

UFRRJ
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
CIÊNCIA DO SOLO

DISSERTAÇÃO

**Atributos Edáficos e Fauna do Solo em Áreas de
Integração Lavoura-Pecuária no Bioma Cerrado,
Mato Grosso do Sul**

Itaynara Batista

2011



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
CIÊNCIA DO SOLO**

**ATRIBUTOS EDÁFICOS E FAUNA DO SOLO EM ÁREAS DE
INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA NO BIOMA CERRADO, MATO
GROSSO DO SUL**

ITAYNARA BATISTA

Sob a Orientação do Professor
Marcos Gervasio Pereira

e Co-orientação da Pesquisadora
Maria Elizabeth Fernandes Correia

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Ciência do Solo

Seropédica, RJ
Fevereiro de 2011

633.202098

171

B333a

T

Batista, Itaynara, 1986-

Atributos edáficos e fauna do solo em áreas de integração lavoura-pecuária no Bioma Cerrado, Mato Grosso do Sul / Itaynara Batista - 2011.

86 f.: il.

Orientador: Marcos Gervasio Pereira.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de Pós-Graduação em Agronomia.

Bibliografia: f. 79-86.

1. Pastagens - Mato Grosso do Sul - Teses. 2. Solos - Agregação - Mato Grosso do Sul - Teses. 3. Humus - Teses. 4. Invertebrado - Teses. 5. Cerrados - Mato Grosso do Sul - Teses. I. Pereira, Marcos Gervasio, 1965-. II. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Curso de Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.

É permitida a cópia parcial ou total desta Dissertação, desde que seja citada a fonte.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA CIÊNCIA DO SOLO

ITAYNARA BATISTA

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Curso de Pós-Graduação em Agronomia, área de Concentração em Ciência do Solo.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 16/02/2011

Marcos Gervasio Pereira. Dr. UFRRJ
(Orientador)

Nilvania Aparecida de Mello. Dra. UTFPR – Pato Branco

Adriano Perin. Dr. IF Goiano - Rio Verde

DEDICO

*A minha mãe Lenyr, minha irmã
Selenir e ao meu esposo Rodrigo.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por todas as coisas, pela vida e pelo imenso amor que tem por nós. Por permitir e dar sabedoria para poder enxergar as oportunidades, muitas das vezes agarrá-las ou aceitá-las e por final entendê-las.

Agradeço a minha família, mãe Lenyr, irmã Selenir e ao meu esposo Rodrigo pelo apoio, incentivo, carinho e paciência.

Ao meu orientador Marcos Gervasio Pereira pelo apoio e compreensão desde o início, sem falar na confiança que depositou em mim durante todo o período de desenvolvimento do trabalho.

A minha orientadora e amiga Maria Elizabeth Fernandes Correia, que durante a graduação e pós-graduação confiou em mim e me ofereceu oportunidades para crescimento acadêmico e pessoal. Agradeço aos momentos de descontração no horário do cafezinho, sem falar que sempre dizia que tudo daria certo.

Aos amigos do Laboratório de Fauna do Solo da Embrapa Agrobiologia, Miriam (oncinha), Fernandinha, Sandra, Dayana, Claudia, Hugo e Rafael.

Ao Prof Jolimar Antônio Schiavo, pelo apoio na logística para a realização das coletas em Maracajú, MS.

Ao laboratorista Roberto pela amizade e enorme ajuda nas coletas em Maracajú, MS.

Ao meu querido braço direito Wanderlei, agradeço muito pela ajuda na realização deste trabalho, sem falar no companherismo, dedicação, respeito e amizade.

Aos amigos do Laboratório de Gênese e Classificação de Solos Deivid, Fernando, Arcângelo, Celeste, Paulinha, Edilene, Dyuliano, Guilherme, André, Anderson, Shirlei, Sidnei e Taís que sempre estavam dispostos a ajudar e dar as dicas para realização das análises.

À pesquisadora Janaína da Embrapa Agrobiologia pelo auxílio nas análises estatísticas e à professora Nilvânia por me ensinar a identificar os agregados.

Ao pessoal da secretaria Roberto, Marquinhos e Vagner pelo apoio.

Aos colegas de turma Willian, Roselaine, Jakson, Paulinha, Eloísa, Débora, Ana Carolina, Alessandro, Anatoly, Camila, Marcus Vinícius, Cássia, Juliana e Érica, pelo companherismo durante o curso.

As queridas amigas Ana Carolina (Krol), Andreinha, Jerusa e Rosana pelo carinho, amizade e todas as palavras de incentivo.

As queridas amigas do alojamento F1-19 Sumaya, Fabiana, Karina, Selma e Dalila pelo incentivo.

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro pela oportunidade de formação acadêmica, à Embrapa Agrobiologia pelo suporte para realização do estudo, ao CPGA-CS pelo ensino de pós-graduação e ao CNPq pela concessão da bolsa e apoio financeiro, através do Edital Casadinho com a UEMS.

Enfim, a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO GERAL

BATISTA, I. **Atributos edáficos e fauna do solo em áreas de integração lavoura-pecuária no Bioma Cerrado, Mato Grosso do Sul**. 2011. 86f. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2011.

A crescente demanda por alimentos e a expansão em busca de novas áreas produtivas, juntamente com a preocupação com os reflexos das práticas agrícolas no meio ambiente, estimularam o desenvolvimento de sistemas de produção com enfoque conservacionista. O sistema de integração lavoura pecuária (ILP) mostra grande potencial para a melhoria da qualidade das pastagens, já que a rotação de culturas, principalmente as de grãos, deposita uma grande quantidade de palhada no solo, protegendo e disponibilizando nutrientes ao agroecossistema. O trabalho foi desenvolvido na Fazenda Cabeceira, Maracajú - MS em áreas de integração lavoura-pecuária (ILP). As áreas avaliadas foram: Cerradão, pasto/milho, milho/algodão e algodão/soja, sendo realizadas avaliações nas épocas seca (maio/2009) e chuvosa (março/2010), com o objetivo de analisar os reflexos do sistema integração lavoura-pecuária, nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo. Foi feita a caracterização do complexo sortivo, análise granulométrica, fracionamento granulométrico da matéria orgânica do solo (MOS), determinação das frações oxidáveis da matéria orgânica, macrofauna edáfica, identificação das vias de formação de agregados, sendo estabelecidos três tipos de agregados: fisiogênicos, biogênicos e intermediários. Também foi avaliada a composição relativa dos diferentes tipos de agregados (%), a estabilidade dos agregados e a caracterização do complexo sortivo destes. A dinâmica do complexo sortivo e da MOS se mostrou sensível às variações sazonais. Os compartimentos de carbono variaram, tanto para o fracionamento granulométrico quanto para as frações oxidáveis. A compartimentalização da MOS pode ser utilizada para avaliação da qualidade do manejo, sendo os compartimentos mais importantes o COp no fracionamento granulométrico e as frações F1 e F2 de frações oxidáveis. Em relação à macrofauna edáfica, de uma maneira geral a cultura instalada no momento das avaliações e os resíduos vegetais da cultura anterior influenciaram na estrutura da comunidade da macrofauna edáfica, devido aos diferentes teores de nutrientes que disponibilizam na decomposição. A maior densidade de indivíduos, riqueza média e riqueza total foram encontradas na área de Cerradão nas duas épocas de avaliação, porém para esta área não foram observados maiores índices de diversidade e equabilidade, devido à dominância de alguns grupos, principalmente Isoptera. As áreas com maiores valores de equabilidade foram a área de milho/algodão na época seca e a área de algodão/soja na época chuvosa, com índices de Pielou de 0,75 e 0,80 respectivamente, ambas apresentaram elevada riqueza total (17 e 14) e baixa dominância de grupos. Os agregados biogênicos de forma geral, comparadas apenas as vias de formação e épocas de avaliação, foram encontrados em menor quantidade aos fisiogênicos e intermediários. O maior teor de carbono orgânico total foi verificado nos agregados biogênicos na época seca e nos intermediários na chuvosa. Este padrão sugere que os agregados biogênicos da época seca foram aqueles que originaram os agregados intermediários da época chuvosa.

Palavras chave: Matéria orgânica. Agregação do solo. Invertebrados.

GENERAL ABSTRACT

BATISTA, I. **Soil attributes and soil fauna in integrated crop-livestock farming areas in the Cerrado Biome, Mato Grosso do Sul.** 2011. 86p. Dissertation (Master Science in Agronomy, Soil Science). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2011.

The growing demand for food and the search for new productive areas, plus the concern about the impact of agricultural practices on environment stimulated development of production systems in which conservation is emphasised. The integrated crop-livestock (ICL) system shows great potential for improving pasture quality, since the crop rotation, particularly of cereals, deposit a large quantity of crop residues in the soil, thus protecting the agroecosystem and providing nutrients. This study was conducted in the integrated crop-livestock (ICL) areas of Cabeceira Farm, Maracajú, State of Mato Grosso do Sul, Brazil. The areas evaluated were: Cerradão woodland, pasture/corn, corn/cotton and cotton/soybean rotation. Evaluations were carried out in the dry season (May 2009) and in the rainy season (March 2010), to analyse the impact of the integrated crop-livestock system on chemical, physical and biological soil properties. The evaluations comprised characterization of sorption complex, granulometry analysis, granulometry fractionation of soil organic matter (SOM), determination of oxidizable fractions of organic matter, and identification of edaphic macrofauna and aggregation formation pathways, where three types of aggregates were established: physiogenic, biogenic and intermediate. The relative composition (%) and the stability of different aggregate types were evaluated, and their sorption complex was characterized. The dynamics of the sorption complex and SOM were affected by seasonal variations. The carbon pools varied with both granulometry fraction and oxidizable fractions. The type of SOM compartmentalization can be used to evaluate quality of soil management. The most important compartments are the particulated organic carbon (POC) in the granulometry fraction, and the F1 and F2 fractions of oxidizable fractions. In general, the structure of edaphic macrofauna community was influenced by the crop present at the time of the evaluations, and the crop residues from previous cultivation, due to different levels of nutrients available upon their decomposition. The highest values for density of individuals, mean richness, and total richness were found in Cerradão woodland area, for both evaluation periods. However, the diversity and richness indices observed in this area were not the highest, because some groups dominated, principally Isoptera. The areas with the highest values of evenness were the corn/cotton rotation area, in the dry season, and the cotton/soybean one in the rainy season. The Pielou index values were of 0.75 and 0.80, respectively, both showing high levels of total richness (17 and 14), and low group dominance. When comparing only the aggregate formation pathways and evaluation seasons, the quantities of biogenic aggregates were generally lower than the quantities of physiogenic, and intermediate aggregates. The greatest content of total organic carbon was found in the biogenic aggregates, in the dry season, and in the intermediate aggregates, in the rainy season. This pattern suggests that the biogenic aggregates of the dry season originated the intermediate aggregates in the rainy season.

Keywords: Organic matter. Soil aggregation. Invertebrates.

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Teores de areia, silte e argila das amostras de terra na profundidade 0-10 cm.	14
Tabela 2. Teores de areia, silte e argila das amostras de terra na profundidade 10-20 cm.	14
Tabela 3. Teores de areia, silte e argila das amostras de terra na profundidade 20-30 cm.	14
Tabela 4. Atributos das amostras de terra na profundidade 0-10 cm.	18
Tabela 5. Atributos químicos das amostras de terra na profundidade 10-20 cm.....	19
Tabela 6. Atributos químicos das amostras de terra na profundidade 20-30 cm.....	20
Tabela 7. Teores de nutrientes da serapilheira e dos resíduos vegetais das áreas de estudo na época seca.	22
Tabela 8. Teores de nutrientes da serapilheira e dos resíduos vegetais das áreas de estudo na época chuvosa.	23
Tabela 9. Teores de carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COp), carbono orgânico associado aos minerais (COam) e matéria orgânica leve em água (MOL) na profundidade 0-10 cm.....	27
Tabela 10. Teores de carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COp), carbono orgânico associado aos minerais (COam) e matéria orgânica leve em água (MOL) na profundidade 10-20 cm.....	27
Tabela 11. Teores de carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COp), carbono orgânico associado aos minerais (COam) e matéria orgânica leve em água (MOL) na profundidade 20-30 cm.....	28
Tabela 12. Densidade do solo, estoque de COT e frações granulométricas COp e COam na profundidade de 0-10 cm de profundidade.	31
Tabela 13. Densidade do solo, estoque de COT e frações granulométricas COp e COam na profundidade de 10-20 cm de profundidade.	31
Tabela 14. Densidade do solo, estoque de COT e frações granulométricas COp e COam na profundidade de 20-30 cm de profundidade.	32
Tabela 15. Teores de carbono orgânico total (COT) e frações oxidáveis do carbono orgânico do solo (F1, F2, F3, F4) nas áreas avaliadas, na profundidade 0-10 cm.....	34
Tabela 16. Teores de carbono orgânico total (COT) e frações oxidáveis do carbono orgânico do solo (F1, F2, F3, F4) nas áreas avaliadas, na profundidade 10-20 cm.....	34
Tabela 17. Teores de carbono orgânico total (COT) e frações oxidáveis do carbono orgânico do solo (F1, F2, F3, F4) nas áreas avaliadas, na profundidade 20-30 cm.....	35
Tabela 18. Densidade total da macrofauna edáfica (ind m ⁻²) e índices ecológicos.....	48
Tabela 19. Densidade da macrofauna edáfica (indivíduos m ⁻²) nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-30 cm.....	50
Tabela 20. Umidade do solo e serapilheira/palhada das áreas de estudo nas duas épocas de avaliação.	52
Tabela 21. Riqueza média da macrofauna edáfica (indivíduos repetição-1) nas profundidades	

0-10, 10-20 e 20-30 cm.....	54
Tabela 22. Grupos da macrofauna edáfica que foram influenciados pela profundidade.....	55
Tabela 23. Valores médios das frações de diferentes origens (%), DMP e DMG (mm) nas duas épocas de avaliação.	69
Tabela 24. Valores médios do peso das frações de diferentes origens (%), DMP e DMG (mm) nas duas épocas de avaliação.	70
Tabela 25. Valores médios dos teores de nutrientes das frações de diferentes origens na época seca de avaliação.....	72
Tabela 26. Valores médios dos teores de nutrientes das frações de diferentes origens na época chuvosa de avaliação.....	73
Tabela 27. Média geral dos teores de nutrientes, peso (%), DMP e DMG (mm) das frações de diferentes origens nas duas épocas de avaliação.....	76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa da ocorrência original do Cerrado no Brasil (IPEVS, 2011)	2
Figura 2. Esquema da integração lavoura-pecuária, Fazenda Cabeceira, Maracajú – MS. As setas indicam o sentido da rotação.....	12
Figura 3. Áreas de integração lavoura-pecuária na Fazenda Cabeceira (Maracajú – MS).1: Cerradão; 2: Pasto e Milho; 3: Milho e Algodão; 4: Algodão e Soja	13
Figura 4. Áreas e culturas avaliadas, primeira avaliação realizada na época seca e segunda na época chuvosa.	13
Figura 5. Análise de Redundância dos atributos químicos em função das diferentes áreas de estudo. Valor de explicação do Eixo 1: 83,9% e Eixo 2: 94,6 %	25
Figura 6. Análise de Redundância dos atributos em função de diferentes profundidades. Valor de explicação do Eixo 1: 98,6% e Eixo 2: 100,0%.....	25
Figura 7. Análise de Redundância dos atributos em função das épocas de avaliação. Valor de explicação do Eixo 1: 100,0% e Eixo 2: 0,0%.....	26
Figura 8. Dinâmica de decomposição da matéria orgânica adicionada nas diferentes áreas. .	36
Figura 9. Diagrama resultante da Análise de Redundância (RDA) das diferentes formas e frações de carbono do solo em função das áreas avaliadas. Sendo COT: carbono orgânico total, COp: carbono orgânico particulado, COam: carbono orgânico associado aos minerais, MOL: matéria orgânica leve em água, F1, F2, F3 e F4: frações oxidáveis da matéria orgânica. Valor de explicação do Eixo 1: 79,7 % e Eixo 2: 96,5 %.....	37
Figura 10. Diagrama resultante da Análise de Redundância (RDA) das diferentes formas e frações de carbono do solo em função das épocas de avaliação. Sendo COT: carbono orgânico total, COp: carbono orgânico particulado, COam: carbono orgânico associado aos minerais, MOL: matéria orgânica leve em água, F1, F2, F3 e F4: frações oxidáveis da matéria orgânica. Valor de explicação do Eixo 1: 100,0 % e Eixo 2: 0,0 %.....	38
Figura 11. Diagrama resultante da Análise de Redundância (RDA) das diferentes formas e frações de carbono do solo em função das profundidades de avaliação. Sendo COT: carbono orgânico total, COp: carbono orgânico particulado, COam: carbono orgânico associado aos minerais, MOL: matéria orgânica leve em água, F1, F2, F3 e F4: frações oxidáveis da matéria orgânica. Valor de explicação do Eixo 1: 98,5 % e Eixo 2: 100,0%.....	38
Figura 12. Amostragem da macrofauna do solo, pelo método TSBF.	46
Figura 13. Distribuição dos grupos da macrofauna edáfica nas diferentes áreas de estudo na época seca.	49
Figura 14. Distribuição dos grupos da macrofauna edáfica nas diferentes áreas de estudo na época chuvosa.	49
Figura 15. Análise de Redundância (RDA) da macrofauna do solo em função de variáveis químicas e umidade. Sendo COT: carbono orgânico total, COp: carbono orgânico particulado, COam: carbono orgânico associado aos minerais, MOL: matéria orgânica leve em água, F1, F2, F3 e F4: frações oxidáveis da matéria orgânica, Ar: Araneae, Au:	

Auchenorrhyncha, Bl: Blattodea, Ch: Chilopoda, Co: Coleoptera, De: Dermaptera, Di: Diplopoda, For: Formicidae, He: Heteroptera, Is: Isopoda, Ip: Isoptera, Lc: Larvas de Coleoptera, Ol: Oligochaeta, Sy: Symphyla, Tt: Total e Rm: Riqueza média. 51

Figura 16. Análise de Redundância (RDA) das diferentes formas e frações de carbono do solo em função das áreas avaliadas (A) e RDA da macrofauna do solo em função de áreas avaliadas (B). Sendo COT: carbono orgânico total, COP: carbono orgânico particulado, COam: carbono orgânico associado aos minerais, MOL: matéria orgânica leve em água, F1, F2, F3 e F4: frações oxidáveis da matéria orgânica, Ar: Araneae, Au: Auchenorrhyncha, Bl: Blattodea, Ch: Chilopoda, Co: Coleoptera, De: Dermaptera, Di: Diplopoda, For: Formicidae, He: Heteroptera, Is: Isopoda, Ip: Isoptera, Lc: Larvas de Coleoptera, Ol: Oligochaeta, Sy: Symphyla, Tt: Total e Rm: Riqueza média. 53

Figura 17. Densidade de Oligochaeta em profundidade nas diferentes épocas de avaliação.. 55

Figura 18. Exemplo da separação dos diferentes tipos de agregados da fração 9,7-8,0 mm. (1) agregado fisiogênico, (2) agregado intermediário e (3) agregado biológico. 65

Figura 19. Agregados intermediários com pequenos coprólitos soldados. Em detalhe no aumento (a) fezes possivelmente de Enchytraeidae..... 66

Figura 20. Agregado biológico com esporos de fungos micorrízicos da área milho/algodão na época seca de avaliação. 74

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	1
REVISÃO DE LITERATURA	2
1.1. O Bioma Cerrado	2
1.2. O Sistema Integração Lavoura-Pecuária	3
1.3. Atributos Químicos.....	4
1.3.1. Fertilidade do solo	4
1.3.2. Matéria orgânica	5
1.3.3. Fracionamento físico da matéria orgânica do solo (MOS).....	6
1.3.4. Frações oxidáveis.....	6
2. CAPÍTULO I FERTILIDADE E MATÉRIA ORGÂNICA COMO INDICADORES DA QUALIDADE DO SOLO.....	7
2.1. RESUMO	8
2.2. ABSTRACT	9
2.3. INTRODUÇÃO.....	10
2.4. MATERIAL E MÉTODOS.....	11
2.4.1. Caracterização do complexo sortivo.....	14
2.4.2. Análise química do material vegetal.....	14
2.4.3. Análise granulométrica	14
2.4.4. Fracionamento granulométrico da matéria orgânica	15
2.4.5. Matéria orgânica leve em água (MOL)	15
2.4.6. Densidade do solo.....	15
2.4.7. Estoque de carbono total e das frações granulométricas	15
2.4.8. Frações oxidáveis do COT.....	16
2.4.9. Análises estatísticas	16
2.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
2.6. CONCLUSÕES	39
3. CAPÍTULO II MACROFAUNA EDÁFICA COMO INDICADORA DA QUALIDADE DO SOLO	40
3.1. RESUMO	41
3.2. ABSTRACT	42
3.3. INTRODUÇÃO.....	43
3.4. REVISÃO DE LITERATURA	44
3.4.1. Atributos biológicos.....	44
3.4.2. Fauna do solo	44
3.5. MATERIAL E MÉTODOS.....	46
3.5.1. Análise estatística	47
3.6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
3.7. CONCLUSÕES	57
4. CAPÍTULO III ORIGEM DOS AGREGADOS DE SOLO SOB INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA NO CERRADO.....	58
4.1. RESUMO	59

4.2. ABSTRACT	60
4.3. INTRODUÇÃO.....	61
4.4. REVISÃO DE LITERATURA	62
4.4.1. Atributos físicos.....	62
4.4.2. Agregação do solo	62
4.5. MATERIAL E MÉTODOS.....	64
4.5.1. Avaliação da gênese dos agregados.....	64
4.5.2. Estabilidade dos agregados.....	66
4.5.3. Caracterização do complexo sortivo.....	67
4.5.4. Análise estatística	67
4.6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	68
5. CONCLUSÕES	77
6. CONCLUSÕES GERAIS	78
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79

INTRODUÇÃO GERAL

A crescente demanda por alimentos e a expansão em busca de novas áreas produtivas, juntamente com a preocupação com os reflexos das práticas agrícolas no meio ambiente, estimularam o desenvolvimento de sistemas de produção com enfoque conservacionista. A preocupação com a conservação do solo e a redução da erosão foi o principal motivo da adoção do plantio direto no sul e centro-oeste do Brasil.

No Cerrado, a maior fronteira agrícola do país, em função das condições climáticas e edáficas, torna-se necessário a manutenção e/ou aumento do conteúdo de matéria orgânica no solo, que, além de favorecer uma maior umidade, preserva os atributos físicos e químicos do solo. Dessa forma, tem havido uma adoção crescente de sistemas de produção que contribuam para a elevação dos teores de matéria orgânica e conseqüentemente permitam a conservação do solo. Diferindo da região sul, os aspectos climáticos do centro-oeste não permitiam que a palhada se mantivesse como cobertura de solo ao longo do ano. Soma-se a isso o fato do Cerrado possuir grande parte das áreas de pastagem em diferentes graus de degradação. Frente ao exposto, em meados da década de 1980, surgiu na região Centro-Sul do Estado de Mato Grosso do Sul o sistema de Integração Lavoura - Pecuária (ILP) associado ao plantio direto. Esse sistema é uma alternativa para o produtor diversificar as áreas produtivas obtendo todas as vantagens do sistema de rotação de culturas, principalmente, a conservação dos aspectos físicos e químicos do solo.

O sistema de manejo ILP mostrou grande potencial para a melhoria da qualidade das pastagens, já que a rotação de culturas, principalmente as de grãos, deposita uma grande quantidade de palhada no solo, protegendo e disponibilizando nutrientes ao agroecossistema.

O sistema ILP tem sido alvo de diversos estudos voltados principalmente para a avaliação da eficiência de produção, tanto bovina, quanto de grãos. Poucos estudos têm focado às dinâmicas de processos naturais do solo em seus diferentes atributos. No entanto, para avaliar a eficiência deste sistema de manejo na conservação e melhoria da qualidade do solo podem ser utilizados indicadores biológicos, químicos e físicos do solo. Para o primeiro, a macrofauna do solo mostra-se como um atributo sensível ao impacto de diferentes tipos de sistema de produção, o que tem permitido a sua aplicação como bioindicadora da qualidade do solo e de alterações ambientais. No caso de indicadores químicos, a matéria orgânica do solo é comumente utilizada pela sua importância na dinâmica de nutrientes e agregação do solo, sendo que o manejo pode propiciar mudanças em seus compartimentos. Por fim, a estabilidade dos agregados é um indicador da qualidade física do solo bastante utilizado, visto que os agregados influenciam diretamente no fluxo de água e nutrientes.

