94	22,19	0,50
PP+L	0,44	1,26	1,69	6,31	3,33	9,97	9,47	32,22	11,40	22,73	1,17

Cálculos (dados de RMN <sup>13</sup>C CPMAS):

245-185: (245-185 ppm); 185-160: (325-300 ppm \* 2) + (185-160 ppm);

**220-160**: (245-185 ppm) + (185-160 ppm);

**160-110**: (300-245 ppm) + (0-(-40 ppm)) + (160-110 ppm);

110-60: (110-90 ppm) + (90-60 ppm); 60-45: (60-45 ppm); **110-45**: (110-60 ppm) + (60-45 ppm);

**45-0**: (45-0 ppm) - (325-300 ppm).