A partir do exposto, justifica-se que sejam realizados estudos em solos do Cerrado, pela sua importância econômica para o Brasil, bem como para melhor compreensão das modificações promovidas pelo ILP neste bioma, visto que esta é uma alternativa que alia o aspecto econômico e ambiental. Desta forma o presente trabalho buscou analisar os reflexos do sistema ILP em alguns indicadores químicos, físicos e biológicos do solo. Foram testadas as hipóteses de que o sistema de ILP promove modificações nos atributos químicos e físicos do solo e que a macrofauna do solo influencia a formação de agregados e altera a dinâmica da matéria orgânica associada aos agregados do solo.

REVISÃO DE LITERATURA

1.1. O Bioma Cerrado

O Cerrado é o segundo maior bioma brasileiro, menor apenas que o bioma Amazônia. Ocupava uma área total original de 2.038.953 km². Esse bioma teve sua cobertura vegetal original e a secundária reduzida de 2.038.953 km² para 1.052.708 km², com área desmatada de 901.173 km² (44,20%) até 2002, e de 986.247 km² (48,37%) até 2008. No período de 2002/2008, a área desmatada foi de 85.074 km² (4,18%) (IBGE, 2010). Originalmente ocupava 23,9% do território nacional e, em 2010, com os desmatamentos, passou a representar 12,4%.

Configura-se em um grande mosaico de paisagens naturais, dominado por diferentes ecossistemas quase sempre ocorrendo em solos com baixa fertilidade natural. Esses ecossistemas se apresentam com diferentes fisionomias como Cerradão, Cerrado *sensu stricto*, Campo Rupestre, Campo Sujo, Campo Limpo, Palmeiral, Parque Cerrado, Vereda, Mata de Galeria, Mata Ciliar e Mata Mesofítica.

Possui características únicas no mundo, biodiversidade rica e variada, sendo considerado “*hotspot*” em biodiversidade, com presença de inúmeras espécies endêmicas. Além da biodiversidade exuberante, o Cerrado também é rico em recursos hídricos, tanto em quantidade como em qualidade. Em suas chapadas, estão as nascentes das principais bacias hidrográficas do País: do Amazonas, do Prata e do São Francisco (IBGE, 2010).

A sua área contínua incide sobre os estados de Goiás, Tocantins, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Bahia, Maranhão, Piauí, Rondônia, Paraná, São Paulo e Distrito Federal, além dos enclaves no Amapá, Roraima e Amazonas (IBGE, 2004) (Figura 1).



Figura 1. Mapa da ocorrência original do Cerrado no Brasil (IPEVS, 2011)

O clima predominante é o tropical sazonal, de inverno seco. A temperatura média anual está em torno de 22-23°C, sendo que as médias mensais apresentam pequena estacionalidade. A precipitação média anual varia entre 1200 e 1800 mm. No período de maio a setembro, os índices pluviométricos mensais reduzem-se bastante e a umidade relativa do ar permanece entre 10 e 30%, podendo ocorrer secas prolongadas (MMA & IBAMA, 2009).

Os solos do Cerrado são intemperizados, originalmente ácidos, com baixa fertilidade natural, e possuem concentrações elevadas de alumínio, a fração argila é constituída essencialmente de minerais de argila 1:1 e óxidos de ferro e alumínio, refletindo em baixa capacidade de troca catiônica (CTC), quando comparada aos minerais 2:1 e à própria MOS. A maior porção da CTC desses solos é proveniente da MOS, por ionização de grupos carboxílicos, enólicos e fenólicos, devido ao aumento do pH do meio (Silva & Resck, 1997).

As transformações de uso da terra no Cerrado fizeram com que este fosse submetido à aceleração de diversos programas de incentivo pelo Governo Federal na década de 1970, com destaque para o Programa de Desenvolvimento dos Cerrados e Programa especial da região geoeconômica de Brasília. Devido a grandes investimentos em adubos, corretivos, facilidade na aquisição de extensas áreas e variedades adaptadas a esse bioma, ocorreu uma ocupação desordenada da terra, com aumento desenfreado do desmatamento, contribuindo assim para diminuição de biodiversidade de espécies nativas. Juntamente com o desmatamento, algumas técnicas inadequadas de manejo do solo propiciaram a rápida degradação desse recurso, ocasionando perdas de matéria orgânica e nutrientes (Resck et al., 2008).

A partir de então, técnicas para manejo e conservação do solo e da água, tornaram-se ferramentas importantes para essa região, pois as bacias mais importantes do país cortam em média a região do Cerrado em cerca de 20% de sua área total (Resck, 2002). Além disso, o Cerrado tem a potencialidade de ser um grande assimilador e acumulador de carbono (Miranda & Miranda, 2000), sendo considerada a última fronteira agrícola do planeta (Borlaug, 2002).

Estudos no Cerrado vêm sendo conduzidos, com o objetivo de desenvolver estratégias para uma utilização sustentável dos solos, no sentido de reduzir o impacto das atividades agrícolas sobre esse ambiente, onde as altas temperaturas e o manejo inadequado de solo podem levar a um declínio acelerado dos estoques de carbono e nitrogênio de origem orgânica. Assim, observa-se a importância de se conter a expansão de novas áreas ao sistema produtivo e a necessidade de se manter e incrementar o potencial produtivo daquelas que estão sendo utilizadas, o que limitaria a degradação da fertilidade do solo, e da sua estrutura, o que vem ocorrendo mais frequentemente (Marchão, 2007).

1.2. O Sistema Integração Lavoura-Pecuária

A exploração isolada de lavoura ou da pecuária no Cerrado tem mostrado sinais de instabilidade, com reflexos negativos no âmbito social e ambiental. Assim, tanto a competitividade como a sustentabilidade do setor estarão cada vez mais dependentes de redução dos custos de produção e utilização intensiva das áreas todo o ano (Balbino, 2001).

Devido a essa instabilidade e dificuldades na escolha de espécies consideradas grandes produtoras de fitomassa para formar palha em sistemas de plantio direto e que, ao mesmo tempo, proporcionem retorno econômico para o agricultor, uma alternativa tem despertado interesse e que possibilita a obtenção de sistemas de produção mais sustentáveis é a integração lavoura-pecuária (ILP) (Fonseca et al., 2007). Com o domínio das técnicas que compõem o sistema de plantio direto na região tropical, com possibilidades de produção de grande quantidade de resíduos vegetais por meio de plantas de cobertura, também com alto potencial de formação de biomassa no perfil e na superfície do solo, permite construir sistemas de produção sustentáveis, com benefícios ambientais, econômicos, sociais e

agronômicos (Kluthcouski & Stone, 2003). Tais sistemas de produção contribuem para a manutenção de umidade, temperatura e matéria orgânica, o que beneficia a flora e fauna do solo, induz maior ocorrência de organismos benéficos tais como: minhocas, insetos, ácaros, bactérias e micorrizas (Campanhola, 2002) e melhora nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo (Vilela et al., 2003).

O sistema ILP, juntamente com o sistema de plantio direto (SPD), é importante para as regiões tropicais, ao mesmo tempo em que também representam as bases mais profícuas da sustentabilidade no setor agropecuário. Na atividade pecuária, os objetivos vão desde a recuperação de pastagens degradadas até a manutenção de altas produtividades das pastagens e, principalmente, a produção de forrageira na entressafra (Kluthcouski, 2004). Na exploração agrícola, busca-se: a quebra do ciclo das pragas, doenças e plantas daninhas, a redução via supressão física ou alelopática de doenças das plantas cultivadas com origem no solo, melhoria na conservação de água, redução na flutuação da temperatura no solo e a possibilidade de agregar valores ao sistema (Kluthcouski, 2004).

O ILP é uma alternativa eficiente, porém mais complexa, de manter a produtividade agrícola e indiretamente promover a recuperação e renovação de pastagens. A introdução da lavoura não é eventual, mas parte constante de um sistema misto de produção de grãos e de produção animal, que interage e se completa biológica e economicamente (Macedo, 2001).

A inclusão de pastagens na rotação de culturas pode aumentar rapidamente a estabilidade de agregados, a macroporosidade e a condutividade hidráulica, devido à combinação de ausência de preparo durante o ciclo da pastagem, presença de um denso sistema radicular que atua como agente agregante e maior atividade da macrofauna do solo na fase pastagem. Este processo é rapidamente revertido quando o solo volta a ser preparado (Marchão, 2007). Apesar de todos estes aspectos favoráveis destes sistemas, existe a possibilidade de ocorrência de compactação superficial do solo, em situação de manejo inadequado da pastagem (Balbinot Junior et al, 2009).

A sustentabilidade agropecuária no Brasil tem como premissas básicas a recuperação das áreas degradadas por lavoura ou pecuária, a preservação ambiental e o aumento da competitividade. As premissas básicas da sustentabilidade agropecuária no Cerrado, tendo como enfoque o produtor rural, é baseada na redução nos custos de produção, a agregação de valores e uso intensivo da área, principalmente sob agricultura, por todo o ano, devendo ser mantidas as altas produtividades. Sem dúvida, uma das melhores alternativas para se angariar todas essas premissas, além do emprego do SPD, é a ILP (Kluthcouski & Yokoyama, 2003).

1.3. Atributos Químicos

1.3.1. Fertilidade do solo

Os solos de Cerrado, em sua maioria, apresentam propriedades que limitam o crescimento das raízes das plantas e exigem práticas de manejo adequadas. São solos de baixa capacidade de troca de cátions (CTC), possuem alto grau de intemperização e lixiviação, acidez elevada e com baixos teores de nutrientes, especialmente de P (Sousa & Lobato, 2004).

Os Latossolos são os solos mais comuns no Cerrado, cobrindo 46% da área. Predominam os Latossolos Vermelhos e Vermelho-Amarelos, solos que podem se tornar produtivos quando as práticas de manejo incluem a correção da acidez, o aumento da fertilidade e o controle da erosão. Assim, sistemas de manejo que promovem a manutenção e o aumento de matéria orgânica, o manejo dos componentes biológicos, o aumento da capacidade de retenção de umidade, o cultivo mínimo e o plantio direto, são promissores para implantação de agricultura sustentável, nos Latossolos do Cerrado (Oliveira et al., 2005).

1.3.2. Matéria orgânica

A matéria orgânica do solo (MOS) engloba resíduos vegetais em estágios variados de decomposição, sendo a fração mais estável denominada de húmus. A MOS atua condicionando características químicas, como a complexação de elementos tóxicos e disponibilidade de nutrientes para as culturas; características físicas como a agregação e características biológicas, sendo fonte de carbono para os microrganismos e nutrientes para as plantas (Bayer & Mielniczuk, 2008; Silva & Mendonça, 2007).

O solo troca matéria orgânica e energia com o meio, dessa forma o aporte de matéria orgânica ocorre a partir da adição de carbono via fotossíntese. A quantidade de carbono adicionada depende de alguns fatores como espécie e sistema de culturas utilizadas. Já as perdas ocorrem pela liberação de CO₂ na respiração, decomposição microbiana de resíduos e da matéria orgânica que é acelerada pela perturbação física com implementos no preparo do solo, com a ruptura dos macroagregados (Resk et al, 2008) e também por lixiviação dos compostos orgânicos. Assim, a maior ou menor intensidade desse processo depende do manejo do solo (Mielniczuk, 2008).

No preparo do solo, o principal impacto é a ruptura de macroagregados, assim os sistemas de manejo que utilizam o preparo do solo para produção vegetal, provocam elevadas perdas de matéria orgânica. Perdas ocorrem em função da dos agregados estáveis e exposição da MOS, o que favorece a redução da estabilidade do solo (Sá et al., 2008). A adição de material orgânico fresco ao solo resulta em condições mais favoráveis à decomposição, assim ocorre um aumento da atividade microbiana devido a um aumento da aeração do solo e disponibilidade de carbono facilmente oxidável, resultando em maior número de compostos orgânicos, aumentando o fluxo de mineralização de carbono (Elliot, 1986).

A matéria orgânica do solo é sensível às modificações decorrentes do manejo agrícola, sendo considerada indicadora de qualidade do solo. Esse conceito é definido como a capacidade que um solo tem de exercer suas funções na natureza (Doran & Parkin, 1994), ou seja, servir como meio de crescimento para as plantas, de regular e compartimentalizar os fluxos de água no ambiente, de estocar e promover a ciclagem de elementos e de funcionar como um tampão de compostos prejudiciais ao meio ambiente (Larson & Pierce, 1994), como fonte de energia e de substrato, na construção e na manutenção de sua estrutura (Silva e Resck, 1997). Assim, um solo com qualidade é aquele que retém nutrientes favorecendo o desenvolvimento vegetal, propicia condições de vida para micro e macrofauna e, portanto está no caminho da sustentabilidade.

Para o estudo da qualidade do solo é preciso analisar as interações solo-planta-biota edáfica, as quais ocasionam a emergência de propriedades de natureza física, química e biológica, que agem de forma integrada no solo, não havendo na prática essa separação (Vezzani et al., 2008). A sustentabilidade de um sistema agrícola, dificilmente é avaliada por um único atributo, porém a matéria orgânica é aquela que melhor representa a qualidade do solo, embora seja alterado por práticas agrícolas (Sá et al., 2001). O declínio da matéria orgânica indica um erro no sistema de manejo adotado e sua persistência conduz a uma situação insustentável do ponto de vista econômico e ambiental (Mielniczuk, 2008).

A manutenção ou recuperação dos teores de matéria orgânica e qualidade do solo podem ser alcançadas pela utilização de pastagens ou em sistemas agrícolas pela utilização de métodos conservacionistas, preservando a integridade do solo e adicionando matéria orgânica, resultando assim em menores perdas e maior adição de matéria orgânica ao sistema solo (Bayer & Mielniczuk, 2008). Tal fato deve-se a ausência de preparo do solo que favorecerá a decomposição lenta e gradual da matéria orgânica e a tendência de estabelecer o fluxo contínuo de carbono proporcionando a redistribuição de compostos orgânicos com diferentes estádios de humificação nos compartimentos da matéria orgânica (Sá et al., 2008).

1.3.3. Fracionamento físico da matéria orgânica do solo (MOS)

As partículas primárias do solo, em um primeiro nível de organização, formam complexos organo-minerais muito estáveis (COM-primários) com tamanho inferior a 20 μm , resultam da interação direta entre partículas minerais primárias e compostos orgânicos. A matéria orgânica não complexada (MONC), sendo aquela livre ou fracamente associada às partículas de solo, juntamente com os COM-primários constituem as unidades básicas de organização das partículas minerais e orgânicas do solo. Em um segundo nível hierárquico, esses estariam unidos por materiais orgânicos humificados ou estariam se aglutinando em torno de resíduos vegetais em elevado estágio de decomposição, formando então microagregados com tamanho entre 20 e 250 μm . E o último nível hierárquico de agregação são os macroagregados maiores que 250 μm , formados pela união de microagregados. Os agregados de diferentes classes de tamanho são denominados complexos organo-minerais secundários (COM secundários) (Christensen, 2001). Segundo o mesmo autor, dependendo do grau de associação com a matriz do solo, a MOS pode estar não-complexada (MONC) ou estar formando complexos organo-minerais (COM). Neste processo, pode ocorrer o aprisionamento de parte da MONC no interior dos COM secundários, dando origem a uma divisão da MONC em: livre, na superfície ou entre agregados (MONC livre) e oclusa, dentro dos agregados em locais pouco acessíveis a microbiota (MONC oclusa).

O fracionamento do solo em COM-primários baseia-se na hipótese de que, devido à diferença na composição mineralógica, as partículas em cada classe textural do solo associam-se de forma distinta com a MOS (Christensen, 2001).

O fracionamento granulométrico da MOS, separa a MO de tamanho de areia denominada matéria orgânica particulada e aquela de tamanho de argila, denominada matéria orgânica associada aos minerais. Devido às areias possuírem baixa superfície específica, esta fração apresenta pouco ou nenhum material orgânico fortemente ligado, sendo pobre em complexos organo-minerais, sendo o carbono rapidamente mineralizado (Christensen, 2001), ao mesmo tempo a maior parte da MONC encontra-se na classe de tamanho das areias (Baldock et al., 1992). É composta principalmente por resíduos vegetais em vários estágios de alteração. Seu conteúdo está principalmente ligado ao aporte orgânico, pelo aumento e manutenção dos resíduos orgânicos (Silva & Mendonça, 2007), tendo sua permanência no solo condicionada à proteção física dos agregados. O carbono orgânico associado aos minerais (COam) é a fração associada ao silte e argila (Golchin et al., 1994).

1.3.4. Frações oxidáveis

Estudos mostram que perdas acentuadas de C são acompanhadas de consumo de frações mais lábeis (Silva et al., 1994), comprometendo as funções dos solos. O estudo de frações oxidáveis permite avaliar o impacto da interferência do manejo nos compartimentos da matéria orgânica, determinando assim a qualidade do solo (Rangel et al., 2008).

Para determinação de carbono orgânico total proposto por Walkley & Black (1934) é utilizado 9 mol. L^{-1} de ácido sulfúrico para oxidar todo o carbono. No modelo proposto por Chan et al. (2001) foi possível obter diferentes graus de oxidação da matéria orgânica por meio de concentrações crescentes de ácido sulfúrico, sendo estas frações denominadas de F1, F2, F3 e F4, correspondendo, respectivamente, às concentrações de 3, 6, 9 e 12 mol L^{-1} de ácido sulfúrico. Segundo Chan et al. (2001), as frações F1 e F2 estão associadas à estabilidade de macroagregados e as frações F3 e F4 são as mais resistentes do solo.

2. CAPÍTULO I

FERTILIDADE E MATÉRIA ORGÂNICA COMO INDICADORES DA QUALIDADE DO SOLO

2.1. RESUMO

A crescente demanda de produção de alimentos sem que para isto sejam abertas novas áreas produtivas, requer que as áreas plantadas tornem-se mais produtivas. Em função disto, diferentes tipos de sistemas conservacionistas estão sendo implantados, com o objetivo de preservar o solo, diminuindo assim os gastos com insumos em paralelo a melhoria de sua qualidade física, química e biológica. O trabalho foi desenvolvido na Fazenda Cabeceira, Maracajú - MS em áreas de integração lavoura-pecuária (ILP). As áreas avaliadas foram: Cerradão, pasto/milho, milho/algodão e algodão/soja, sendo realizadas avaliações nas épocas seca (maio/2009) e chuvosa (março/2010), com o objetivo de avaliar os reflexos do sistema ILP nas propriedades químicas do solo. Foi realizada a caracterização do complexo sortivo, análise granulométrica, fracionamento granulométrico da matéria orgânica e frações oxidáveis do carbono orgânico total. Os dados atenderam às pressuposições da análise paramétrica e as comparações foram feitas com o emprego de teste t de Bonferroni a 5% de probabilidade. Devido à dinâmica do carbono e dos nutrientes não ser influenciada antropicamente na área de Cerradão, esta foi utilizada apenas como parâmetro de solo em condição natural. A dinâmica do complexo sortivo se mostrou sensível à sazonalidade, visto que esta influencia diretamente no fluxo de água, e, portanto, na concentração e disponibilidade de nutrientes. A dinâmica da matéria orgânica do solo (MOS) foi influenciada pela sazonalidade. A compartimentalização da MOS pode ser utilizada para avaliação da qualidade do manejo, sendo os compartimentos mais sensíveis o COp (carbono orgânico particulado) e as frações oxidáveis F1 e F2 na avaliação de frações oxidáveis. Verificou-se, que a fração COp, foi mais sensível em comparação com o carbono orgânico total (COT) para identificar as mudanças provenientes dos diferentes sistemas de uso do solo. Deste modo, observa-se que o COp pode funcionar como indicador da qualidade da MOS em relação às alterações de manejo e cobertura vegetal. A presença de uma leguminosa no sistema de rotação de culturas como a soja, amplia o potencial de incorporação de carbono ao solo.

Palavras-chave: Atributos edáficos. Plantio direto. Sistemas conservacionistas.

2.2. ABSTRACT

If food growing demand is to be met without expansion to new productive areas, then cultivated areas must become more productive. To this end, different types of conservation systems are being introduced, that aim to preserve the soil and reduce the costs of inputs while improving the physical, chemical and biological soil quality at the same time. This study was conducted in the integrated crop-livestock (ICL) areas of Cabeceira Farm, Maracajú, State of Mato Grosso do Sul, Brazil. The areas evaluated were: Cerradão woodland, pasture/corn, corn/cotton and cotton/soybean. Evaluations were carried out in the dry season (May 2009) and the rainy season (March 2010) to assess the impact of ICL system on chemical soil properties. The sorption complex characterization, granulometry analysis, granulometry fractionation of organic matter, and the oxidizable fractions of total organic matter were performed. The data met parametric analysis conditions and comparisons were made using the Bonferroni t-test at 5% probability. As there was no anthropic influence on carbon and nutrient dynamic in the Cerradão woodland area, it was used as a reference for soil in its natural condition. The sorption complex dynamic was found to be affected by seasonal variations, in that it directly influences water flow and, consequently, nutrient concentration and availability. The soil organic matter (SOM) dynamic was also seasonally influenced. The type of SOM compartmentalization can be used to evaluate quality of land management. The most important compartments were POC (particulate organic carbon) and oxidizable fractions F1 and F2. It was found that POC fraction was more sensitive for identifying SOM changes due to different soil use systems than the TOC. Hence, it was found that the POC can be used as an indicator to relate SOM quality to changes in management and cover crops. The use of a legume, such as soybean, in the cultivation rotation system increases the potential for carbon to be incorporated in the soil

Key words: Edaphic attributes. No-tillage system. Conservation systems.

2.3. INTRODUÇÃO

A crescente demanda de produção de alimentos sem que para isto sejam abertas novas áreas produtivas, requer que as áreas plantadas tornem-se mais produtivas. Em função disto, diferentes tipos de sistemas conservacionistas estão sendo implantados, com o objetivo de preservar o solo, diminuindo assim os gastos com insumos em paralelo a melhoria de sua qualidade física, química e biológica.

Uma das características dos solos do Bioma Cerrado é o elevado grau de intemperização, o que lhes confere uma baixa capacidade de troca de cátions (CTC), sendo assim dependentes da CTC proveniente da matéria orgânica do solo (MOS).

O aumento da quantidade e qualidade da MOS está associada ao sistema de manejo adotado. O sistema integração lavoura-pecuária (ILP) associado ao sistema de plantio direto (SPD) e à rotação de culturas, principalmente culturas de grãos, proporciona melhorias na qualidade da pastagem (Macedo, 2001). A grande quantidade de palhada que deixam sobre o solo, protege e disponibiliza nutrientes para o mesmo.

A matéria orgânica adicionada nestes solos, é de suma importância para os processos físicos, químicos e biológicos (Campanhola, 2002). Sua relevância biológica é facilmente perceptível ao servir como fonte de energia e nutrientes para invertebrados e microrganismos, que durante o processo de decomposição e humificação a transformam em um sítio de cargas, melhorando assim a fertilidade do solo e reduzindo os custos de produção. As propriedades físicas e químicas da matéria orgânica a tornam um eficiente agente cimentante na formação de agregados do solo, que por sua vez, contribui para outros processos, como por exemplo, a dinâmica hídrica do solo (Bayer & Mielniczuk, 2008).

Este capítulo tem por objetivo avaliar os reflexos do sistema ILP nas propriedades químicas do solo e no conteúdo de matéria orgânica, em função dos manejos utilizados e da variação sazonal.

2.4. MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo localiza-se na Fazenda Cabeceira, Maracajú - MS, em latitude 21°36'52" sul e longitude 55°10'06" oeste, estando a uma altitude de 384 metros, situando-se a 160 km da capital do estado. O clima de região é tropical com temperaturas mínimas de 15°C e máximas de 33 °C, com precipitação média anual de 1300 a 1500 mm.

O proprietário da Fazenda Cabeceira foi um dos pioneiros na implantação de ILP no Cerrado, em 1989 introduziu a rotação de soja com pastagem e em 2003 foi implantado o sistema que funciona atualmente, pastagem, soja e algodão como culturas de verão e pastagem, milho+braquiária e aveia+pastagem como culturas de inverno. Assim as áreas possuem o seguinte histórico: soja/milho+braquiária/algodão/aveia+pastagem/soja/formação da pastagem/pastagem. A braquiária em consórcio com o milho tem a função de aumentar a cobertura do solo com adição de sua palhada após a colheita do milho.

A primeira coleta foi realizada na época seca (maio de 2009) e as culturas antes implantadas foram pasto cujo talhão avaliado possuía 43,04 ha, milho+braquiária que estavam no estágio vegetativo em talhão de 51 ha e o algodão que tinha acabado de ser colhido em talhão de 57,29 ha, ambos no sistema integração lavoura-pecuária, além de uma área de Cerradão, como referência da vegetação nativa.

A segunda coleta foi realizada na época chuvosa (março de 2010) e as culturas implantadas eram milho e algodão ambos em estágio vegetativo e soja que havia sido recentemente colhida.

As áreas estabelecidas nas duas épocas de avaliação foram: Cerradão, pasto/milho, milho/algodão e algodão/soja (Figuras 2, 3 e 4). A área de pasto/milho corresponde à avaliação de pasto na época seca e conforme a rotação foi avaliado milho na época chuvosa, milho/algodão corresponde à avaliação de milho na época seca e conforme a rotação foi avaliado algodão na época chuvosa todas em Latossolo Vermelho e algodão/soja corresponde à avaliação de algodão na época seca e conforme a rotação foi avaliado soja na época chuvosa em área de Latossolo Vermelho Amarelo.

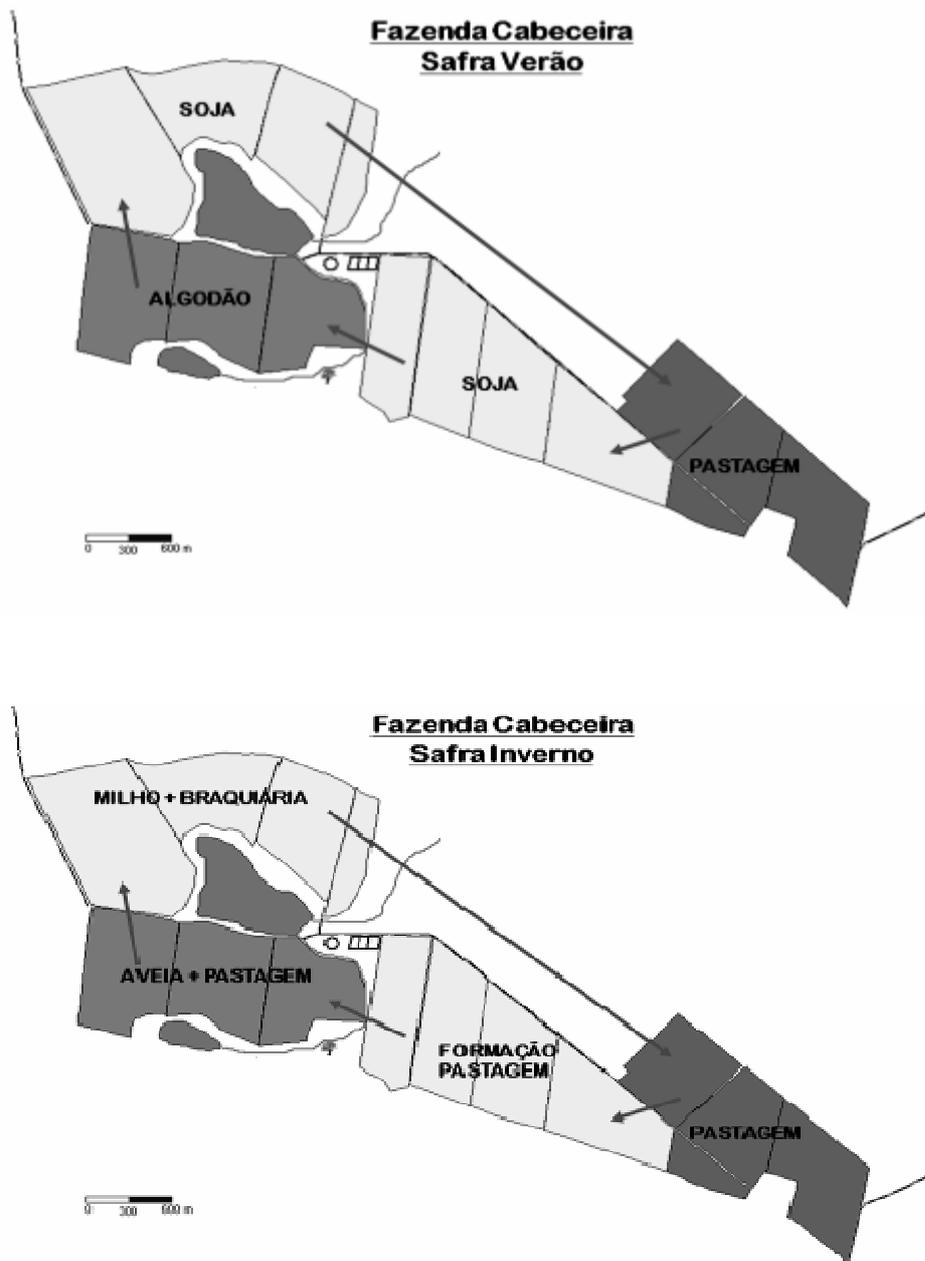
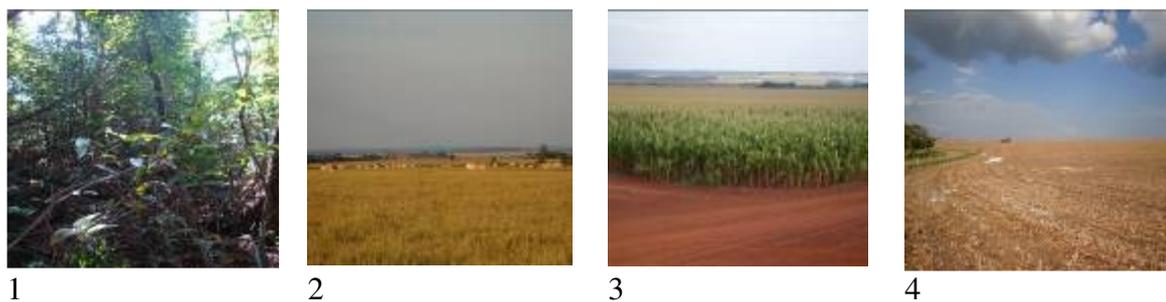


Figura 2. Esquema da integração lavoura-pecuária, Fazenda Cabeceira, Maracajú – MS. As setas indicam o sentido da rotação.

Época seca



Época chuvosa



Figura 3. Áreas de integração lavoura-pecuária na Fazenda Cabeceira (Maracajú – MS).1: Cerradão; 2: Pasto e Milho; 3: Milho e Algodão; 4: Algodão e Soja.

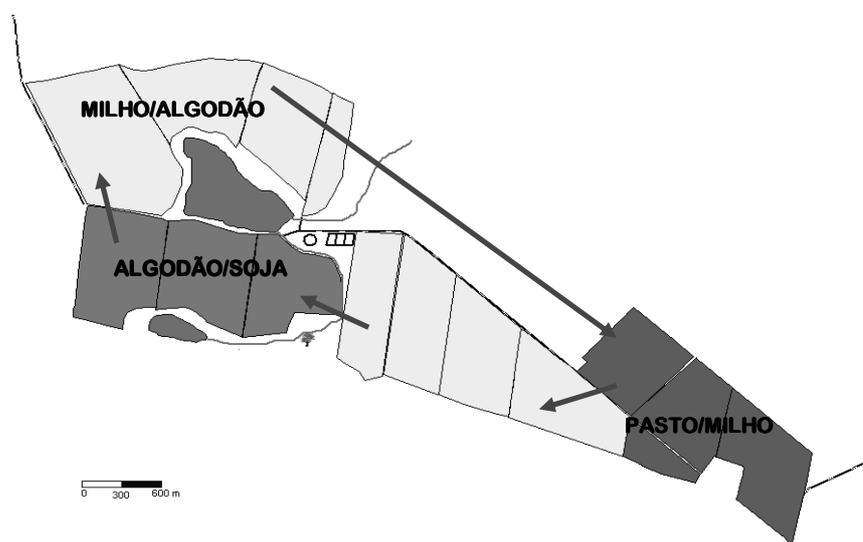


Figura 4. Áreas e culturas avaliadas, primeira avaliação realizada na época seca e segunda na época chuvosa.

Em cada uma das áreas, em pontos representativos, foram abertas seis mini-trincheiras e nestas, coletadas amostras aleatoriamente espaçadas no mínimo 50 m entre si nos talhões, nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-30 cm. As amostras para análise química do solo foram as mesmas retiradas para análise da macrofauna edáfica. Na mesma trincheira também foram retiradas amostras para análise dos agregados.

2.4.1. Caracterização do complexo sortivo

Foram analisados os atributos pH em água, $\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}$, K^+ , Na^+ , $\text{H}^+ + \text{Al}^{+3}$ e P. As análises foram realizadas segundo métodos da Embrapa (1997) e o carbono orgânico total (COT) pelo método de Yeomans & Bremner (1988).

2.4.2. Análise química do material vegetal

O material vegetal foi separado em diferentes frações e nelas foi realizada digestão sulfúrica segundo Tedesco et al. (1995) sendo quantificados os teores de N, P, K, Ca e Mg.

2.4.3. Análise granulométrica

As amostras foram dispersas com NaOH 1 mol L⁻¹ e agitadas, em baixa rotação, por 16 horas, conforme modificação proposta por Rezende (1979). O teor de argila total foi determinado na suspensão, pelo método da pipeta (Day, 1965). As frações de areia grossa e areia fina foram separadas por tamisação, em peneiras de malha 0,2 e 0,053 mm, respectivamente. O silte foi obtido por diferença. A análise granulométrica das áreas é apresentada nas Tabelas 1, 2 e 3.

Tabela 1. Teores de areia, silte e argila das amostras de terra na profundidade 0-10 cm.

Área	Areia	Silte	Argila
	----- g kg ⁻¹ -----		
Cerradão	173	275	552
pasto/milho	209	230	560
milho/algodão	465	131	404
algodão/soja	560	133	307

Tabela 2. Teores de areia, silte e argila das amostras de terra na profundidade 10-20 cm.

Área	Areia	Silte	Argila
	----- g kg ⁻¹ -----		
Cerradão	157	271	572
pasto/milho	189	258	553
milho/algodão	459	131	410
algodão/soja	540	120	340

Tabela 3. Teores de areia, silte e argila das amostras de terra na profundidade 20-30 cm.

Área	Areia	Silte	Argila
	----- g kg ⁻¹ -----		
Cerradão	170	257	571
pasto/milho	189	245	566
milho/algodão	442	130	428
algodão/soja	571	85	344

2.4.4. Fracionamento granulométrico da matéria orgânica

O método para o fracionamento físico da MOS foi o granulométrico (Cambardella & Elliot, 1992). Cerca de 20 g de solo e 60 mL de solução de hexametáfosfato de sódio (5g L^{-1}) foram agitados durante 15 horas em agitador horizontal. Em seguida, a suspensão foi passada em peneira de $53\ \mu\text{m}$ com auxílio de jato de água. O material que ficou retido na peneira, é o carbono orgânico particulado (COp) associado à fração areia, que foi seco em estufa à 50°C , quantificado em relação a sua massa, moído em gral de porcelana e analisado em relação ao teor de carbono orgânico total (COT) segundo Yeomans & Bremner (1988). O material que passou pela peneira de $53\ \mu\text{m}$, consistiu no carbono orgânico associado aos minerais (COam) das frações silte e argila, e foi obtido por diferença entre o COT e COp.

2.4.5. Matéria orgânica leve em água (MOL)

Foram pesados 50 g de terra fina seca ao ar (TFSA) em becker de 250 mL, adicionando-se 100 mL de solução de NaOH $0,1\ \text{mol L}^{-1}$, deixando-se em repouso por uma noite. Decorrido o tempo, a suspensão foi agitada com bastão de vidro e todo o material passado por peneira de 0,25 mm, eliminando-se toda a fração argila. Posteriormente, o material retido na peneira (MOL e areia) foi transferido, quantitativamente, para o becker, completando-se o volume com água. Todo o material flotado foi passado por peneira de 0,25 mm, tomando-se cuidado para separar a MOL da fração areia. Em seguida, foi adicionada novamente água ao becker, agitando-se manualmente para ressuspender a MOL restante e vertido o material devagar em peneira de 0,25 mm. Essa operação foi repetida até a remoção de todo o material que flutuou com a agitação em água. O material retido na peneira (MOL) foi transferido para recipientes de alumínio (previamente pesados), levado a estufa a 65°C até atingir peso constante (72 horas), sendo pesado todo o conjunto (Anderson e Ingram, 1989).

2.4.6. Densidade do solo

Foi determinada pelo método do anel de Kopecky, segundo Embrapa (1997). A amostra foi coletada na época seca e após a coleta foi seca em estufa a $105\text{-}110^\circ\text{C}$, até atingir massa constante, a densidade foi calculada pela expressão: $D_s = M_s/V_t$;

Onde M_s = Massa do solo seco a $105\text{-}110^\circ\text{C}$, V_t = Volume do anel de Kopecky. Os resultados foram expressos em Mg m^{-3}

2.4.7. Estoque de carbono total e das frações granulométricas

O estoque de carbono total e das frações granulométricas foi calculado pelo método de massa equivalente (Ellert e Bettany, 1995; Sisti et al.2004), conforme equação abaixo.

$$C_s = \sum_{i=1}^{n-1} C_{Ti} + \left[M_{Tn} - \left(\sum_{i=1}^n M_{Ti} - \sum_{i=1}^n M_{Si} \right) \right] C_{Tn}$$

onde: C_s é o estoque total em Mg C ha^{-1} ,

$\sum_{i=1}^{n-1} C_{Ti}$ é a soma do carbono da primeira (superfície) a última camada no perfil do solo no tratamento avaliado (Mg ha^{-1}),

$\sum_{i=1}^n M_{Ti}$ é a soma da massa do solo da primeira a última camada no perfil do solo no tratamento avaliado (Mg ha^{-1}),

$\sum_{i=1}^n M_{si}$ é a soma da massa do solo da primeira a última camada no perfil do solo no tratamento referência (Mg ha^{-1}),

M_{Tn} é a massa do solo na última camada do perfil do solo no tratamento avaliado (Mg ha^{-1}),

C_{Tn} é a concentração de carbono na última camada do perfil do tratamento avaliado (Mg C Mg^{-1} de solo).

2.4.8. Frações oxidáveis do COT

O fracionamento do carbono foi feito por graus de oxidação (Chan et al., 2001). Amostras de 0,1 g de solo na profundidade de 0-10 cm e 0,2 g nas profundidades de 10-20 cm e 20-30 cm foram acondicionadas em erlenmeyer de 250 mL, adicionando-se 10 mL $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ $0,167 \text{ mol L}^{-1}$ e quantidades de H_2SO_4 , correspondentes às concentrações de 3, 6, 9 e 12 mol L^{-1} . A oxidação foi realizada sem fonte externa de calor e a titulação dos extratos foi feita com uma solução de $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ $0,5 \text{ mol L}^{-1}$. O indicador utilizado foi a fenantrolina. Foram obtidas quatro frações de carbono, com graus decrescentes de oxidação:

-Fração 1 (F1): C oxidado por $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ em meio ácido de 3 mol L^{-1} de H_2SO_4 ;

-Fração 2 (F2): diferença do C oxidado por $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ em meio ácido com 6 e 3 mol L^{-1} de H_2SO_4 ;

-Fração 3 (F3): diferença do C oxidado por $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ em meio ácido com 9 e 6 mol L^{-1} de H_2SO_4 ;

-Fração 4 (F4): diferença do C oxidado por $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ em meio ácido com 12 e 9 mol L^{-1} de H_2SO_4 .

2.4.9. Análises estatísticas

A área de Cerradão não foi comparada em relação às áreas produtivas, visto que é um sistema natural e foi utilizado somente como referência. Para os dados de cada profundidade, foi feita avaliação da normalidade dos dados (Lilliefors) e homogeneidade das variâncias dos erros (Cochran & Bartlett). Os valores médios foram comparados entre si pelo teste de t Bonferroni a 5% de probabilidade.

Para verificar se ocorria um gradiente de qualidade do solo, baseado simultaneamente no conjunto de todos os atributos químicos foi aplicada análise multivariada, denominada de Análise de Redundância (Redundancy Analysis ou RDA) com o programa CANOCO 4.5. A análise de redundância é um dos métodos de análise de gradiente direto, também conhecidos como métodos de ordenação canônica. Nessa análise buscam-se combinações lineares das variáveis de um grupo, que maximizem a variação de um outro conjunto de dados (Oliveira et al., 2000). A análise de redundância é na verdade a forma canônica da análise de componentes principais (PCA), usada para análises exploratórias em ecologia (Leps & Smilauer, 1999).

Na análise de redundância foi aplicado o procedimento de partição da variabilidade, que segundo Leps & Smilauer (1999) permite quantificar os efeitos e suas sobreposições de dois ou mais grupos de variáveis ambientais (ou independentes) sobre um conjunto de variáveis dependentes. Nesse estudo consideram-se como variáveis independentes, os seguintes conjuntos: áreas avaliadas, épocas de avaliação e profundidades de amostragem.

2.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As áreas de produção apresentaram algumas diferenças em relação aos atributos químicos, bem como a época de amostragem que tiveram influência sobre o teor de nutrientes, principalmente na camada mais superficial. Nas Tabelas 4, 5 e 6 são apresentados os valores médios de seis repetições dos atributos químicos de solo pH, Ca, Mg, K, Na, H+Al, P e valor S, T e V% nas áreas estudadas nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-30 cm de profundidade.

Na época seca a área de pasto/milho apresentou pH mais ácido quando comparado as outras áreas de cultivo. Este padrão não foi verificado por Lourente et al. (2007) e Oliveira et al. (2001), também realizando estudos em áreas de mata nativa e cultivo no Cerrado. Os autores observaram que áreas de mata nativa apresentaram pH mais baixo quando comparadas com áreas produtivas, o que pode ser atribuído aos solos do Cerrado ser bastante intemperizados, e com altos valores de Al, que favorecem a diminuição do pH.

Os maiores valores de pH na época chuvosa foram verificados na área de pasto/milho na camada de 0-10 cm e algodão/soja nas profundidades de 10-20 e 20-30 cm. Em geral os valores de pH foram menores na época chuvosa quando comparados com a época seca. Este padrão pode estar relacionado com a perda de bases por lixiviação em função da elevada precipitação pluviométrica, que antecedeu no período de amostragem, promovendo a lixiviação dos nutrientes e a conseqüente acidificação do solo.

Em estudo sobre a fertilidade do solo em diferentes fontes e doses de nitrogênio em São Paulo, Delbem et al. (2010) verificaram padrão similar ao observado neste estudo. Os autores verificaram correlações positivas entre teores de K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Valor S e V% e negativas com H+Al e Al, a diminuição do pH ao aumento simultâneo de H+Al e diminuição do conteúdo de bases no solo.

Observou-se variação entre épocas de coleta para área de Cerradão. Nesta área ocorreu redução dos teores de Ca da época seca para a chuvosa de 69% a 74 %, com aumento em profundidade. Esta diferença pode ser decorrente da maior utilização de nutrientes pela abundante massa vegetal no Cerradão na época chuvosa, ressaltando também a ausência de adubação. Além disso, há lixiviação de Ca devido à baixa CTC e alta precipitação na época chuvosa, sendo este padrão também verificado para o Mg.

Os maiores teores de Ca e Mg na época seca na área de Cerradão podem ser devido a maior deposição de matéria orgânica, via serapilheira. Estudando a dinâmica sazonal da produção e decomposição de serapilheira em floresta tropical de transição no norte do Mato Grosso, Sanches et al. (2009) verificaram maior deposição no período seco, atribuindo estes resultados ao estresse hídrico, sendo que a decomposição da serapilheira foi acelerada em ambos os períodos.

Tabela 4. Atributos das amostras de terra na profundidade 0-10 cm.

Área	pH(H ₂ O)		Ca		Mg		Na		K	
	-----cmol _c kg ⁻¹ solo-----									
	S	C	S	C	S	C	S	C	S	C
Cerradão	5,75	5,23	10,05	3,15	5,33	2,23	0,09	0,03	0,16	0,21
pasto/milho	5,69 Ba	5,85 Aa	7,50 Aa	4,86 Ab	3,75 Aa	3,4 Aa	0,09 Aa	0,04 ABb	0,19 Ab	0,63 Aa
milho/algodão	5,71 Ba	5,42 Bb	4,62 Ba	3,2 Ab	3,38 Aa	3,34 Aa	0,09 Aa	0,03 Bb	0,26 Ab	0,70 Aa
algodão/soja	6,41 Aa	5,66 ABb	7,05 Aa	4,15 Ab	3,57 Aa	2,03 Ab	0,09 Aa	0,04 Ab	0,20 Ab	0,41 Aa
	CV(1)= 4,94		CV(1)=24,07		CV(1)=34,96		CV(1)=7,52		CV(1)=37,48	
	CV(2)= 4,01		CV(2)=19,95		CV(2)=24,87		CV(2)=7,89		CV(2)=33,62	
Área	S		H+Al		T		V%		P	
	-----cmol _c kg ⁻¹ solo-----									
	S	C	S	C	S	C	S	C	S	C
Cerradão	15,63	5,62	6,5	8,69	22,14	14,31	70	39	1,99	0,28
pasto/milho	11,53 Aa	8,92 Ab	3,88 Aa	4,65 Aa	15,41 Aa	13,57 Ab	75 Ba	66 ABb	23,94 Aa	22,28 ABa
milho/algodão	8,36 Ba	7,27 ABa	4,66 Aa	5,34 Aa	13,02 Ba	12,60 Aa	64 Ca	58 Bb	31,12 Aa	11,10 Bb
algodão/soja	10,91 Aa	6,62 Bb	2,04 Ba	2,80 Ba	12,95 Ba	9,43 bb	84 Aa	70 Ab	27,30 Aa	22,91 Aa
	CV(1)=15,90		CV(1)=23,93		CV(1)=10,47		CV(1)=9,86		CV(1)=35,61	
	CV(2)=11,87		CV(2)=17,40		CV(2)=9,48		CV(2)=6,89		CV(2)=31,85	

Valores seguidos por letras maiúsculas iguais na coluna e minúsculas iguais na linha não diferem significativamente pelo teste t de Bonferroni a 5%. S: época seca e C: época chuvosa. CV(1)= coeficiente de variação entre áreas (%), CV(2)= coeficiente de variação entre épocas (%).

Tabela 5. Atributos químicos das amostras de terra na profundidade 10-20 cm.

Área	pH(H ₂ O)		Ca		Mg		Na		K	
	-----cmol _c kg ⁻¹ solo-----									
	S	C	S	C	S	C	S	C	S	C
Cerradão	5,70	4,2	6,45	1,68	3,32	1,84	0,09	0,03	0,12	0,09
pasto/milho	5,51 Ba	4,55 Bb	4,48 Aa	2,77 Ab	3,65 Aa	2,22 ABb	0,088 Aa	0,027 Ab	0,133 Ab	0,334 ABa
milho/algodão	5,52 Ba	4,71 Bb	3,62 Aa	2,69 Aa	2,93 Aa	2,43 Aa	0,087 Aa	0,022 Ab	0,179 Ab	0,427 Aa
algodão/soja	6,47 Aa	5,07 Ab	4,63 Aa	2,78 Ab	3,02 Aa	1,59 Bb	0,089 Aa	0,022 Ab	0,157 Ab	0,197 Ba
	CV(1)=4,16		CV(1)=20,20		CV(1)=12,45		CV(1)=8,73		CV(1)=43,83	
	CV(2)=4,23		CV(2)=21,81		CV(2)=25,40		CV(2)=8,73		CV(2)=41,49	
Área	S		H+Al		T		V%		P	
	-----cmol _c kg ⁻¹ solo-----									
	S	C	S	C	S	C	S	C	S	C
Cerradão	9,97	3,64	6,64	9,24	16,62	12,88	60	28	1,26	0,02
pasto/milho	8,36 Aa	5,35 Ab	4,29 Ab	5,36 Aa	12,65 Aa	10,71 Ab	66 Ba	50 Bb	19,75 Aa	7,78 Ab
milho/algodão	6,82 Ba	5,37 Ab	4,33 Aa	4,73 Aa	11,15 Ba	10,30 Aa	61 Ba	54 Aba	12,46 Aa	4,22 Ab
algodão/soja	7,90 ABa	4,59 Ab	2,10 Ba	3,03 Ba	10,00 Ba	7,61 Bb	79 Aa	60 Ab	11,63 Aa	6,51 Aa
	CV(1)=12,71		CV(1)=13,73		CV(1)=8,13		CV(1)=8,10		CV(1)=39,51	
	CV(2)=14,89		CV(2)=21,28		CV(2)=9,51		CV(2)=10,72		CV(2)=63,31	

Valores seguidos por letras maiúsculas iguais na coluna e minúsculas iguais na linha não diferem significativamente pelo teste t de Bonferroni a 5%. S: época seca e C: época chuvosa. CV(1)= coeficiente de variação entre áreas (%), CV(2)= coeficiente de variação entre épocas (%).

Tabela 6. Atributos químicos das amostras de terra na profundidade 20-30 cm.

Área	pH(H ₂ O)		Ca		Mg		Na		K	
	-----cmol _c kg ⁻¹ solo-----									
	S	C	S	C	S	C	S	C	S	C
Cerradão	5,59	3,98	4,57	1,28	3,03	1,68	0,090	0,02	0,11	0,08
pasto/milho	5,48 Ba	4,42 Bb	4,03 Aa	2,64 Ab	2,57 Aa	3,15 Aba	0,089 Aa	0,020 Bb	0,108 Ab	0,179 ABa
milho/algodão	5,49 Ba	4,55 AB b	2,95 Ba	2,28 Aa	2,15 Aa	2,68 Ba	0,090 Aa	0,043 Ab	0,144 Ab	0,216 Aa
Algodão/soja	6,22 Aa	4,87 Ab	3,60 ABa	2,23 Ab	2,32 Ab	3,59 Aa	0,091 Aa	0,020 Bb	0,134 Aa	0,143 Ba
	CV(1)=5,15		CV(1)=23,77		CV(1)=15,26		CV(1)=19,96		CV(1)=26,96	
	CV(2)=4,71		CV(2)=21,98		CV(2)=23,37		CV(2)=20,55		CV(2)=23,75	
Área	S		H+Al		T		V%		P	
	-----cmol _c kg ⁻¹ solo-----									
	S	C	S	C	S	C	S	C	S	C
Cerradão	7,80	3,06	6,94	8,77	14,74	11,83	51	26	2,28	0,22
pasto/milho	6,80 Aa	5,99 Aa	4,55 Aa	5,14 Aa	11,35 Aa	11,13 Aa	59 Ba	54 Ba	5,45 Aa	2,62 Ab
milho/algodão	5,33 Aa	5,21 Aa	4,08 Aa	4,43 Aa	9,42 Ba	9,64 ABa	56 Ba	54 Ba	5,21 Aa	0,89 Ab
Algodão/soja	6,14 Aa	5,98 Aa	2,30 Ba	3,06 Aa	8,44 Ba	9,04 Ba	72 Aa	66 Aa	4,55 Aa	2,08 Ab
	CV(1)=15,80		CV(1)=20,66		CV(1)=11,24		CV(1)=11,07		CV(1)=39,03	
	CV(2)=19,46		CV(2)=21,71		CV(2)=10,22		CV(2)=13,48		CV(2)=37,80	

Valores seguidos por letras maiúsculas iguais na coluna e minúsculas iguais na linha não diferem significativamente pelo teste t de Bonferroni a 5%. S: época seca e C: época chuvosa. CV(1)= coeficiente de variação entre áreas (%), CV(2)= coeficiente de variação entre épocas (%).

Foram verificadas reduções nos teores de Ca e Mg entre épocas de avaliação em todas as áreas e profundidades. Este padrão pode ter ocorrido em razão da influência do regime de chuvas que favorece a lixiviação, maior utilização pelas culturas na época chuvosa e também da exportação destes nutrientes em decorrência das colheitas. Desta forma, o valor S, que é a soma de bases também foi menor na estação chuvosa. Os resultados encontrados por Rosa Junior et al. (2009), que estudaram efeitos da irrigação nas características químicas e físicas do solo e no desenvolvimento da cultura do trigo na Universidade Federal de Grande Dourados (UFGD), corroboram com os encontrados neste estudo. Os autores observaram redução nos teores de Ca e Mg em função da irrigação, atribuindo os resultados encontrados à lixiviação e à aceleração da decomposição da matéria orgânica do solo.

Baixos teores de P foram encontrados na área de Cerradão, devido a ser este um elemento pouco móvel na planta, sendo mantido na biomassa aérea, que é capaz de reciclar o nutriente com grande eficiência, mesmo não sendo repassado para o material depositado na forma de serapilheira. Este padrão foi verificado na análise química da palhada/serapilheira (Tabelas 7 e 8), com os menores teores de P na área de Cerradão, nas duas épocas de avaliação, em comparação às áreas produtivas, sendo este padrão também observado no solo. Assim, pode-se concluir que a qualidade da palhada/serapilheira influencia na qualidade do solo na área de Cerradão. Outro motivo para o baixo teor de P na área de Cerradão, é que esta área não é adubada, diferindo das áreas produtivas, periodicamente adubadas, e o material vegetal depositado sobre o solo contém teores mais elevados de P quando comparados ao do Cerradão. O mesmo foi verificado por Araújo et al. (2000) estudando o impacto do cultivo nas características químicas e na agregação de Latossolo Vermelho Distrófico do noroeste do Paraná, e Siqueira Neto (2006) que avaliou os estoques de carbono e nitrogênio do solo com diferentes usos no Cerrado em Rio Verde-GO. Estes autores encontraram teores de P no solo da área cultivada significativamente superiores àqueles do solo na condição de mata nativa.

Os teores de P na área de Cerradão apresentaram o mesmo padrão de variação entre épocas, em relação às áreas agrícolas. Os menores teores de P na área de milho/algodão para a profundidade de 0-10 cm na época chuvosa podem ser decorrentes do maior uso de fósforo pelas culturas em relação ao algodão/soja, que apresentou teores mais elevados. Observa-se na Tabela 8 que foram encontrados elevados teores de P na fração reprodutiva de soja para área de milho/algodão, comprovando assim que o baixo teor de P no solo foi decorrente dos elevados teores presentes na palhada, o que sugere uma maior utilização pelas plantas.

Nas profundidades de 10-20 cm e 20-30 cm foi observada redução dos teores P em relação aos teores quantificados na época seca. A maior atividade biológica na profundidade de 0-10 cm, favorecida também pela adubação nessa camada, pode ter conservado o fósforo através da dinâmica de ciclagem do mesmo. Quando avaliados os teores de P em profundidade e sazonalmente, verifica-se uma maior concentração deste nutriente no solo na época seca em comparação à época chuvosa. Uma possível explicação para os menores valores de P no solo na época chuvosa pode ser a decorrência da maior utilização deste nutriente pelas culturas, favorecendo uma maior produção de biomassa e conseqüentemente maior absorção de P, provocando uma redução dos teores em profundidade.

Os teores de K variaram de 0,26 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ solo na área de milho/algodão a 0,16 na área de Cerradão na profundidade de 0-10 cm, quando avaliado na época seca, sendo o mesmo padrão verificado para a profundidade de 10-20 cm. Para a profundidade de 20-30 cm o teor variou de 0,14 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ solo na área de milho/algodão a 0,11 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ solo na área de pasto/milho. Carneiro et al. (2009), estudando efeitos dos sistemas de manejo sobre o carbono orgânico total e o carbono residual de Latossolo Vermelho Eutroférico no Paraná, verificaram na primeira camada (0-5 cm) maior teor de potássio no sistema de plantio direto em comparação com a mata nativa.

Tabela 7. Teores de nutrientes da serapilheira e dos resíduos vegetais das áreas de estudo na época seca.

		-----g. kg ⁻¹ -----						
		Ca	Mg	K	P	C	N	C/N
Cerradão	Galhos	16,70	2,27	6,30	0,06	63,00	8,85	7,32
	Reprodutivo	6,43	1,19	6,19	0,46	65,45	14,45	4,67
	Folhas	17,03	2,53	6,30	0,57	59,46	13,50	4,52
milho/algodão	Gramíneas	2,77	1,26	6,30	0,50	74,59	9,18	8,35
	Galhos	5,61	1,49	6,50	0,33	78,62	8,01	9,96
algodão/soja	Reprodutivo de soja	4,28	3,19	6,50	1,13	63,24	10,81	5,82
	Gramíneas	3,32	1,10	6,50	0,88	78,23	7,84	15,56
	Galhos	8,00	1,52	8,98	3,00	76,76	5,15	15,15
	Folhas	16,78	3,31	8,36	8,02	71,25	18,42	4,02
	Milho	0,20	1,21	6,30	0,00	75,18	4,14	19,18
	Reprodutivo	3,36	4,18	20,11	6,09	72,04	12,77	6,00

Tabela 8. Teores de nutrientes da serapilheira e dos resíduos vegetais das áreas de estudo na época chuvosa.

		-----g kg ⁻¹ -----						
		Ca	Mg	K	P	C	N	C/N
Cerradão	Folhas	11,04	2,55	6,30	0,57	61,98	15,94	3,92
	Galhos	14,20	1,81	6,30	0,00	72,85	9,95	7,48
	Reprodutivo	3,54	1,24	6,19	0,00	84,94	13,80	6,17
	Refugo	2,23	2,25	6,19	0,81	51,01	14,24	3,61
pasto/milho	Galhos de soja	4,83	1,96	6,19	2,49	76,14	10,65	7,16
	Folhas de soja	4,13	3,13	6,40	2,21	66,67	17,33	3,88
	Reprodutivo de soja	5,05	4,43	6,50	2,73	51,19	16,63	3,28
	Refugo	1,66	2,94	6,30	4,70	47,60	15,94	3,02
milho/algodão	Gramíneas	5,59	2,41	6,40	1,84	70,31	13,73	5,16
	Folhas de Soja	11,54	2,53	6,61	6,71	67,03	20,79	3,62
	Gramíneas	1,98	2,09	6,40	1,91	64,37	10,65	6,10
algodão/soja	Reprodutivo de Soja	11,89	4,11	6,81	9,78	42,46	15,50	2,60
	Galhos	3,98	1,87	6,71	1,93	62,01	9,26	6,88
	Folhas	4,73	2,46	7,12	2,37	32,33	16,07	2,41
	Reprodutivo	3,45	2,83	6,81	3,92	55,33	13,42	4,27
	Gramíneas	1,94	1,86	6,61	2,71	52,68	11,53	4,55
	Refugo	3,03	1,72	6,71	2,82	55,72	11,84	5,33

Não foram verificadas diferenças para os teores de K entre as áreas na época chuvosa, para a profundidade de 0-10 cm. Nas demais profundidades, o teor de K foi maior na área de milho/algodão, apresentando valor intermediário na área de pasto/milho, sendo os menores valores verificados na área de algodão/soja. Os maiores teores observados na área de milho/algodão podem ser decorrentes do maior acúmulo de K na palhada de milho bem como da liberação gradual deste nutriente.

Os teores de K no solo foram maiores na época chuvosa em todas as áreas e profundidades em comparação com a época seca. Os maiores valores de K no solo, podem ser decorrentes da maior velocidade de decomposição da palhada que ocorre na estação chuvosa (Torres et al., 2008). Além disso, há efeito residual do K aplicado nas culturas.

Os teores de H+Al estão aparentemente relacionados com os teores de carbono orgânico total (COT), sendo observado aumento dos valores deste atributo da época chuvosa para a época seca principalmente na profundidade de 0-10 cm (25 % na área de Cerrado, 17 % na área de pasto/milho, 13% na área milho/algodão e 27 % na área de algodão/soja). Os maiores valores de H+Al podem ser explicados pela maior atividade biológica na época chuvosa, favorecendo a decomposição da MOS e aumentando a acidez potencial do solo. Em estudo sobre as propriedades físicas, químicas e biológicas de um Latossolo Vermelho-Escuro em diferentes ecossistemas, Alvarenga (1996) atribuiu os resultados de aumento da acidez potencial do solo (H + Al) ao processo de decomposição dos resíduos orgânicos.

Ocorreram diferenças significativas para V%, tanto entre as épocas, como entre as áreas de produção para a profundidade de 0-10 cm. O aumento da acidez potencial do solo (H+Al), decorrente da decomposição da matéria orgânica, associado à redução da soma de bases (Valor S) devido às perdas por lixiviação, contribuiu para a redução da fertilidade na época chuvosa. Paralelamente à redução do Valor S, ocorreu também a diminuição do valor V% nas diferentes áreas.

Para entender de maneira global as relações de causalidade entre os fatores ambientais e os atributos químicos do solo, foi aplicada a análise multivariada de redundância. As variáveis ambientais (áreas, profundidade e épocas de avaliação) explicam 69% de toda a variabilidade dos atributos químicos. Na Figura 5 é apresentado o diagrama resultante da análise de redundância (RDA), onde se pode observar a variação dos atributos químicos do solo em relação às diferentes áreas avaliadas. As diferenças entre as áreas explicam 24,9% de toda a variabilidade dos atributos químicos. Pode-se observar que P e Cerradão estão se contrapondo, visto que em áreas de Cerradão os teores de P foram baixos, em relação às demais áreas. Os valores de H+Al estão próximos da área de Cerradão, em função dos elevados teores de carbono e conseqüente decomposição há liberação de elevados teores de H+Al.

As diferentes profundidades foram responsáveis por 15,9% de toda variabilidade dos atributos químicos do solo. Observa-se na Figura 6 que os atributos químicos estão de forma geral associados à profundidade de 0-10 cm, visto que nesta camada são feitas adubações e ocorre deposição de material vegetal e conseqüente decomposição e ciclagem de nutrientes, por isto os maiores teores se encontram nesta profundidade.

A variação sazonal foi responsável por 28,2% de toda variabilidade dos atributos químicos do solo. Observa-se na Figura 7 que em geral os atributos químicos estão associados à época seca de avaliação, isto porque a época chuvosa é mais favorável à lixiviação de nutrientes. O K diferiu da maioria dos nutrientes, estando mais associado à época chuvosa. Por esse elemento ser altamente solúvel e, portanto móvel, esta associação é provavelmente resultante da maior velocidade de decomposição da palhada na estação chuvosa, além do efeito residual do K aplicado. Também por este motivo, observa-se a associação entre os teores de H+Al à época chuvosa, devido à elevada decomposição da MOS.

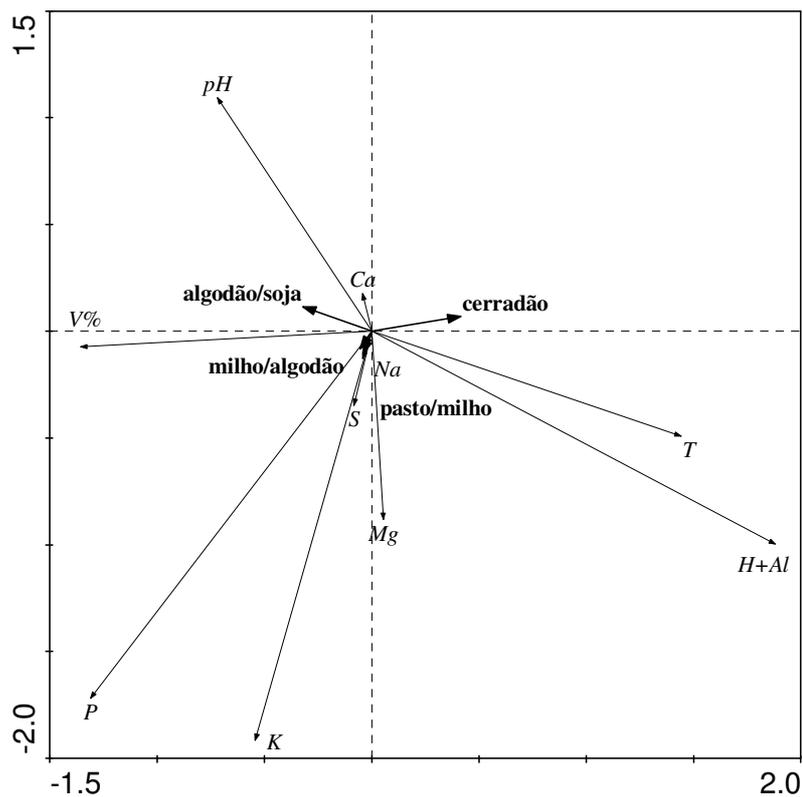


Figura 5. Análise de Redundância dos atributos químicos em função das diferentes áreas de estudo. Valor de explicação do Eixo 1: 83,9% e Eixo 2: 94,6 %.

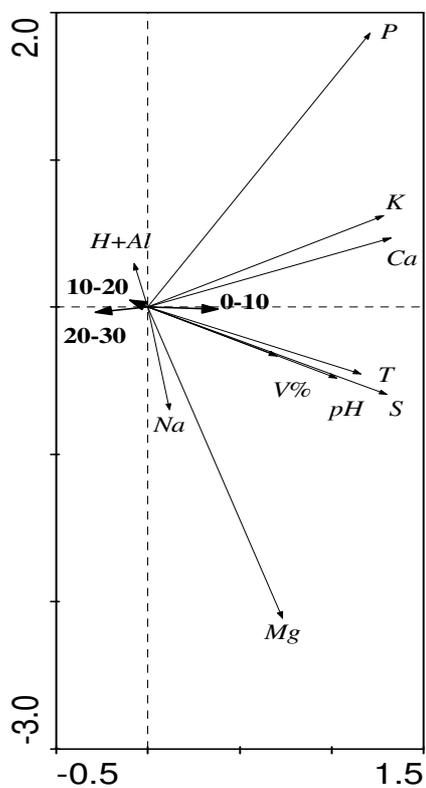


Figura 6. Análise de Redundância dos atributos em função de diferentes profundidades. Valor de explicação do Eixo 1: 98,6% e Eixo 2: 100,0%.

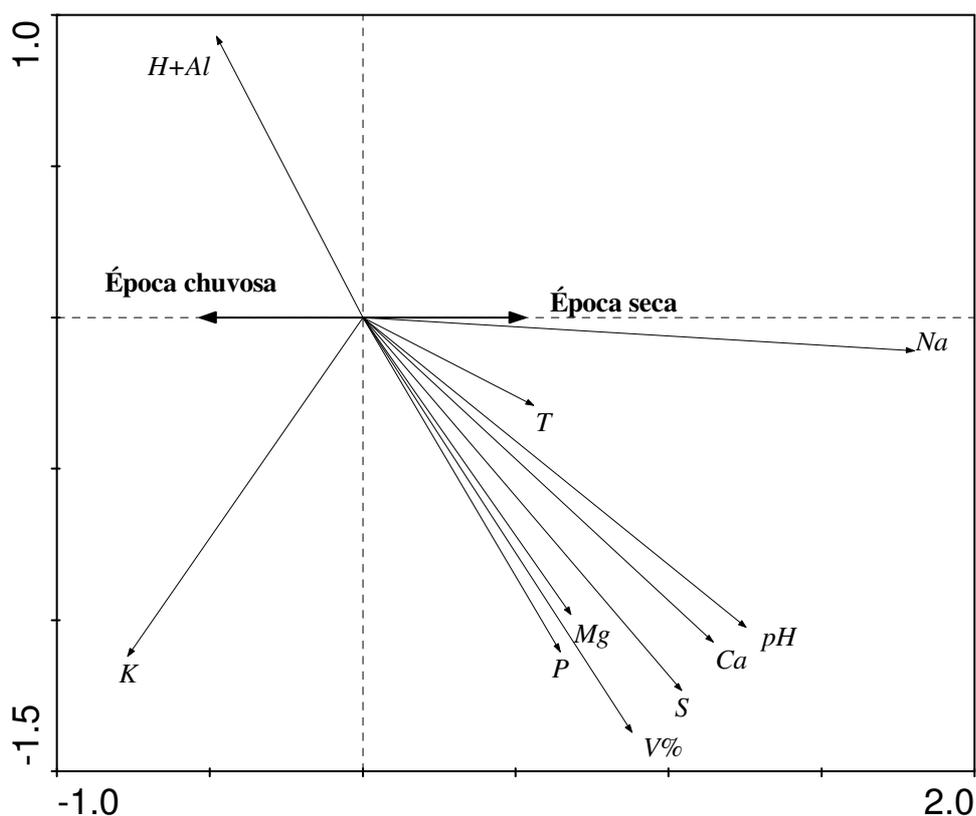


Figura 7. Análise de Redundância dos atributos em função das épocas de avaliação. Valor de explicação do Eixo 1: 100,0% e Eixo 2: 0,0%

Através da RDA foi possível decompor a variabilidade dos atributos químicos em função dos grandes fatores ambientais. O que mostra a importância de avaliar sistemas agrícolas em diferentes épocas, para observar o efeito da sazonalidade, e das diferentes coberturas, pois a disponibilização de nutrientes via ciclagem ocorre de maneira diferenciada. Além disso, com o emprego desta técnica pode-se realizar a avaliação em diferentes profundidades. Deste modo, pode-se entender melhor a dinâmica dos nutrientes no sistema.

O teor de carbono orgânico total (COT) variou de 37, 57 g kg⁻¹ a 24,90 na profundidade de 0-10 cm, de 27,80 a 13,49 na profundidade de 10-20 cm e de 25,45 a 11,96 na profundidade de 20-30 cm, nas áreas de Cerradão e algodão/soja respectivamente em todas as profundidades na época seca de avaliação. Nas Tabelas 9, 10 e 11 são apresentados os teores de COT, carbono orgânico particulado (CO_p) e carbono orgânico associado aos minerais (CO_{am}), nas profundidades 0-10, 10-20 e 20-30 cm.

O mesmo padrão foi verificado por Carneiro et al. (2009), estudando efeitos dos sistemas de manejo sobre o COT e carbono residual de um Latossolo Vermelho Eutroférico no Paraná, dentre estes sistemas de manejo, foi avaliado o plantio direto, que quando comparado com a mata nativa, apresentou menor quantidade de COT. Os autores atribuíram este fato à matéria orgânica encontrar-se preservada devido a não mobilização do solo e à constante ciclagem do material vegetal e aporte constante de serapilheira. Fonseca et al. (2007), estudando atributos químicos, físicos e biológicos de Latossolo Vermelho de Cerrado sob duas rotações de culturas em Goiás, encontraram maiores valores de matéria orgânica no Cerradão comparado ao sistema ILP. O decréscimo de COT em profundidade foi justificado pela ausência de revolvimento do solo, e com isto a não incorporação da matéria orgânica.

Tabela 10. Teores de carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COp), carbono orgânico associado aos minerais (COam) e matéria orgânica leve em água (MOL) na profundidade 10-20 cm.

Área	COT		Cop		COam		MOL	
	-----g kg ⁻¹ -----							
	S	C	S	C	S	C	S	C
Cerradão	27,80	22,9	7,05	4,76	20,74	18,16	3,10	0,83
pasto/milho	17,15 Aa	16,3 Ba	5,40 Aa	3,98 Aa	11,75 Ba	12,40 Ba	1,93 Aa	1,04 Aa
milho/algodão	17,86 Ab	20,9 Aa	2,25 Aa	2,28 Aa	15,61 Ab	18,68 Aa	1,53 Aa	1,96 Aa
algodão/soja	13,49 Ba	14,1 Ba	2,09 Aa	5,93 Aa	11,40 Ba	12,32 Ba	1,60 Aa	1,46 Aa
	CV(1)=16,28		CV(1)=138,32		CV(1)=19,35		CV(1)=61,94	
	CV(2)=11,16		CV(2)=130,91		CV(2)=13,98		CV(2)=65,45	

Valores seguidos por letras maiúsculas iguais na coluna e minúsculas iguais na linha não diferem significativamente pelo teste t de Bonferroni a 5%. S: época seca e C: época chuvosa. CV(1)= coeficiente de variação entre áreas (%), CV(2)= coeficiente de variação entre épocas (%)

Tabela 9. Teores de carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COp), carbono orgânico associado aos minerais (COam) e matéria orgânica leve em água (MOL) na profundidade 0-10 cm.

Área	COT		Cop		COam		MOL	
	-----g kg ⁻¹ -----							
	S	C	S	C	S	C	S	C
Cerradão	37,57	33,9	20,22	8,32	17,35	25,6	8,03	1,10
pasto/milho	27,85 Aa	25,2 Aa	18,37 Aa	7,81 Ab	9,48 Bb	17,4 Aa	7,46 Aa	2,34 Ab
milho/algodão	26,54 Aa	26,0 Aa	9,55 Ba	3,88 Bb	16,99 Aa	22,10 Aa	5,5 Aa	3,42 Aa
algodão/soja	24,90 Aa	20,8 Aa	5,08 Ba	2,95 Ba	19,82 Aa	17,90 Aa	6 Aa	4,35 Aa
	CV(1)=18,41		CV(1)=29,75		CV(1)=26,03		CV(1)=29,10	
	CV(2)=15,93		CV(2)=34,72		CV(2)=24,46		CV(2)=29,60	

Valores seguidos por letras maiúsculas iguais na coluna e minúsculas iguais na linha não diferem significativamente pelo teste t de Bonferroni a 5%. S: época seca e C: época chuvosa. CV(1)= coeficiente de variação entre áreas (%), CV(2)= coeficiente de variação entre épocas (%).

Tabela 11. Teores de carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COp), carbono orgânico associado aos minerais (COam) e matéria orgânica leve em água (MOL) na profundidade 20-30 cm.

Área	COT		Cop		COam		MOL	
	S	C	S	C	S	C	S	C
Cerradão	25,45	22,30	4,66	5,19	20,79	17,12	1,00	0,81
pasto/milho	14,80 Ab	17,57 Aa	4,85 Aa	3,77 Aa	9,95 Ab	13,79 ABa	1,33 Aa	0,89 Bb
milho/algodão	13,926 ABa	16,12 Aa	1,43 Aa	6,64 Aa	12,49 Aa	14,00 Aa	1,40 Aa	1,36 ABa
algodão/soja	11,96 Ba	12,3 Ba	1,51 Aa	1,17 Aa	10,45 Aa	11,13 Ba	1,73 Aa	1,87 Aa
	CV(1)=13,30		CV(1)=84,52		CV(1)=15,73		CV(1)=27,60	
	CV(2)=13,31		CV(2)=85,65		CV(2)=16,28		CV(2)=27,65	

Valores seguidos por letras maiúsculas iguais na coluna e minúsculas iguais na linha não diferem significativamente pelo teste t de Bonferroni a 5%. S: época seca e C: época chuvosa.. CV(1)= coeficiente de variação entre áreas (%), CV(2)= coeficiente de variação entre épocas (%).

Em estudo avaliando a qualidade do solo sob diferentes sistemas de manejo em experimentos de longa duração no Sul do Brasil, Conceição et al. (2005) verificaram um decréscimo do teor de carbono em profundidade, refletindo a deposição superficial dos resíduos e a maior concentração de raízes. Diferindo do padrão observado pelo autor supracitado, Lourente et al. (2007) em estudo de diferentes sistemas de manejos realizados no Cerrado, observaram que a área de mata nativa e o sistema ILP apresentaram teores próximos 42,2 e 42,1 g kg⁻¹ respectivamente, não diferindo entre si.

Não foram observadas diferenças significativas nos teores de COT entre áreas e épocas de coleta, na profundidade de 0-10 cm devido ao constante aporte de resíduos vegetais. A área de algodão/soja apresentou menores teores de COT nas duas épocas de avaliação nas profundidades de 10-20 e 20-30 em função desta área apresentar textura média (Tabelas 9, 10 e 11). Assim ocorre menor proteção da matéria orgânica, que fica mais exposta para o processo de decomposição, refletindo em menores teores de COT.

Os teores de COp (carbono orgânico particulado) variaram de 20,22 g kg⁻¹ a 5,08 na profundidade de 0-10 cm, de 7,05 a 2,09 na profundidade de 20-30 cm, respectivamente, nas áreas de Cerradão e algodão/soja e de 4,85 na área de pasto/milho a 1,51 na área de algodão/soja na profundidade de 20-30 cm.

A área de algodão/soja apresentou menores teores de COp em relação às demais áreas, o que pode ser decorrente da diferença textural. Após a realização da análise granulométrica, verificou-se que as áreas de Cerradão, pasto/milho e milho/algodão se enquadraram na classe argilosa, enquanto a área de algodão/soja foi classificada como textura franco argilo-arenosa.

Os teores de COp reduziram na época chuvosa na profundidade de 0-10 cm quando comparada com a época seca nas áreas de milho/algodão e pasto/milho. Este padrão pode ser explicado pela influência da maior precipitação nesta época e as maiores temperaturas do solo, favorecendo a maior atividade biológica, e conseqüentemente a decomposição da MOS. As modificações no conteúdo de carbono são mais facilmente detectáveis no COp em função da sensibilidade deste. Não foram observadas diferenças para o COT.

Verificou-se que, na fração COp, as mudanças provenientes dos diferentes sistemas de uso do solo são mais sensíveis, em comparação com o COT. Deste modo, observa-se que o COp pode funcionar como indicador da qualidade da MOS em relação às alterações de manejo e em curto prazo. Este padrão também foi observado por Conceição et al. (2005), avaliando a qualidade do solo sob diferentes sistemas de manejo em experimentos de longa duração no sul do Brasil na profundidade de 0-5 cm.

Comparando as diferentes frações de carbono para área de algodão/soja, observa-se que o carbono orgânico associado aos minerais (COam) é em média 75% superior à fração de COp na profundidade de 0-10 cm, este valor aumenta para 82% na profundidade de 10-20 cm e 85% na profundidade de 20-30 cm, o que demonstra a menor participação da fração particulada nas camadas subsuperficiais do solo. Resultados semelhantes foram encontrados por Nicoloso (2005) em estudo em áreas de ILP no RS, onde o autor verificou o aumento da participação do COam em profundidade, demonstrando também que a variação dos teores de COp entre as diferentes áreas estudadas, na profundidade de 0-5 cm, é dependente da adição de resíduos vegetais, ou seja, sistemas de uso do solo que propiciem a adição destes resíduos na superfície do solo influenciam a manutenção dos valores de COp.

A cultura instalada no momento da avaliação influenciou nos resultados de COam, visto que houve diferença entre as áreas produtivas para a época seca. O teor de carbono orgânico foi de forma geral maior na fração associada aos minerais para todos os cultivos e para a área de Cerradão, sendo assim um indicativo de maior estabilidade da matéria orgânica, o que decorre da formação de complexo organo-mineral. O mesmo padrão foi verificado por Castro (2008) em estudo de frações granulométricas e húmicas em florestas no estado do MT.

Em relação à época chuvosa, os menores teores de CO_{am} foram encontrados na área de algodão/soja nas profundidades de 10-20 cm e 20-30 cm e podem estar relacionados com a menor proteção da MOS em solos mais arenosos, proporcionando maior exposição da MOS com menor proteção química e física desta (Nicoloso, 2005; Santos, 2010) possibilitando maior perda de carbono através de oxidação favorecida pela maior presença de oxigênio em relação às demais áreas avaliadas.

É essencial entender a dinâmica da transformação da MOS, pois no período seco apesar de ocorrer maior aeração que poderia facilitar a oxidação do CO_{am}, esse processo foi de certa forma limitado pelas baixas umidade e temperatura do solo. Verificou-se que na época seca, a influência desses fatores favoráveis à oxidação atingiu a profundidade de 20 cm. Onde os menores teores foram observados na área de algodão/soja, esta é a única área que não possui gramínea na rotação, sendo observada redução acentuada de CO_{am} de 0-10 à 10-20 cm. Tal fato pode ser devido a qualidade da palhada de algodão/soja inferior às demais para a época seca de avaliação. Já na época chuvosa, com temperatura e a umidade favoráveis a oxidação do CO_{am}, a decomposição da matéria orgânica associada à fração mineral ocorreu até a maiores profundidades, nesse caso até 30 cm.

O teor de matéria orgânica leve em água (MOL) não variou nas diferentes áreas na época seca. Tal fato indica que o manejo vem sendo realizado de forma adequada, já que os resultados se assemelharam aos do Cerradão.

Os valores de MOL diminuíram com aumento da profundidade, sendo os maiores valores quantificados na profundidade 0-10 cm sugerindo haver relação entre COp e MOL. Sobre a fração MOL, existem poucos estudos sobre o emprego deste atributo como indicador da qualidade do solo. Marin (2002) estudando impactos de um sistema agroflorestal com café na qualidade do solo propôs que a MOL por ser uma fração ativa no solo e apresentar um tempo de residência no solo que varia de um a cinco anos, e é refletida pelo manejo das áreas produtivas, podendo ser utilizada como um indicador de qualidade. Correlações positivas entre MOL e COp também foram verificadas por Ruivo et al. (2005) que analisando a caracterização química da manta orgânica e da MOL encontraram correlações positivas entre estes atributos, reforçando a possibilidade do emprego desta MOL como indicadora da qualidade do solo. A área de algodão/soja apresentou grande quantidade de MOL em todas as profundidades. Este fato pode ser atribuído à presença da palhada recém depositada da colheita, havendo ainda grande quantidade de matéria orgânica não decomposta, em função do curto período de tempo da colheita entre a coleta das amostras.

Observa-se que as maiores variações de estoque de carbono dos diferentes compartimentos da MOS ocorreram nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm (Tabelas 12, 13 e 14). Os estoques de COT não diferiram entre as áreas nas três profundidades avaliadas. Os maiores estoques em COp na área de pasto/milho para as profundidades 0-10 e 10-20 cm na época seca, são provenientes da grande quantidade de raízes de gramíneas.

Na época chuvosa, as diferenças nos estoques ocorreram na profundidade de 10-20 cm, onde os maiores teores de COT foram observados na área de milho/algodão, o que provavelmente pode ser atribuído à elevada quantidade de raízes deixadas pelo milho na época anterior. O mesmo padrão foi verificado para COp, onde os maiores teores ocorreram na área de pasto/milho seguida pela área de milho/algodão.

Quanto aos teores de CO_{am}, estes não foram sensíveis quanto as diferentes coberturas do solo, padrão similar foi encontrado por Nicoloso (2005) em estudo em áreas de ILP no RS. O autor atribuiu este fato em função dos elevados teores de CO_{am}, sendo necessário que houvesse uma grande variação para serem observadas diferenças, o que pode não ocorrer em curtos períodos de avaliação, e/ou áreas onde a ciclagem de nutrientes ocorra de maneira mais lenta.

Tabela 12. Densidade do solo, estoque de COT e frações granulométricas COp e COam na profundidade de 0-10 cm de profundidade.

	Ds	COT		COp		Coam	
	Mg m ⁻³	-----MgC. Ha ⁻¹ -----					
Cerradão	1,05	42,06	33,75	20,27	7,59	21,80	26,16
pasto/milho	1,66	29,99 Aa	25,43 Aa	17,63 Aa	7,89 Ab	12,37 Aa	17,54 Aa
milho/algodão	1,60	30,25 Aa	26,75 Aa	12,34 Ba	3,57 Ab	17,91 Aa	23,18 Aa
algodão/soja	1,56	26,79 Aa	23,08 Aa	5,39 Ca	3,45 Aa	21,40 Aa	19,63 Aa
		CV(1)= 28,06		CV(1)= 30,82		CV(1)= 34,72	
		CV(2)= 16,03		CV(2)= 31,92		CV(2)= 21,96	

Valores seguidos por letras maiúsculas iguais na coluna e minúsculas iguais na linha não diferem significativamente pelo teste t de Bonferroni a 5%. S: época seca e C: época chuvosa. CV(1)=coeficiente de variação entre áreas (%), CV(2)= coeficiente de variação entre épocas de avaliação (%).

Tabela 13. Densidade do solo, estoque de COT e frações granulométricas COp e COam na profundidade de 10-20 cm de profundidade.

	Ds	COT		COp		Coam	
	Mg m ⁻³	-----MgC. Ha ⁻¹ -----					
Cerradão	1,12	34,54	27,84	16,87	7,88	17,67	19,96
pasto/milho	1,59	19,17 Aa	17,24 Ba	5,95 Aa	4,87 Aa	13,22 Aa	12,37 Aa
milho/algodão	1,63	20,04 Ab	23,71 Aa	2,49 Ba	3,28 ABa	13,22 Aa	12,37 Aa
algodão/soja	1,68	15,41 Aa	14,89 Ba	2,25 Ba	1,41 Ba	13,16 Aa	13,47 Aa
		CV(1)= 20,65		CV(1)= 35,41		CV(1)= 26,88	
		CV(2)= 11,58		CV(2)= 35,96		CV(2)= 17,02	

Valores seguidos por letras maiúsculas iguais na coluna e minúsculas iguais na linha não diferem significativamente pelo teste t de Bonferroni a 5%. S: época seca e C: época chuvosa. CV(1)=coeficiente de variação entre áreas (%), CV(2)= coeficiente de variação entre épocas de avaliação (%).

Tabela 14. Densidade do solo, estoque de COT e frações granulométricas COp e COam na profundidade de 20-30 cm de profundidade.

	Ds	COT		COp		Coam	
	Mg m ⁻³	-----		MgC. Ha ⁻¹ -----		-----	
Cerradão	1,15	30,84	24,96	6,26	5,96	24,58	19,00
pasto/milho	1,48	17,39 Aa	20,98 Aa	5,57 Aa	4,40 Aa	11,83 Ab	16,58 Aa
milho/algodão	1,61	16,34 Aa	18,75 Aa	1,97 Aa	10,17 Aa	14,37 Aa	15,78 Aa
algodão/soja	1,64	14,02 Aa	13,54 Ba	2,20 Aa	1,34 Aa	11,82 Aa	12,20 Aa
		CV(1)= 17,13		CV(1)= 135,74		CV(1)= 17,99	
		CV(2)= 14,76		CV(2)= 143,96		CV(2)= 18,70	

Valores seguidos por letras maiúsculas iguais na coluna e minúsculas iguais na linha não diferem significativamente pelo teste t de Bonferroni a 5%. S: época seca e C: época chuvosa. CV(1)=coeficiente de variação entre áreas (%), CV(2)= coeficiente de variação entre épocas de avaliação (%).

Os maiores teores da fração F1 foram encontrados na camada de 0-10 cm em todas as áreas avaliadas nas duas épocas (Tabelas 15, 16 e 17) Estes resultados são decorrentes da maior deposição de material orgânico na superfície. Avaliando o COT em um Luvissole de textura arenosa, sob agrossilvicultura e sistemas de agricultura convencionais na região semiárida do Ceará, Maia et al. (2007) encontraram resultados semelhantes. Os autores justificaram os resultados à maior disponibilidade de resíduos vegetais (fração leve livre) provenientes dos sistemas avaliados. Nos estudos de frações de matéria orgânica em Latossolo cultivado com cafeeiro, Rangel et al. (2007) verificaram redução dos teores de carbono lábil (F1) em profundidade do solo. Rangel et al. (2008) atribuem os resultados encontrados ao favorecimento de adições frequentes de material orgânico ao solo pelos sistemas de manejo. Adições frequentes de material orgânico favorecem maior proporção da fração lábil em detrimento das frações mais recalcitrantes na camada mais superficial.

Ocorreu aumento nas profundidades de 10-20 cm e 20-30 cm da fração F1 na época seca para época chuvosa nas áreas de milho/algodão e pasto/milho. O aumento desta fração está relacionado com maiores adições de C nessas áreas através do enraizamento profundo e agressivo das gramíneas. Em estudos sobre frações granulométricas da MOS Beutler et al. (2009) relacionaram maiores teores de C_{Op} com o enraizamento da braquiária. O C_{Op} está relacionado com as frações mais lábeis do solo, assim como a fração F1, apresentam maior labilidade e também sensibilidade ao manejo.

Na época seca, a maior proporção do COT na área de Cerradão foi verificada nas frações mais recalcitrantes (F3 + F4). Nas demais áreas avaliadas, o carbono encontrou-se em maior proporção nas frações mais lábeis (F1 + F2). Os resultados são corroborados por Rangel et al. (2008) em estudo sobre frações de matéria orgânica em Latossolo em MG e por Loss et al. (2009) avaliando as frações oxidáveis sobre sistema de aléias no Maranhão. Ambos autores verificaram que solos de áreas produtivas apresentam maior proporção de carbono lábil em relação à área de mata, atribuindo estes resultados à maior biodisponibilidade do C nas áreas produtivas.

Tabela 15. Teores de carbono orgânico total (COT) e frações oxidáveis do carbono orgânico do solo (F1, F2, F3, F4) nas áreas avaliadas, na profundidade 0-10 cm.

Área	COT		F1		F2		F3		F4	
	-----g kg ⁻¹ -----									
	S	C	S	C	S	C	S	C	S	C
Cerradão	37,57	33,9	11,63	10,00	5,75	4,75	11,88	6,00	8,25	4,50
pasto/milho	27,85 Aa	25,2 Aa	7,25 Aa	8,75 Aa	7,25 Aa	4,50 ABb	3,75 Aa	5,75 Aa	4,75 Aa	6,00 Aa
milho/algodão	26,54 Aa	26,0 Aa	9,75 Aa	11,38 Aa	5,25 Aa	4,87 Aa	8,13 ABa	4,25 Aa	2,88 Aa	2,63 Aa
algodão/soja	24,90 Aa	20,8 Aa	7,50 Ab	11,00 Aa	6,38 Aa	2,00 Bb	9,12Aa	5,25 Aa	2,25 Aa	1,87 Aa
	CV(1)=18,41		CV(1)= 21,88		CV(1)= 29,96		CV(1)= 56,78		CV(1)= 83,05	
	CV(2)=15,93		CV(2)= 27,64		CV(2)= 40,44		CV(2)= 60,18		CV(2)= 94,24	

Valores seguidos por letras maiúsculas iguais na coluna e minúsculas iguais na linha não diferem significativamente pelo teste t de Bonferroni a 5%. S: época seca e C: época chuvosa. CV(1)=coeficiente de variação entre áreas (%), CV(2)= coeficiente de variação entre épocas de avaliação (%).

Tabela 16. Teores de carbono orgânico total (COT) e frações oxidáveis do carbono orgânico do solo (F1, F2, F3, F4) nas áreas avaliadas, na profundidade 10-20 cm.

	COT		F1		F2		F3		F4	
	-----g kg ⁻¹ -----									
	S	C	S	C	S	C	S	C	S	C
Cerradão	27,80	22,3	5,25	8,25	3,37	2,50	8,63	5,63	4,62	3,50
pasto/milho	17,15 Aa	17,6 Ba	7,13 Aa	5,88 ABa	3,19 Aa	1,75 Ab	2,56 Aa	3,56 Aa	1,63 Aa	2,19 Aa
milho/algodão	17,86 Ab	16,1 Aa	4,13 Bb	7,38 Aa	1,50 Aba	1,88 Aa	1,63 Aa	3,25 Aa	1,50 Aa	2,50 Aa
algodão/soja	13,49 Ba	22,9 Ba	6,00 ABa	5,06 Ba	1,19 Ba	1,63 Aa	2,69 Aa	3,63 Aa	2,12 Aa	1,13 Aa
	CV(1)=16,28		CV(1)= 22,58		CV(1)= 67,52		CV(1)= 33,74		CV(1)= 66,79	
	CV(2)=11,16		CV(2)= 20,60		CV(2)= 59,04		CV(2)= 51,99		CV(2)= 76,66	

Valores seguidos por letras maiúsculas iguais na coluna e minúsculas iguais na linha não diferem significativamente pelo teste t de Bonferroni a 5%. S: época seca e C: época chuvosa. CV(1)=coeficiente de variação entre áreas (%), CV(2)= coeficiente de variação entre épocas de avaliação (%).

Tabela 17. Teores de carbono orgânico total (COT) e frações oxidáveis do carbono orgânico do solo (F1, F2, F3, F4) nas áreas avaliadas, na profundidade 20-30 cm.

Área	COT		F1		F2		F3		F4	
	S	C	S	C	S	C	S	C	S	C
Cerradão	25,45	22,30	2,63	5,75	5,00	3,50	7,50	6,25	2,25	3,00
pasto/milho	14,80 Ab	17,57 Aa	3,38 Bb	4,63 Aa	4,63 Aa	2,87 Ab	3,37 Aa	2,81 Aa	1,13 A	1,44 A
milho/algodão	13,926 ABa	16,12 Aa	3,88 ABb	4,81 Aa	2,25 Ba	2,69 Aa	3,00 Aa	2,25 Aa	1,38 A	1,19 A
algodão/soja	11,96 Ba	1,23 Ba	5,13 Aa	4,13 Ab	1,25 Ba	1,50 Aa	2,50 Aa	2,25 Aa	1,25 A	0,75 A
	CV(1)=13,30		CV(1)= 26,67		CV(1)= 49,89		CV(1)= 44,88		CV(1)= 63,94	
	CV(2)=13,31		CV(2)= 14,70		CV(2)= 37,62		CV(2)= 57,69		CV(2)= 58,13	

Valores seguidos por letras maiúsculas iguais na coluna e minúsculas iguais na linha não diferem significativamente pelo teste t de Bonferroni a 5%. S: época seca e C: época chuvosa. CV(1)=coeficiente de variação entre áreas (%), CV(2)= coeficiente de variação entre épocas de avaliação (%).

Em estudo da macrofauna edáfica apresentado no Capítulo II, foi verificado que nas áreas produtivas a densidade de Isoptera foi muito reduzida e até mesmo inexistente em algumas áreas, enquanto na área de Cerradão foram encontradas densidades de 363 e 1851 indivíduos m^{-2} respectivamente, nas épocas seca e chuvosa. Isoptera poderia estar atuando como agente humificador da matéria orgânica na área de Cerradão (Figura 8), e por isso maiores teores de F3 e F4 em relação à F1 e F2. Este padrão somente foi verificado na área de Cerradão, visto que nas áreas produtivas Isoptera é controlado pelo manejo. A falta deste no sistema pode estar propiciando a não estabilização da MOS nas frações F3 e F4. Esta afirmativa é confirmada quando se avaliam os teores de COT, as áreas produtivas possuem menores teores em comparação ao Cerradão, assim a decomposição e a humificação da MOS não está sendo completa sugerindo que está havendo perdas de carbono.

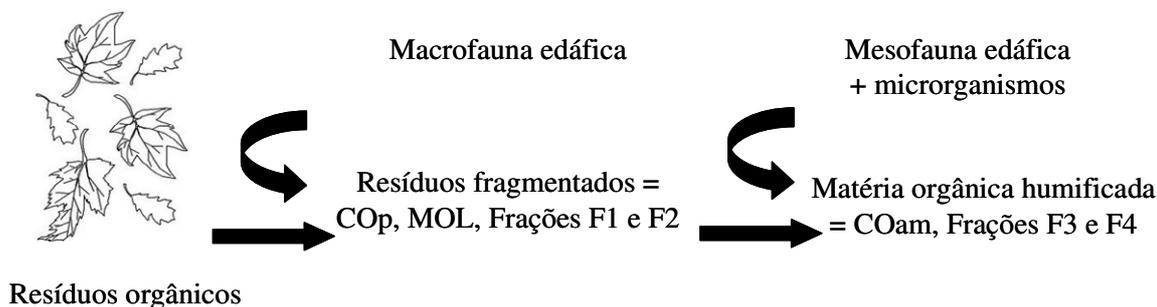


Figura 8. Dinâmica de decomposição da matéria orgânica adicionada nas diferentes áreas.

A fração F2 se mostrou sensível à variação sazonal na área de pasto/milho. Esta diferença ocorreu nas três profundidades avaliadas, podendo ser atribuída à grande quantidade de raízes que as gramíneas depositam em profundidade quando submetidas à pastejo. Portanto, na época seca foi depositada uma maior quantidade de carbono ao solo, mas este somente passou pelo processo de decomposição com o aumento da atividade biológica, que foi favorecida na época chuvosa. Analisando os teores de COT pode-se observar que não ocorreu variação sazonal, enfatizando assim a necessidade de se analisar os compartimentos da MOS, para o melhor entendimento da sua dinâmica, já que as frações, por representarem etapas, podem apresentar maior sensibilidade a diferentes coberturas vegetais e ambientes. Estudando MOS em ILP associado ao SPD, e avaliando diferentes intensidades de pastejo em um Latossolo no Rio Grande do Sul, Souza (2008) verificou maior atividade biológica na área de pasto em detrimento a áreas de SPD. O autor atribui os resultados a influência do enraizamento das gramíneas submetidas à intensidade de pastejo no máximo moderada.

A sazonalidade influenciou na distribuição dos teores de carbono. O padrão da distribuição das frações oxidáveis diferiu entre época seca e chuvosa. Na época chuvosa foram verificadas maiores proporções do COT nas frações F1 + F2. O maior crescimento radicular na época chuvosa da vegetação herbácea pode ter favorecido o aumento destas frações nesta área.

Nos modelos de simulação da dinâmica da MOS, a fração F4 apresenta um tempo de reciclagem de até 2000 anos (Chan et al., 2001). Tal fato evidencia o acúmulo de compostos orgânicos de maior estabilidade química e alto peso molecular, oriundos da decomposição e humificação da MOS (Rangel, 2007). Desta forma, verifica-se a importância da adaptação do manejo dos sistemas de cultivo para a máxima recuperação possível em relação à área de referência. A fração F4 se mostrou pouco sensível às mudanças de ambiente, não apresentando diferença nos teores entre áreas e épocas de avaliação, confirmando assim que se trata de um compartimento da MOS muito estável, independente de cultura e sazonalidade.

Pela decomposição da variabilidade através da análise multivariada de redundância (RDA), verifica-se que as variáveis ambientais (áreas, profundidade e épocas de avaliação) explicam 52,4% de toda a variabilidade dos diferentes compartimentos da MOS. Pode-se observar na Figura 9 que o carbono nas diferentes frações estudadas, está mais associado à área de vegetação nativa, visto que este é um ambiente não antropizado, ou seja, o processo de decomposição da matéria orgânica não é acelerado nem retardado pelo manejo. A variação entre áreas está explicando 18,5% de toda variabilidade dos compartimentos da MOS.

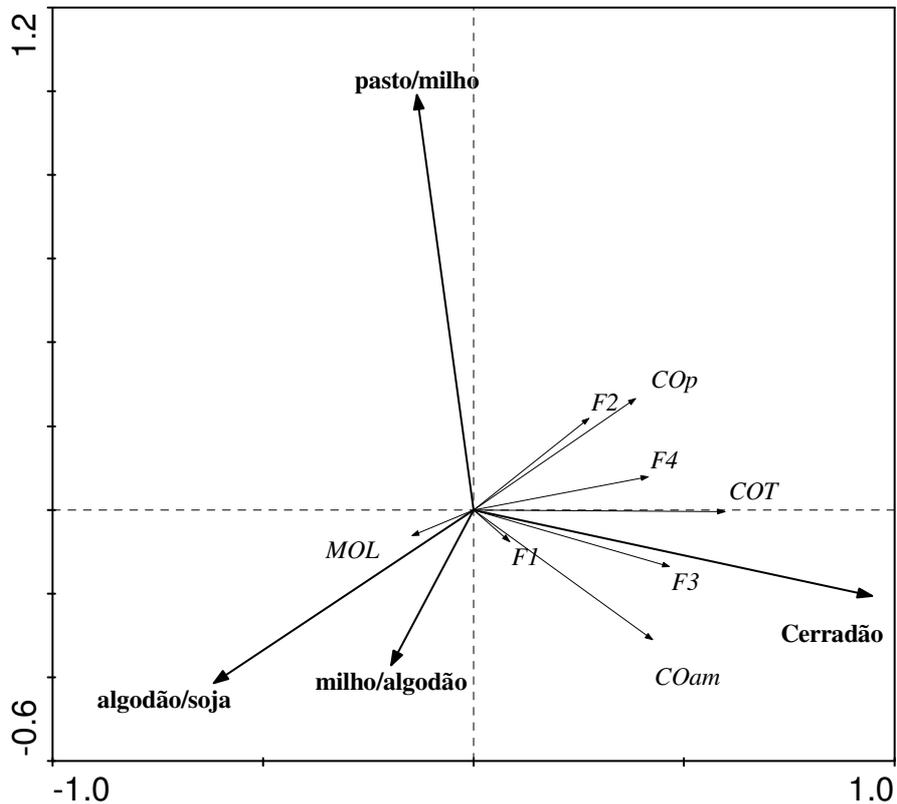


Figura 9. Diagrama resultante da Análise de Redundância (RDA) das diferentes formas e frações de carbono do solo em função das áreas avaliadas. Sendo COT: carbono orgânico total, COP: carbono orgânico particulado, COam: carbono orgânico associado aos minerais, MOL: matéria orgânica leve em água, F1, F2, F3 e F4: frações oxidáveis da matéria orgânica. Valor de explicação do Eixo 1: 79,7 % e Eixo 2: 96,5 %.

Na Figura 10 pode-se observar as diferentes frações de carbono em função da variabilidade sazonal. As frações de carbono estiveram mais associadas à época seca de avaliação. Tal fato deve-se à redução da atividade biológica nesta época. Na época chuvosa, de maneira inversa, o aumento da umidade e temperatura, proporcionou condições para maior atividade biológica, sendo observada uma tendência de redução dos teores de carbono. A variação sazonal explicou 4% de toda variabilidade dos compartimentos da MOS.

Na Figura 11 pode-se observar a variação das diferentes frações de carbono em função das profundidades de avaliação. As frações de carbono estão mais associadas à profundidade de 0-10 cm, visto que nesta ocorre deposição constante de material vegetal, além da maior atividade biológica responsável pela decomposição deste material. A variação da profundidade está explicando 30% de toda variabilidade dos compartimentos da MOS.

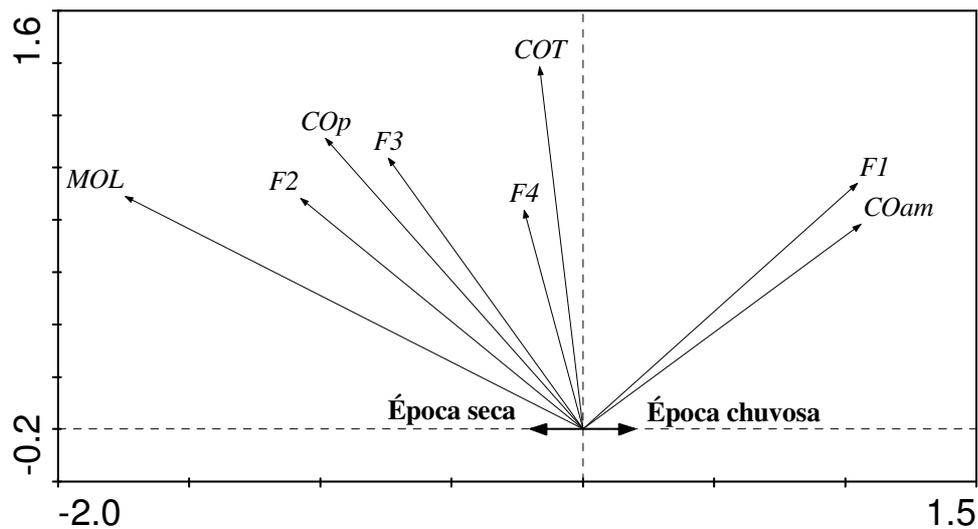


Figura 10. Diagrama resultante da Análise de Redundância (RDA) das diferentes formas e frações de carbono do solo em função das épocas de avaliação. Sendo COT: carbono orgânico total, COp: carbono orgânico particulado, COam: carbono orgânico associado aos minerais, MOL: matéria orgânica leve em água, F1, F2, F3 e F4: frações oxidáveis da matéria orgânica. Valor de explicação do Eixo 1: 100,0 % e Eixo 2: 0,0 %.

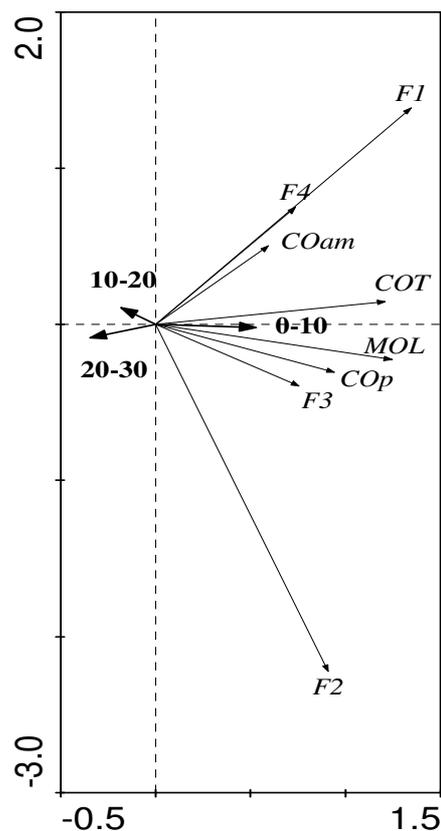


Figura 11. Diagrama resultante da Análise de Redundância (RDA) das diferentes formas e frações de carbono do solo em função das profundidades de avaliação. Sendo COT: carbono orgânico total, COp: carbono orgânico particulado, COam: carbono orgânico associado aos minerais, MOL: matéria orgânica leve em água, F1, F2, F3 e F4: frações oxidáveis da matéria orgânica. Valor de explicação do Eixo 1: 98,5 % e Eixo 2: 100,0%.

2.6. CONCLUSÕES

A dinâmica do complexo sortivo se mostrou sensível à sazonalidade, visto que esta influencia diretamente no fluxo de água, alterando a concentração e disponibilidade de nutrientes.

As variações no conteúdo da MOS foram influenciadas pela sazonalidade, sendo que a compartimentalização da MOS pode ser utilizada para avaliação da qualidade do manejo. Os compartimentos mais sensíveis foram o COp no fracionamento granulométrico e as frações F1 e F2 na avaliação das frações oxidáveis.

Isoptera pode estar atuando como agente humificador da matéria orgânica na área de Cerradão, contribuindo para maiores teores de F3 e F4 em relação à F1 e F2 na época seca. Este padrão somente foi verificado na área de Cerradão, visto que nas áreas produtivas a população de Isopteras é controlada pelo manejo.

Tornam-se necessários estudos sobre os compartimentos da MOS em sistemas ILP para melhor compreensão da sua dinâmica, visto que somente o COT não foi suficiente como indicador da eficiência do manejo adotado.

3. CAPÍTULO II

MACROFAUNA EDÁFICA COMO INDICADORA DA QUALIDADE DO SOLO

3.1. RESUMO

Os organismos do solo possuem natureza dinâmica, sendo facilmente afetados pelo manejo agrícola. O trabalho foi desenvolvido na Fazenda Cabeceira, Maracajú-MS, em áreas de integração lavoura-pecuária (ILP). As áreas avaliadas foram: Cerradão, pasto/milho, milho/algodão e algodão/soja, sendo realizadas avaliações nas épocas seca (maio/2009) e chuvosa (março/2010), com o objetivo de avaliar os reflexos do sistema integração lavoura pecuária (ILP) e sazonalidade sob a comunidade da macrofauna edáfica. Para avaliação da macrofauna edáfica foi utilizado o método recomendado pelo Programa Tropical Soil Biology and Fertility. Os dados de densidade não atenderam as pressuposições da análise paramétrica, sendo as comparações feitas por análise não paramétrica com o emprego do teste de Kruskal Wallis, sendo também realizada a análise de redundância. De maneira geral, a cultura instalada no momento das avaliações e os resíduos vegetais da cultura anterior influenciaram na estrutura da comunidade da macrofauna edáfica, devido aos diferentes teores de nutrientes que disponibilizam na decomposição. Outros fatores de relevância foram a profundidade de amostragem que limita a disponibilidade de alimentos e locomoção e a sazonalidade que influencia principalmente nos teores de água no solo, onde na época chuvosa ocorreu aumento na densidade da macrofauna edáfica em todas as áreas, exceto na área de algodão/soja. Na área de pasto/milho na profundidade de 0-10 cm, o aumento do número de indivíduos na época chuvosa, foi atribuído a maior ocorrência de Oligochaetas que representavam 85% dos indivíduos, sendo que 28% de toda a variabilidade destes indivíduos foi atribuída à umidade do solo e sazonalidade. A maior densidade de indivíduos, riqueza média e riqueza total foram encontradas na área de Cerradão nas duas épocas de avaliação, contudo não lhe conferiu maiores índices de diversidade e equabilidade, devido à dominância de grupos, principalmente Isoptera. As áreas com maior equabilidade foram: milho/algodão na época seca e algodão/soja na época chuvosa, com índices de Pielou de 0,75 e 0,80 respectivamente, ambas apresentaram também elevadas riqueza total (17 e 14) e baixa dominância de grupos.

Palavras-chave: Bioma cerrado. Fauna do solo. Indicadores biológicos

3.2. ABSTRACT

Soil organisms are dynamic in nature and easily affected by agricultural management. This study was conducted in the integrated crop-livestock (ICL) areas of Cabeceira Farm, Maracajú, State of Mato Grosso do Sul, Brazil. The areas evaluated were: Cerradão woodland, pasture/corn, corn/cotton and cotton/soybean rotations. Evaluations were carried out in the dry season (May 2009) and the rainy season (March 2010) to assess impact of the integrated crop-livestock (ICL) system and seasons of sampling on edaphic macrofauna community. The edaphic macrofauna was evaluated using the method recommended by Tropical Soil Biology and Fertility Programme. The density data did not meet the required parametric analysis conditions, thus comparisons were made by non-parametric analysis using the Kruskal Wallis test. Redundancy analysis was also conducted. In general, the structure of the edaphic macrofauna community was influenced by crops at the time of evaluations, and the mulching from previous cultivation, due to different levels of nutrients made available by decomposition. Other relevant factors were sampling depth, which limited availability of food and movement, and seasonal variations, which principally influenced soil water content. In the rainy season, the density of edaphic macrofauna increased in all areas, except for the cotton/soybean area. The increase in number of individuals in the pasture/corn area, at 0-10 cm layer and during the rainy season was attributed to greatest occurrence of Oligochaeta, which represented 85% of the individuals, with 28% of total variability of these individuals being attributed to soil water content and seasonal variations. The greatest density of individuals, mean richness and total richness were found in Cerradão woodland area, for both evaluation periods, but this did not confer higher diversity and evenness indices, because some groups dominated, principally Isoptera. The areas with greatest evenness were: the corn/cotton area, in dry season, and the cotton/soybean area, in rainy season. The Pielou index values were of 0.75 and 0.80, respectively, both having high levels of total richness (17 and 14) and low group dominance.

Key words: Cerrado bioma. Soil fauna. Biological indicators.

3.3. INTRODUÇÃO

Com a crescente expansão da agricultura, se torna necessário o estudo sobre os impactos e modificações que as práticas agrícolas promovem ao meio ambiente, visto que alteram a cobertura vegetal e conseqüentemente a fertilidade do solo. Grande parte dessas alterações é decorrente da utilização de insumos químicos e maquinário agrícola pesado, promovendo modificações no ambiente.

Contudo, práticas conservacionistas vêm sendo introduzidas nos sistemas de produção, podendo ser destacadas o plantio direto, o sistema integração lavoura-pecuária e até mesmo o sistema lavoura-pecuária-floresta. No caso do sistema integração lavoura-pecuária, a palhada e a adubação de culturas comerciais melhoram a qualidade da pastagem com um menor ônus ao produtor, principalmente em áreas cerrado brasileiro, onde grande parte das pastagens se encontra em diferentes estádios de degradação (Kluthcouski & Yokoyama, 2003).

As mudanças no ambiente edáfico, em função das práticas adotadas, podem alterar os atributos físicos, químicos e biológicos (Kimpe & Warkentin, 1998). A fauna do solo, um atributo biológico, pode ser definida como invertebrados que vivem no solo ou passam um ciclo da vida no mesmo.

Estes invertebrados possuem hábitos alimentares, formas e funções diferentes, podendo ser predadores, herbívoros, fitófagos, micrófagos ou saprófagos, o que resulta em uma cadeia altamente complexa e dependente da interface solo-serapilheira. Contudo, alterações nessa interface podem alterar a estabilidade biológica do solo, o que tende a gerar alteração na taxa dos processos naturais do solo, como a ciclagem de nutrientes, de suma importância em ambientes tropicais.

Em função de serem sensíveis às modificações decorrentes do manejo adotado, esses organismos conseguem refletir mudanças no ambiente através do seu comportamento, densidade e diversidade, o que os torna indicadores da qualidade do solo (Lavelle, 1997).

Esse capítulo tem como objetivo avaliar os reflexos do sistema ILP e sazonalidade sob a comunidade da macrofauna edáfica.

3.4. REVISÃO DE LITERATURA

3.4.1. Atributos biológicos

O conjunto de organismos do solo possui natureza dinâmica, sendo facilmente afetada por distúrbios físicos, causados pelo cultivo, ou químicos, resultantes da aplicação de fertilizantes e pesticidas (Kimpe & Warkentin, 1998).

É reconhecido que os organismos edáficos conduzem os processos do solo em determinados domínios funcionais. Sobretudo no solo, a macrofauna é um importante regulador das funções edáficas, sendo um indicador sensível da qualidade do solo (Lavelle, 2003). A meso e macrofauna do solo desenvolvem principalmente funções detritívoras e predatórias nas teias tróficas do solo, associadas assim a processos de ciclagem de nutrientes, revolvimento do solo, incorporação de matéria orgânica e controle biológico de pragas do solo (Melo et al., 2009).

Segundo Bunning & Jiménez (2003), é necessário o emprego de indicadores biológicos para entender o papel e a importância desses organismos do solo, no fornecimento de serviços essenciais e os impactos positivos e negativos que as novas tecnologias causam, pois práticas agrícolas convencionais usadas para garantir a segurança alimentar causam pressão sobre a capacidade de uso do solo para manter suas funções.

3.4.2. Fauna do solo

Invertebrados do solo são mediadores chave da função edáfica, dentre essas funções está a construção e manutenção da porosidade estrutural e de agregação do solo através da construção de galerias, controle de comunidades microbianas e de algumas pragas e doenças. Estão envolvidos em várias funções devido a diversidade de processos nos ecossistemas em que eles participam (Decaëns et al., 2003). A atividade da fauna do solo tem grande efeito sobre a matéria orgânica e agregação. Alguns invertebrados como minhocas e cupins, participam do processo de ingestão de terra e resíduos vegetais, promovendo alterações na agregação do solo pela formação de galerias e coprólitos (Lavelle, 1996). Essas são estruturas biogênicas que podem atuar como incubadoras de atividade microbiana ou microsítios de seqüestro de carbono e nutrientes (Blanchart et al, 1999).

A fauna do solo está intimamente associada aos processos de decomposição e ciclagem de nutrientes, assim ela influencia a mineralização e a humificação do material orgânico, processos fundamentais para manutenção da produtividade dos ecossistemas naturais e agrícolas (Correia, 2002). Segundo Blanchart et al. (2006), a preservação da cobertura vegetal e organismos decompositores podem contribuir para a sustentabilidade da produtividade do sistema agrícola, sendo a fauna do solo, ao mesmo tempo, agente transformador e refletor das características físicas, químicas e biológicas dos solos.

A sensibilidade dos invertebrados do solo aos diferentes manejos reflete o quanto uma determinada prática pode ser considerada ou não conservativa do ponto de vista da estrutura e fertilidade do solo. Essa característica justifica a utilização da fauna de solo como indicadora das modificações do ambiente (Correia, 2002).

Estudos em biologia do solo têm utilizado a abundância, a diversidade e estrutura da comunidade da macrofauna como indicadores do funcionamento e qualidade dos solos em agroecossistemas, contribuindo em importantes processos no solo, determinando parâmetros de fertilidade do mesmo (Lavelle, 1997) e ajudando na compreensão da dinâmica da estrutura e fluxo de nutrientes no solo (Blanchart et al, 2006).

Em estudo em ambiente de Cerrado, Silva et al. (2006) observaram que a densidade e riqueza de grupos da comunidade invertebrada de solo mostraram-se parâmetros sensíveis ao impacto de diferentes sistemas de produção, possibilitando a sua indicação como ferramenta importante para aplicá-la como bioindicador da qualidade do solo. No mesmo bioma, Marchão et al. (2008) observaram que a agricultura intensiva mesmo em sistemas conservacionistas como SPD e ILP, ocasiona uma perda significativa na densidade da macrofauna em relação à condição original observada na área de vegetação de Cerrado nativo, mostrando-se assim sensível ao manejo. Em contrapartida, em SPD e ILP, a cobertura do solo favorece o acúmulo de matéria orgânica, impedindo a redução da abundância e diversidade da macrofauna do solo, favorecendo dessa forma a atividade dos organismos “engenheiros do ecossistema” (Barros et al.2004).

No modelo proposto por Lavelle (2001), ao analisar o agroecossistema ou formas de utilização do solo, juntamente com matéria orgânica, estrutura física e a fauna edáfica, verifica-se uma interação entre esses fatores de forma que indiretamente a prática de manejo interfere na fauna edáfica. Os efeitos diretos para a fauna do solo são relativos à qualidade nutricional e às possibilidades de recolonização de habitats desfavoráveis a partir de habitats favoráveis. Essas condições favoráveis advem da utilização de manejos conservacionistas e, enquanto que, condições de micro-habitat desfavoráveis são induzidas por práticas de manejo, tais como: o revolvimento do solo e a aplicação de agrotóxicos. A fauna edáfica afeta a produção vegetal devido a sua atividade, porque é um fator regulador importante para a formação da matéria orgânica e a ciclagem de nutrientes, controla certos parasitas como nematóides, e produz estruturas biogênicas que influenciam as propriedades físicas do solo.

3.5. MATERIAL E MÉTODOS

As áreas foram as mesmas descritas no Capítulo I, assim como o desenho amostral, já que o ponto amostral para macrofauna era adjacente ao ponto amostral para os atributos químicos do solo. A comunidade da macrofauna do solo foi avaliada a partir do método de monólitos de solo recomendado pelo Programa Tropical Soil Biology and Fertility (TSBF) descrito por Anderson & Ingram (1993). Dessa forma, em cada área de estudo foram coletadas seis repetições, sendo a área amostral delimitada por uma sonda metálica de 25 cm x 25 cm de largura (Figura 12) sendo coletada a serapilheira ou palhada e as amostras de terra nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-30 cm de profundidade.

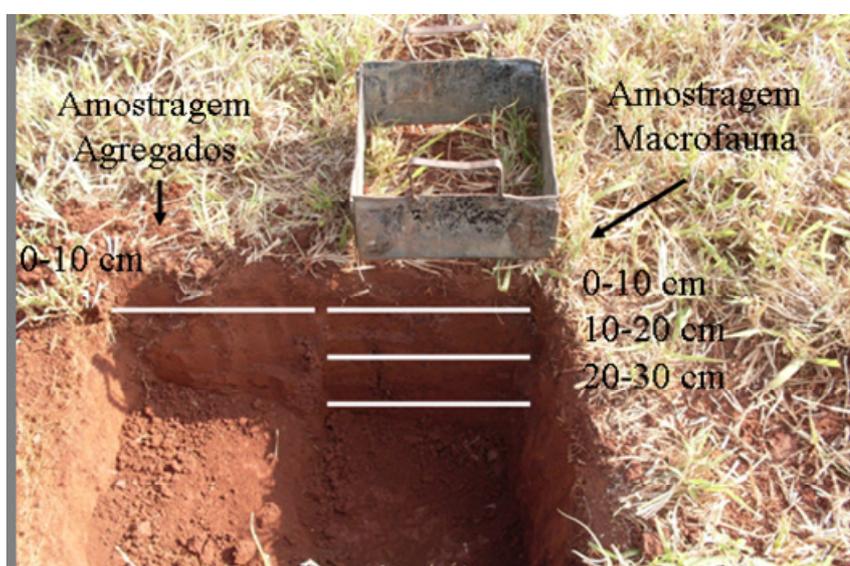


Figura 12. Amostragem da macrofauna do solo, pelo método TSBF.

Ainda em campo, foi feita a separação manual da macrofauna (visível a olho nu) contida nas sub-amostras, sendo os indivíduos fixados em solução de álcool 70%. Em laboratório, se procedeu a contagem e identificação ao nível de grandes grupos taxonômicos, em geral ordens, de acordo com as descrições fornecidas por Costa (1988), Csiro (1991) e Dindal (1990).

As comparações das comunidades das diferentes áreas foram feitas mediante a utilização da riqueza total, que é número de grupos presentes em cada área, riqueza média que é o número médio de grupos presentes em cada amostra e o índice de equabilidade de Pielou.

Índice de Shannon (H) = $-\sum p_i \cdot \log p_i$

em que $p_i = n_i/N$;

n_i = densidade de cada grupo;

N = somatório do número de indivíduos m^{-2}

Índice de Pielou: $H \cdot \log S^{-1}$

em que S = Riqueza total

De acordo com Melo (2008), a riqueza e a equabilidade avaliam aspectos diferentes da diversidade e apresentam um bom padrão de resposta para comparações de diferentes situações ambientais.

3.5.1. Análise estatística

Em cada profundidade, para a densidade total e dos grupos mais importantes, assim como para a riqueza média, foi feita uma avaliação da normalidade dos dados pelo Teste de Lilliefors e de homogeneidade das variâncias dos erros pelo Teste de Cochran & Bartlett, no programa SAEG. Os dados não se apresentaram normais e homogêneos, optando-se dessa forma pela utilização do Teste não paramétrico de Kruskal Wallis (Zar, 1996).

Com o objetivo de se verificar a ocorrência de um gradiente de qualidade do solo, foi realizada uma análise multivariada, denominada de Análise de Redundância (Redundancy Analysis ou RDA) com o auxílio do programa CANOCO 4.5.

Foi realizado o procedimento de partição da variabilidade, que segundo Leps & Smilauer (1999), permite quantificar os efeitos e suas sobreposições de dois ou mais grupos de variáveis ambientais (ou independentes) sobre um conjunto de variáveis dependentes. No caso deste estudo consideram-se como variáveis independentes, os seguintes conjuntos: as áreas avaliadas, as épocas de avaliação e as profundidades de amostragem do solo.

3.6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A sazonalidade mostrou-se como um fator importante de alteração na densidade e diversidade. Observou-se uma menor densidade total de indivíduos ($1.083 \text{ indivíduos m}^{-2}$) e riqueza total (17 grupos) na época seca, enquanto na época chuvosa, a densidade total mais que dobrou ($2.355 \text{ indivíduos m}^{-2}$) e a riqueza total apresentaram pequeno incremento (18 grupos) na área de Cerradão. Os índices ecológicos para as áreas de estudo nas duas épocas são apresentados na Tabela 18. As variações sazonais podem ser consequência de uma maior disponibilidade de recursos alimentares e a presença de micro-habitats que são formados, favorecendo assim uma maior riqueza total de grupos.

Lourente et al. (2007) também verificaram uma maior riqueza de grupos em área de mata nativa, atribuindo essa riqueza ao maior equilíbrio e diversidade da vegetação desse ecossistema. Esse padrão também foi verificado por Silva et al. (2006), que em estudos da macrofauna invertebrada do solo sob diferentes sistemas de produção em Latossolo da região do Cerrado, verificaram que na vegetação nativa ocorreu uma maior densidade total e diversidade de grupos. Os autores atribuíram esse resultado ao ambiente mais favorável em termos de variedade de micro-habitats e oferta de recursos.

Tabela 18. Densidade total da macrofauna edáfica (ind m^{-2}) e índices ecológicos.

Época seca				
Áreas	Ind m-2	Riqueza média	Riqueza total	Índice de Pielou
Cerradão	1083 ± 305	9,0	17	0,65
pasto/milho	445 ± 287	2,8 B	8	0,25
milho/algodão	640 ± 205	7,7 A	17	0,75
algodão/soja	477 ± 130	5,5 AB	13	0,65
Época chuvosa				
Áreas	Ind m-2	Riqueza média	Riqueza total	Índice de Pielou
Cerradão	2355 ± 1639	9,0	18	0,33
pasto/milho	691 ± 116	5,0 A	12	0,47
milho/algodão	984 ± 487	5,7 A	12	0,57
algodão/soja	341 ± 98	6,0 A	14	0,80

Valores seguidos por letras maiúsculas iguais na coluna e não diferem significativamente pelo teste Kruskal Wallis.

Analisando o índice Pielou, a área de milho/algodão apresentou o maior valor na época seca. Como a densidade é intermediária e a riqueza é elevada, não há dominância de grupos, resultando dessa forma nos maiores valores de Pielou nesta área. Os grupos mais expressivos foram: Formicidae, Oligochaeta, Diplopoda e Coleóptera (Figura 13).

Na época chuvosa, a área que apresentou o maior valor para o índice de Pielou foi algodão/soja, com baixa densidade de indivíduos e elevada riqueza de grupos (Figura 14).

Nas duas épocas de avaliação, para a área de Cerradão não foram verificados os maiores valores de equabilidade, decorrente da predominância de Formicidae e Isoptera, que juntos somam 75% da média dos indivíduos nessa área para a época seca. Na época chuvosa, Formicidae e Isoptera representaram 91% da média de indivíduos encontrados. Em estudo de diferentes sistemas de cobertura do solo no Cerrado, Silva et al. (2007) encontraram elevada densidade de Isoptera na área de vegetação nativa. Os elevados valores de densidade para essa área podem ser decorrentes das práticas culturais empregadas nas culturas comerciais, que

eliminam organismos como cupins e formigas, promovendo menores valores em comparação a área de vegetação nativa onde esse controle não é realizado.

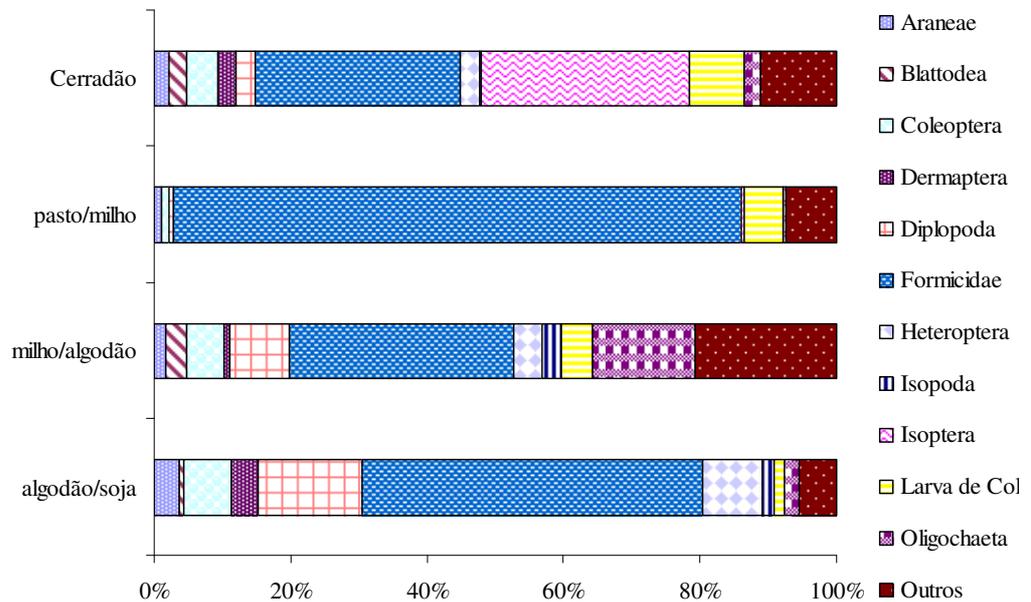


Figura 13. Distribuição dos grupos da macrofauna edáfica nas diferentes áreas de estudo na época seca.

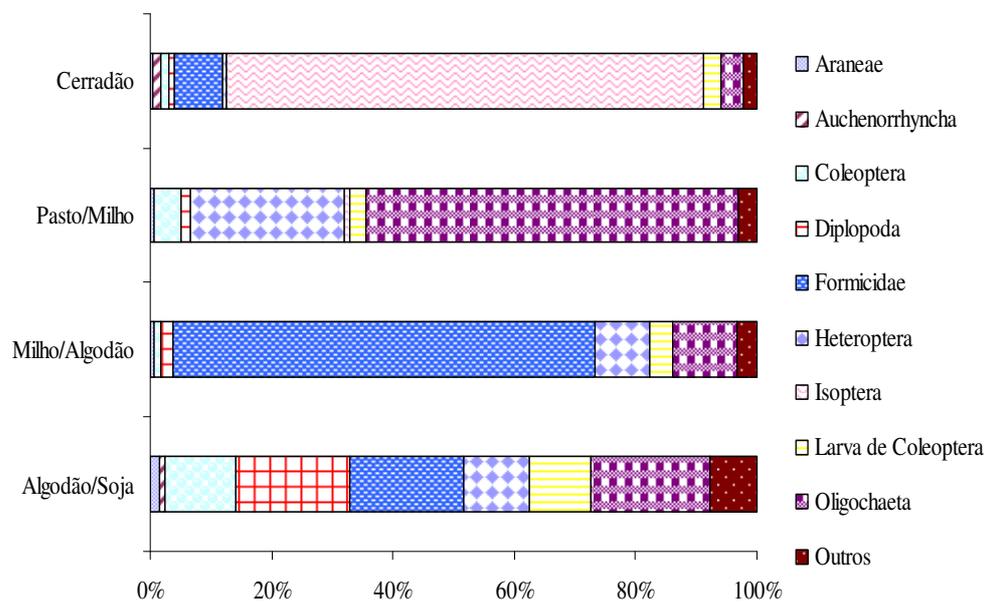


Figura 14. Distribuição dos grupos da macrofauna edáfica nas diferentes áreas de estudo na época chuvosa.

A área de milho/algodão na época seca e a de algodão/soja na época chuvosa apresentaram os maiores valores de equabilidade. Na época seca, na área de milho/algodão, a cultura instalada era o milho e a cultura anterior soja. A influência da cultura anterior foi observada na palhada que estava na superfície, na qual se verificou material vegetal oriundo da soja. No momento da coleta na época chuvosa não havia cultura instalada na área algodão/soja, sendo identificados apenas os resíduos culturais da soja que havia acabado de

ser colhida. Resultados semelhantes foram encontrados por Marchão et al. (2009) em sistemas de integração lavoura-pecuária num Latossolo Vermelho do Cerrado, em que foi verificada preferência por colonização da macrofauna em ambientes com plantas leguminosas.

Para as profundidades estudadas, não foram verificadas diferenças significativas de densidade de indivíduos nas diferentes áreas de estudo ou em função da profundidade na época seca (Tabela 19). Na época chuvosa, somente ocorreram diferenças de densidade na profundidade de 0-10 cm, onde foi observada maior densidade de indivíduos para área de pasto/milho quando comparada com as demais áreas de produção. Também foram observadas diferenças significativas entre profundidades na mesma área e época de coleta, representando 67,7% (453) do total de indivíduos encontrados no solo.

Tabela 19. Densidade da macrofauna edáfica (indivíduos m⁻²) nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-30 cm.

Época seca			
	0-10	10-20	20-30
Cerradão	864 ± 300	107 ± 31	16 ± 7
pasto/milho	400 ± 284 A a	19 ± 8 A a	27 ± 18 A a
milho/algodão	363 ± 137 A a	99 ± 39 A a	160 ± 89 A a
algodão/soja	133 ± 60 A a	259 ± 120 A a	27 ± 15 A a
Época chuvosa			
	0-10	10-20	20-30
Cerradão	2013 ± 662	96 ± 43	69 ± 22
pasto/milho	453 ± 106 Aa	64 ± 28 Ab	152 ± 66 Aab
milho/algodão	216 ± 76 Aba	643 ± 395 Aa	109 ± 69 Aa
algodão/soja	136 ± 45 Ba	107 ± 53 Aa	53 ± 20 Aa

Valores seguidos por letras maiúsculas iguais na coluna e minúsculas iguais na linha não diferem significativamente pelo teste Kruskal Wallis.

O aumento da densidade na profundidade de 0-10 cm para a área pasto/milho pode ser atribuído à grande quantidade de *Oligochaeta* (minhocas) encontradas, representando 85% do total de indivíduos. Para a coleta na época seca na mesma área e profundidade, esse valor foi de 0,6%, demonstrando a influência da sazonalidade na macrofauna do solo, principalmente nos indivíduos pouco móveis como os *Oligochaeta*, promovendo alteração da densidade e da distribuição vertical dos indivíduos.

A expectativa é que um maior número de indivíduos esteja concentrado na camada de 0-10, o que tem sido observado em inúmeros trabalhos, o que foi verificado na área de Cerradão. Neste estudo ocorreram duas situações de inversão deste padrão. Na época seca, a área de algodão/soja apresentou na camada de 10-20 cm, cerca do dobro do número de indivíduos que na camada de 0-10. Essa diferença, que não foi significativa, é fruto da elevada concentração de indivíduos de *Formicidae* em duas das amostras. Padrão inverso foi observado na época chuvosa para a área de milho/algodão, onde ocorreu o mesmo.

A duração da estação seca é uma das hipóteses para explicar a baixa ocorrência de *Oligochaeta* no Cerrado (Benito et al., 2004), estando associado a esse fator a baixa disponibilidade de água e nutrientes, em especial no período seco. Na Figura 15 é apresentada a análise de RDA, onde verifica-se que os *Oligochaeta* estão relacionados com os maiores valores de carbono orgânico total (COT), nas formas de carbono orgânico associado aos minerais (COam) e frações oxidáveis da matéria orgânica, sendo F1 a fração menos oxidável e F4 a mais oxidável. Esse resultado expressa que tanto o carbono representa uma disponibilidade de alimento, como também pode ser um dos efeitos da ação das minhocas.

Pela aplicação do procedimento de decomposição da variabilidade na análise de redundância, observou-se que as variáveis químicas e o teor de umidade do solo, estão explicando 30,5% de toda a variabilidade dos dados da fauna do solo.

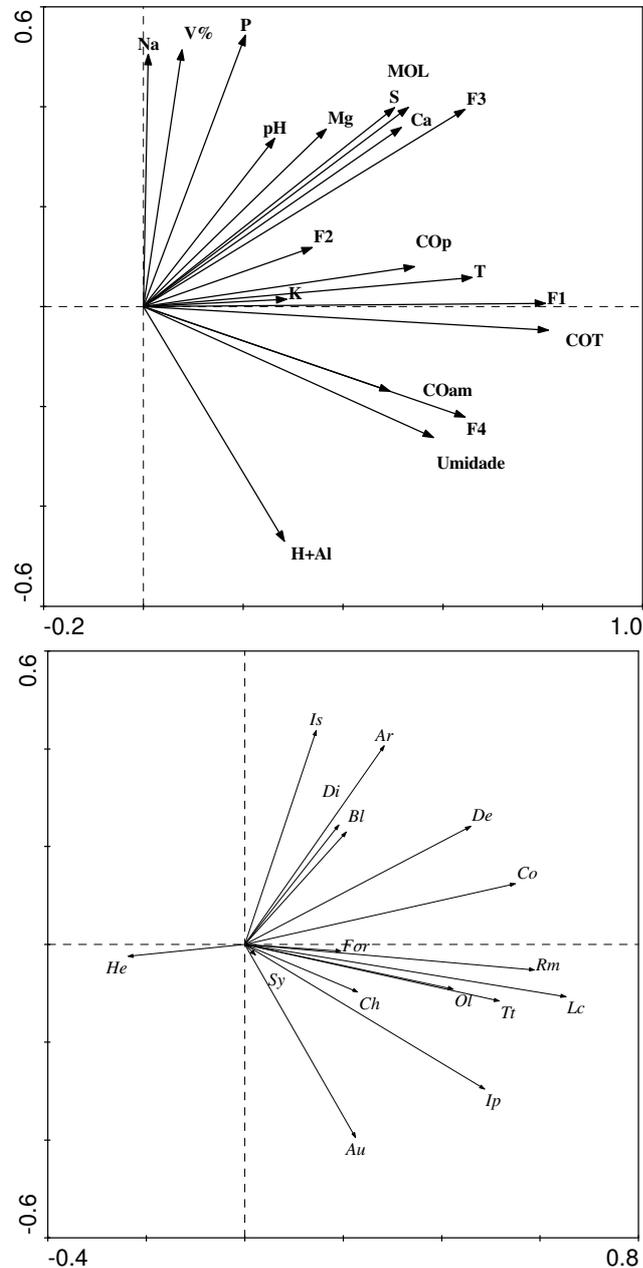


Figura 15. Análise de Redundância (RDA) da macrofauna do solo em função de variáveis químicas e umidade. Sendo COT: carbono orgânico total, COp: carbono orgânico particulado, COam: carbono orgânico associado aos minerais, MOL: matéria orgânica leve em água, F1, F2, F3 e F4: frações oxidáveis da matéria orgânica, Ar: Araneae, Au: Auchenorrhyncha, Bl: Blattodea, Ch: Chilopoda, Co: Coleoptera, De: Dermaptera, Di: Diplopoda, For: Formicidae, He: Heteroptera, Is: Isopoda, Ip: Isoptera, Lc: Larvas de Coleoptera, Ol: Oligochaeta, Sy: Symphyla, Tt: Total e Rm: Riqueza média.

A grande quantidade de Oligochaeta encontradas na área de pasto/milho na época chuvosa pode ser explicada pelo teor de umidade do solo e pela maior densidade de raízes, observadas no campo, produzidas pela pastagem. Esta é, de acordo com Lavelle (1983), a

variável ambiental mais importante na distribuição e abundância deste grupo em solos tropicais. Analisando a Tabela 20, pode-se observar que essa área apresentou 28,8 g água/100g solo⁻¹ de umidade, sendo os teores de água, para a mesma época de avaliação, mais elevados em comparação aos das demais áreas de produção.

Tabela 20. Umidade do solo e serapilheira/palhada das áreas de estudo nas duas épocas de avaliação.

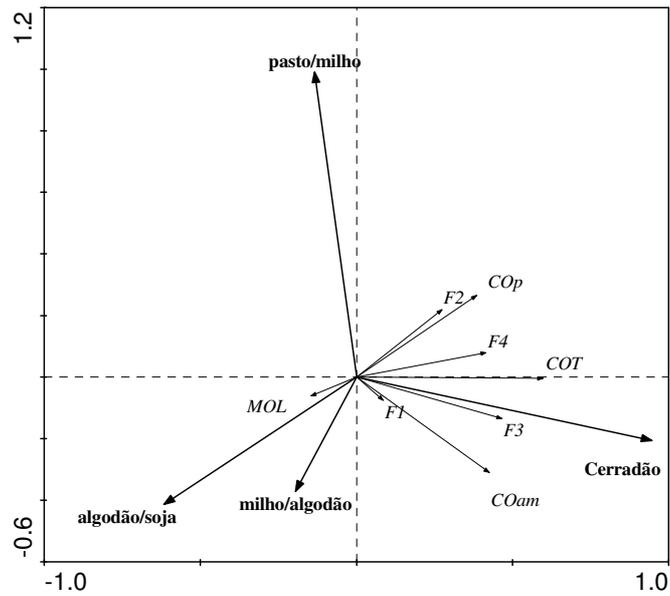
		Época seca		
	Serapilheira/palhada	0-10	10-20	20-30
	g água.100g material vegetal ⁻¹	-----g	água100g solo ⁻¹ -----	
Cerradão	53,5	29,0	27,3	26,0
pasto/milho	Na	23,7	19,4	19,6
milho/algodão	18,4	18,1	13,8	14,3
algodão/soja	17,9	16,8	10,9	12,4
		Época chuvosa		
	Serapilheira/palhada	0-10	10-20	20-30
	g água.100g material vegetal ⁻¹	-----g	água100g solo ⁻¹ -----	
Cerradão	93,3	34,7	33,6	38,9
pasto/milho	33,7	28,8	25,5	27,6
milho/algodão	96,1	24,1	23,3	21,1
algodão/soja	78,3	20,6	12,5	15,1

na= não avaliado.

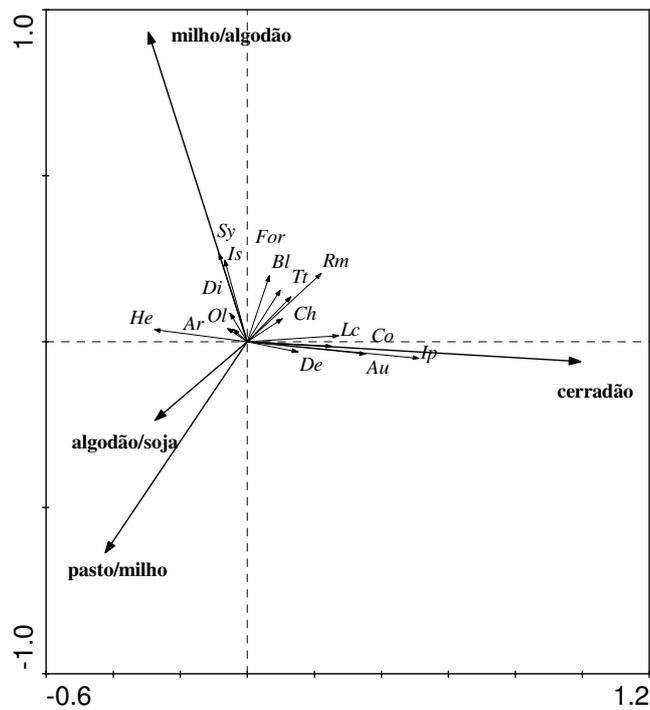
A área de Cerradão não foi comparada estatisticamente com os sistemas de produção, mas pode-se observar que a densidade de indivíduos foi superior às demais áreas na profundidade de 0-10 cm nas duas épocas de avaliação. Na época seca, ocorreu predominância da ordem Isoptera (cupins) sendo encontrados 360 indivíduos m⁻² e da Família Formicidae (formigas) 285 indivíduos m⁻² de um total de 864, representando assim 75% dos indivíduos para essa profundidade. O controle de pragas nas áreas produtivas pode estar influenciando na diminuição ou ausência de formigas e cupins.

Na Figura 16 é apresentada a análise de RDA, onde pode ser observado como a ordem Isoptera está relacionada com a área de Cerradão, com as diferentes formas de matéria orgânica, tais como: carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP), carbono orgânico associado aos minerais (COam) e frações oxidáveis da matéria orgânica, sendo F1 e F2 menos oxidáveis e F3 e F4 mais oxidáveis. Verifica-se que a área está explicando 7% de toda a variabilidade dos dados da fauna do solo e 18,5% de toda a variabilidade das diferentes formas e frações de carbono. Contudo, através da análise de RDA verifica-se que os Isoptera no ambiente Cerrado possuem preferência por áreas com elevados teores de matéria orgânica. Ainda na Figura 16 pode ser observado que a ordem Heteroptera se distancia dos demais grupos encontrados e da disponibilidade de alimento no ambiente solo, tal fato deve-se a esta ordem estar mais associado a partes vivas dos vegetais.

A presença de abrigos também contribui para a elevada densidade, assim como a umidade oferecida pela serapilheira (Tabela 20), que apresentava 53,5% de umidade na época seca, enquanto a área de algodão/soja para mesma época foi verificada umidade de 16,8%. Já na época chuvosa, o Cerradão apresentava 93,3% enquanto a área pasto/milho estava com 33,7% de umidade. Os maiores valores de umidade na camada superficial foram fundamentais para permanência da macrofauna.



(A)



(B)

Figura 16. Análise de Redundância (RDA) das diferentes formas e frações de carbono do solo em função das áreas avaliadas (A) e RDA da macrofauna do solo em função de áreas avaliadas (B). Sendo COT: carbono orgânico total, COp: carbono orgânico particulado, COam: carbono orgânico associado aos minerais, MOL: matéria orgânica leve em água, F1, F2, F3 e F4: frações oxidáveis da matéria orgânica, Ar: Araneae, Au: Auchenorrhyncha, Bl: Blattodea, Ch: Chilopoda, Co: Coleoptera, De: Dermaptera, Di: Diplopoda, For: Formicidae, He: Heteroptera, Is: Isopoda, Ip: Isoptera, Lc: Larvas de Coleoptera, Ol: Oligochaeta, Sy: Symphyla, Tt: Total e Rm: Riqueza média.

O padrão de densidade onde os maiores valores são encontradas em vegetação nativa, diferiram do encontrado por Marchão et al. (2006) que estudaram a macrofauna e agregação de um Latossolo Vermelho após 15 anos de implantação do ILP, em Planaltina-DF. Os autores observaram uma maior densidade de indivíduos nas áreas de ILP, segundo os mesmos, o sistema de integração, baseado no plantio direto e na rotação pastagens/leguminosas apresenta melhores condições biológicas, com maior biodiversidade, e em decorrência disso uma maior agregação. Estudando a macrofauna edáfica e sua interação com atributos químicos e físicos do solo sob diferentes sistemas de manejo: plantio convencional, plantio direto, vegetação nativa, eucalipto, ILP e pastagem contínua, Lourente et al. (2007) observaram maior densidade de indivíduos em áreas de pastagem contínua, ILP e vegetação nativa.

Avaliando a riqueza média entre as áreas nas diferentes profundidades estudadas (Tabela 21), foi verificada diferença estatística para a profundidade de 10-20 cm na época seca entre áreas, variando de 2,3 indivíduos m⁻² na área de algodão/soja a 0,8 indivíduos m⁻² na área de pasto/milho, não ocorrendo variação em profundidade para a época chuvosa. Foram observadas diferenças entre as épocas de avaliação somente na área de milho/algodão nas profundidades de 10-20 e 20-30 cm, ambas com maiores valores de riqueza na época chuvosa. Na profundidade de 20-30 cm a densidade de indivíduos foi maior na época seca (Tabela 19), contudo não foi verificada uma maior riqueza média, visto que dentre os 160 indivíduos encontrados, 133 indivíduos (83%) pertenciam à Família Formicidae.

Tabela 21. Riqueza média da macrofauna edáfica (indivíduos repetição-1) nas profundidades 0-10, 10-20 e 20-30 cm.

	0-10		10-20		20-30	
	S	C	S	C	S	C
Cerradão	6,3	2,3	3,0	2,7	1,0	2,0
pasto/milho	2,2 A a	3,5 Aa	0,8 B a	1,3 Aa	0,5 A a	1,7 Aa
milho/algodão	5,7 A a	4 Aa	2,0 AB b	2,8 Aa	1,5 A b	1,8 Aa
algodão/soja	4,3 A a	3,5 Aa	2,3 A a	2,3 Aa	0,8 A a	1,5 Aa

Valores seguidos por letras maiúsculas iguais na coluna e minúsculas iguais na linha não diferem significativamente pelo teste Kruskal Wallis. S: época seca e C: época chuvosa.

Na área de milho/algodão na época seca, 45 % dos indivíduos encontrados na camada de 0-10 cm foram Oligochaeta e Diplopoda e os mesmos representavam na área algodão/soja na época chuvosa 55% dos indivíduos encontrados nessa profundidade. Esses organismos possuem preferência alimentar por materiais vegetais que possibilitam rápida assimilação de nutrientes, e também apresentam elevada capacidade de decomposição da matéria orgânica, contudo esse pode ser mais um indicativo da qualidade da interface solo-palhada dessas áreas.

Os indivíduos apresentaram preferência por habitarem a camada superficial do solo em ambas as épocas de avaliação. Tal fato pode ser decorrente a essas áreas apresentarem uma maior quantidade de serapilheira/palhada sobre o solo. Esta preferência pode estar relacionada à disponibilidade de nutrientes e disponibilidade de abrigos. Dados de carbono orgânico total (COT) apontam que em todas as áreas ocorreu diminuição dos teores de COT em profundidade, assim como a umidade do solo (Tabela 20). Oligochaetas, por exemplo, são altamente dependentes dos teores de umidade do solo (Lavelle, 1983), o que pode ser comprovado através da análise da Figura 17 onde se observa a diminuição da densidade destes organismos em profundidade.

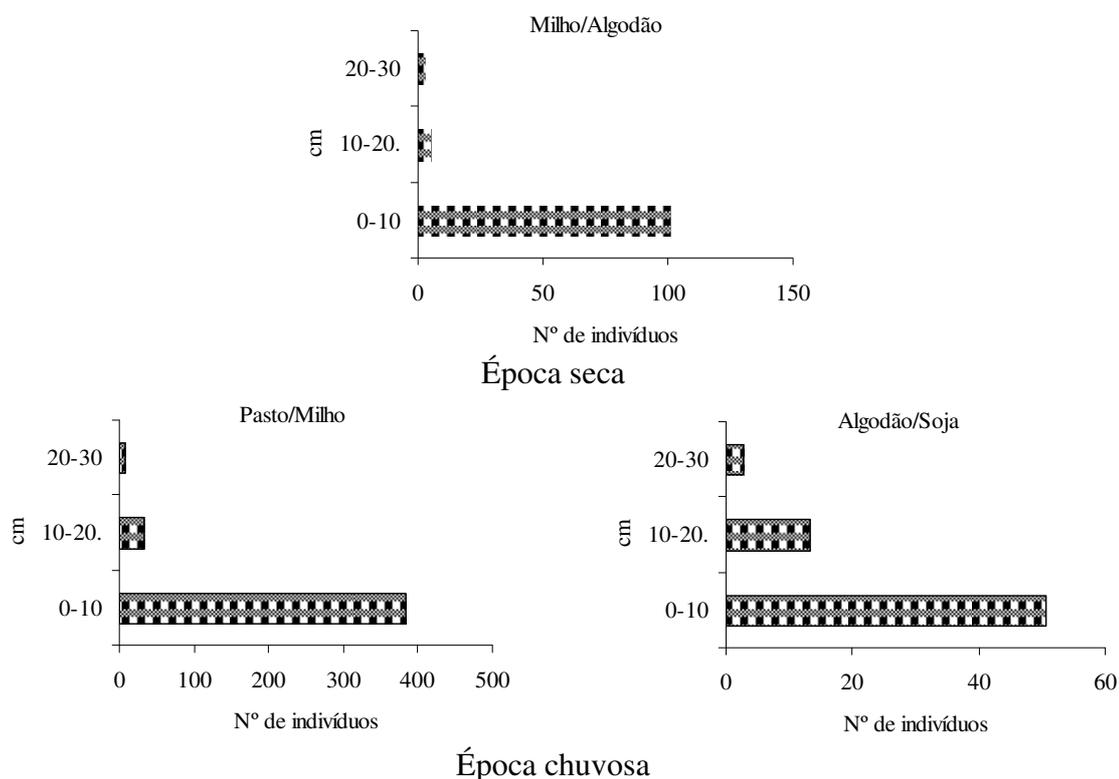


Figura 17. Densidade de Oligochaeta em profundidade nas diferentes épocas de avaliação.

Na Tabela 22 são apresentados os grupos da fauna do solo onde foram verificadas diferenças de médias influenciadas pela profundidade, são eles Diplopoda e Oligochaeta. Para ambos, os maiores valores densidade foram encontrados na profundidade de 0-10 cm, onde são observados os maiores teores de matéria orgânica e resíduos vegetais. Estes indivíduos, dentre outros grupos, são responsáveis pela transformação da serapilheira/palhada (Moreira et al., 2010), por isso a maior densidade ocorreu na camada superficial.

Tabela 22. Grupos da macrofauna edáfica que foram influenciados pela profundidade.

		Época Seca		
Áreas		0-10	10-20	20-30
milho/algodão	Diplopoda	61 A	3 AB	0 B
	Oligochaeta	101 A	5 AB	3 B
algodão/soja	Oligochaeta	4 A	2 AB	1 B
		Época chuvosa		
		0-10	10-20	20-30
pasto/milho	Oligochaeta	384 A	32 B	8 B
algodão/soja	Oligochaeta	51 A	13 AB	3 B

Valores seguidos por letras iguais na linha não diferem significativamente pelo teste Kruskal Wallis.

Foi verificada variação da densidade da macrofauna edáfica em função dos teores de nutrientes, áreas, profundidade e épocas de avaliação. Pode-se observar que o conjunto de todas as variáveis explica 37,7% de toda a variabilidade da macrofauna do solo. Os teores de nutrientes que incluem todos os nutrientes do complexo sortivo e os teores de carbono nas diferentes formas e frações que foram estudadas, explicam 30,5% de toda a variabilidade, as áreas explicam 7%, a profundidade 12,6% e época de coleta 2,7%. Somando-se toda a

variabilidade tem-se um valor de 52,8%, descontando-se a variabilidade total, tem-se o valor de 15,1%, que é a interação entre todos os componentes da variabilidade. Analisando a contribuição dos diferentes componentes da variabilidade pode-se observar que a participação da época de coleta foi baixa, mas está inclusa em outro componente que foi de extrema importância para a variabilidade total, que são os teores de nutrientes.

3.7. CONCLUSÕES

De maneira geral, a cultura instalada no momento das avaliações e os resíduos vegetais da cultura anterior influenciaram na estrutura da comunidade da macrofauna edáfica, assim como a sazonalidade, onde na época chuvosa ocorreu aumento na densidade da macrofauna edáfica.

Foi observada a sensibilidade de *Oligochaeta* quanto ao conteúdo de água no solo, profundidade e disponibilidade de alimento.

O teor de nutrientes foi o compartimento da variabilidade da macrofauna edáfica que mais influenciou na variabilidade total.

Na área de Cerradão ocorreu predominância da ordem Isoptera (cupins) nas duas épocas de avaliação, foi observado através da RDA que está relacionado com os diferentes compartimentos da MOS.

A macrofauna edáfica é um atributo biológico que pode ser utilizado como bioindicador da qualidade do solo, visto que é sensível às variações de propriedades químicas, como teor de nutrientes, e físicas como a profundidade e o conteúdo de água do solo.

4. CAPÍTULO III

ORIGEM DOS AGREGADOS DE SOLO SOB INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA NO CERRADO

4.1. RESUMO

Variações nos atributos físicos do solo podem ocorrer em função do manejo agrícola. O trabalho foi desenvolvido na Fazenda Cabeceira, Maracajú-MS, em áreas de integração lavoura-pecuária (ILP). As áreas avaliadas foram: Cerradão, pasto/milho, milho/algodão e algodão/soja, sendo realizadas avaliações nas épocas seca (maio/2009) e chuvosa (março/2010), com o objetivo de avaliar os reflexos do sistema integração lavoura pecuária (ILP) e sazonalidade na formação de diferentes vias de agregação. Para identificação das vias de agregação foram utilizados padrões morfológicos, sendo estabelecidos três tipos agregados: fisiogênicos, biogênicos e intermediários. Foi determinada a composição relativa dos diferentes tipos de agregados (%), a estabilidade destes, bem como a análise do complexo sortivo. Os dados atenderam às pressuposições da análise paramétrica e as comparações foram feitas com o emprego de teste t de Bonferroni à 5% de probabilidade. A textura influenciou na formação de agregados, sendo observado que o solo de textura média, da área algodão/soja foi o que apresentou menor quantidade de agregados biogênicos. Foram verificados elevados valores de diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados e diâmetro médio geométrico (DMG) dos agregados, não sendo observadas diferenças na estabilidade em função das vias de formação, efeito sazonal e cobertura vegetal. Os agregados biogênicos de forma geral, comparando-se apenas as vias de formação e épocas de avaliação, foram encontrados em menor quantidade em comparação aos fisiogênicos e intermediários. Os maiores teores de carbono orgânico total (COT) foi verificado nos agregados biogênicos na época seca e nos intermediários na chuvosa. Este padrão sugere que os agregados biogênicos da época seca foram aqueles que originaram os agregados intermediários da época chuvosa.

Palavras-chave: Agregação do solo. Matéria orgânica do solo. Manejo do solo

4.2. ABSTRACT

The soil physical attributes may vary as a function of agricultural management. This study was conducted in the integrated crop-livestock (ICL) areas of Cabeceira Farm, Maracajú, State of Mato Grosso do Sul, Brazil. The areas evaluated were: Cerradão woodland, pasture/corn, corn/cotton and cotton/soybean rotation. Evaluations were carried out in the dry season (May 2009) and the rainy season (March 2010) to assess impact of the integrated crop-livestock (ICL) system, and seasonal variation on formation of aggregated in different pathways. Morphological standards were used to identify the different aggregation pathways for three types of aggregates: physiogenic, biogenic and intermediate. The relative composition (%), and stability of the different types of aggregates were evaluated, and the sorption complex was characterized. The data met parametric analysis criteria and comparisons were made using the Bonferroni t-test at 5% probability. Texture influences aggregate formation and it was observed that the medium textured soil of the cotton/soybean area had the lowest quantity of biogenic aggregates. The values of aggregate mean weight diameter (WMD) and geometric mean diameter (GMD) were high, with no difference in stability as a function of formation pathways, seasonal variations or vegetation cover. When comparing only the aggregate formation pathways and seasons of the year, the biogenic aggregates were generally found in lower quantities than the physiogenic and intermediate aggregates. The greatest content of total organic carbon (TOC) was found in biogenic aggregates, in the dry season, and in intermediate aggregates, in the rainy season. This pattern suggests that biogenic aggregates in the dry season originated the intermediate aggregates in the rainy season.

Key words: Soil aggregation Organic matter. Soil management.

4.3. INTRODUÇÃO

Os solos do Cerrado brasileiro ultimamente vêm recebendo atenção por parte de pesquisadores devido à importância deste bioma tanto para a produção vegetal, quanto para a manutenção da biodiversidade. A ordem de solos predominante neste bioma é a dos Latossolos, que naturalmente apresentam como principais atributos, reduzido conteúdo de nutrientes, baixa capacidade de troca catiônica (Silva & Resck, 1997), elevado grau de flocculação e grande estabilidade estrutural, sendo estes últimos decorrentes de sua composição oxidada. Assim, estudos recentes em solos do Cerrado buscam avaliar a ocorrência de alterações químicas, físicas e biológicas que o manejo do solo e coberturas vegetais possam promover nesses solos.

Variações nos atributos físicos do solo podem ocorrer em função das alterações decorrentes de um manejo não conservacionista. Essas alterações também podem modificar a composição biológica do solo (Kimpe & Warkentin, 1998), causando assim modificações na formação de agregados de origem biológica. Porém, os estudos que busquem melhor entendimento da ação da macrofauna na formação de agregados e aspectos qualitativos e quantitativos, ainda são incipientes.

Dessa forma, são necessários estudos sobre a qualidade biológica e estrutural em solos do Cerrado mediante a sua importância agrícola e ambiental. Este trabalho buscou avaliar a agregação dos solos, no tocante à sua estabilidade e vias de formação, em decorrência do sistema de manejo e variações sazonais, de forma a estabelecer padrões para a formação dos agregados.

4.4. REVISÃO DE LITERATURA

4.4.1. Atributos físicos

Para avaliar a qualidade física do solo, podem ser utilizados atributos tais como: a textura do solo, densidade do solo e a distribuição e estabilidade dos agregados. Poucos são os estudos que tentam compreender os mecanismos de formação e estabilização dos agregados. Pesquisas recentes usam ferramentas como a micromorfologia para a compreensão da gênese dos agregados e suas modificações em função do manejo e/ou cobertura vegetal.

4.4.2. Agregação do solo

O processo de agregação tem início com a união das partículas unitárias, pela ação de inúmeros ciclos biológicos, físicos e químicos. Todos estes processos culminam com a reunião dessas partículas e a formação de microagregados (Tisdal & Oades, 1982). Diversos são os fatores que interferem na agregação do solo. Os principais são: tipo e teor de argila, metais polivalentes, carbonato de cálcio, óxidos e hidróxidos de ferro, alumínio e manganês, exsudatos orgânicos de plantas, substâncias orgânicas provenientes da ação de microrganismos e outros compostos orgânicos. A matéria orgânica, os óxidos e os hidróxidos são agentes cimentantes, tanto das partículas unitárias quanto das partículas secundárias (agregados) do solo. Podem-se incluir, também, os ciclos de umedecimento e secagem como importante fator ambiental que interfere na agregação do solo (Carvalho, 1991; Maltoni, 1994 *apud* Bastos et al., 2005).

A formação de agregados no solo a partir da influência dos fatores supracitados constitui via lenta de formação, sendo esses denominados de agregados fisiogênicos, ou seja, formados por ações físicas, químicas e adição de matéria orgânica. Outra via de formação de agregados no solo é a denominada de via biogênica, onde os agregados são formados pelas fezes produzidas por indivíduos da fauna do solo, essa via de formação é mais rápida em comparação à primeira (Mello et al., 2008). Ainda no aspecto biológico, as raízes têm papel de destaque, pois em paralelo ao aumento de sua densidade e comprimento, verificam-se os maiores valores de agregação, sendo que raízes fibrosas produzem elevados níveis de macroagregados. O aumento da diversidade e quantidade de flora e fauna do solo são importantes para melhorar a agregação, sendo a atividade da fauna edáfica importante na formação de complexos organo-minerais e na agregação (Bronick e Lal, 2005).

As minhocas são importantes engenheiros do ecossistema, determinam fortemente a qualidade do solo, refletindo na morfologia, macro e microestruturas, grau de compactação, incorporação e distribuição da MOS. As minhocas também atuam na homogeneização de resíduos orgânicos e partículas finas de solo, na formação de agregados ricos em matéria orgânica e podem, portanto, contribuir para a proteção física da matéria orgânica, retardando a sua decomposição, favorecendo o sequestro de carbono (Jongmans et al., 2003).

Estruturas biogênicas, tais como agregados, poros e galerias de várias formas e tamanhos são habitats de outros organismos. Há evidências de que macroagregados biogênicos são microsítios importante para a formação de microagregados e, conseqüentemente, para a estabilização da MOS e o armazenamento de nutrientes, que são liberados lentamente sobre a sua degradação. Apesar dessas observações, poucos estudos têm sido feitos avaliando quantitativamente a contribuição da macrofauna do solo na dinâmica dessas estruturas (Brussaard et al., 2007).

Segundo Pulleman & Marinissen (2004), dependendo do manejo agrícola, a agregação do solo pode fornecer proteção física contra a rápida decomposição da MOS. De acordo com o tipo de solo e o sistema de manejo adotado, pode influenciar a qualidade e a quantidade de insumos orgânicos. Impactos sobre o ambiente do solo e a atividade biológica resultam em alterações nos processos de formação de agregados biogênicos e fisiogênicos.

A macroagregação é um atributo altamente dinâmico nos solos, tendo uma contribuição significativa na sua capacidade de armazenamento de carbono e manutenção de nutrientes. Um importante obstáculo à descrição e estabelecimento de modelos da dinâmica de macroagregados e os processos associados, é a ignorância da origem real dos diferentes tipos de agregados encontrados nos solos. A origem dos agregados separados de acordo com o critério visual pode ser determinada comparando-se a matéria orgânica específica, avaliada por espectrometria (NIRS), para análise de estruturas biogênicas produzidas por engenheiros de ecossistema do solo (Velasquez et al., 2007).

No Brasil, na região do Cerrado, não existem informações sobre a identificação e entendimento das vias de agregação do solo, sendo este um trabalho pioneiro. No entanto, devido ao Cerrado ser a última fronteira agrícola do planeta, muitos estudos de agregação nesse bioma tem sido realizados, avaliando principalmente as diferenças entre os sistemas de manejo, utilizando métodos conhecidos como: estabilidade de agregados, teores de nutrientes e matéria orgânica. A estabilidade dos agregados representa a quantidade e distribuição do tamanho dos agregados que são estáveis em água, expressa através do diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG) dos agregados.

Em áreas de pastagem, milho, cana-de-açúcar e mata nativa em solos do Cerrado, Costa et al. (2008) verificaram menores valores de DMG na área de cana. Apesar de ter sido verificada relativa quantidade de matéria seca, essa não foi capaz de favorecer à agregação do solo. Já a área de *Brachiaria decumbens* apresentou os maiores valores de DMG, apontando o grande potencial agregador do solo dessa forrageira, com a melhoria desse atributo físico até maiores profundidades. Em solos do Cerrado baiano, Soares Neto et al. (2008) avaliaram a estabilidade de agregados em água, em áreas com plantio direto, plantio convencional, café irrigado, pasto e mata. Os autores observaram que em relação ao DMP, os sistemas de plantio direto, café irrigado e mata, apresentaram os maiores valores, enquanto as áreas de pastagem e de plantio convencional tiveram os menores valores. Acredita-se que esse padrão é decorrente desses sistemas apresentarem os menores teores de carbono orgânico e de cálcio e magnésio.

Estudando atributos físicos, químicos e biológicos em Latossolo Vermelho em área de Cerrado sob duas rotações de culturas, Fonseca et al. (2007) observaram que nas áreas sob rotação, ocorreram os maiores valores de DMG e DMP na superfície (0-2,5 cm) em relação à subsuperfície (15-17,5 cm). Nas amostras superficiais, a rotação feijão/soja + braquiária/feijão proporcionou aumentos no DMG e DMP em comparação a feijão/milho + braquiária/feijão e Cerradão. Esse fato foi atribuído à presença de uma densa cobertura de braquiária, observada no ato da coleta das amostras de solo, nessas parcelas. Os maiores valores de agregação em superfície podem ser decorrentes do efeito da associação gramínea/leguminosa, onde a palhada oferece excelente proteção à superfície do solo, mantendo a umidade e principalmente a atividade microbiana, favorecendo a formação de agregados mais estáveis.

Ao se determinar ao longo do tempo, a influência de sistemas de culturas, cobertura do solo e teor de matéria orgânica sobre a agregação do solo, Wohlenberg et al. (2004) observaram que a maior estabilidade estrutural ocorreu no solo sob campo natural e a menor em solo descoberto em virtude do intenso preparo e da redução do teor de matéria orgânica, aumentando a proporção dos agregados de menor tamanho. Os autores também observaram que existe uma ação direta das culturas na formação e estabilização dos agregados, sendo que em sistemas de cultivo que aportam materiais orgânicos e cobrem o solo durante todo o ano, os valores de estabilidade e tamanho de agregados, são em geral maiores.

4.5. MATERIAL E MÉTODOS

4.5.1. Avaliação da gênese dos agregados

As áreas foram as mesmas descritas no Capítulo 1, assim como o desenho amostral. Para a coleta das amostras para avaliação dos agregados foi aberta uma mini trincheira com dimensões aproximadas de 25 cm x 20 cm. As amostras foram coletadas na camada de 0-10 cm de profundidade com auxílio de uma pá quadrada (Figura 12).

Após a coleta, as amostras foram submetidas a peneiramento no campo, sendo utilizados um conjunto de peneiras de 9,7 e 8,0 mm, o agregados identificados foram aqueles com tamanho entre 8,0 e 9,7 mm, os agregados maiores que 9,7 mm e menores que 8,0 mm foram descartados. Os agregados obtidos foram observados sob lupa e separados à mão em frações morfológicas, identificando-os em classes de acordo com as definições descritas em Bullock et al (1985).

A separação dos agregados foi feita através de padrões morfológicos, sendo estabelecidos três tipos de agregados:

- (a) fisiogênicos - definidos por apresentarem formas angulares,
- (b) biogênicos - aqueles onde foi possível a visualização de formas arredondadas, providas pelo trato intestinal dos indivíduos da macrofauna do solo, principalmente Oligochaeta e/ou aqueles em que era possível visualizar a atividade de raízes, e
- (c) intermediário - agregados que possuíam forma indefinida, podendo ser aqueles biogênicos que perderam a forma arredondada devido ao envelhecimento ou fisiogênico que possuía uma solda com um pequeno coprólito (Figura 18).

Na Figura 18.3 pode-se observar que (a) uma raiz que atravessou o agregado e (b) uma galeria foi formada pela atividade biológica.

Na Figura 19 pode-se observar um exemplo de agregado intermediário, este possui pequenos coprólitos que provavelmente são de Enchytraeidae soldados em sua superfície.

Para determinação da contribuição relativa em massa foram pesados 100 g de agregados. A massa de agregados foi identificada sob lupa e assim quantificada a fração de agregados fisiogênicos, intermediários e biogênicos contidos na massa inicial. Após a separação os agregados foram submetidos à análise de estabilidade em água e determinação do complexo sortivo e carbono orgânico total.

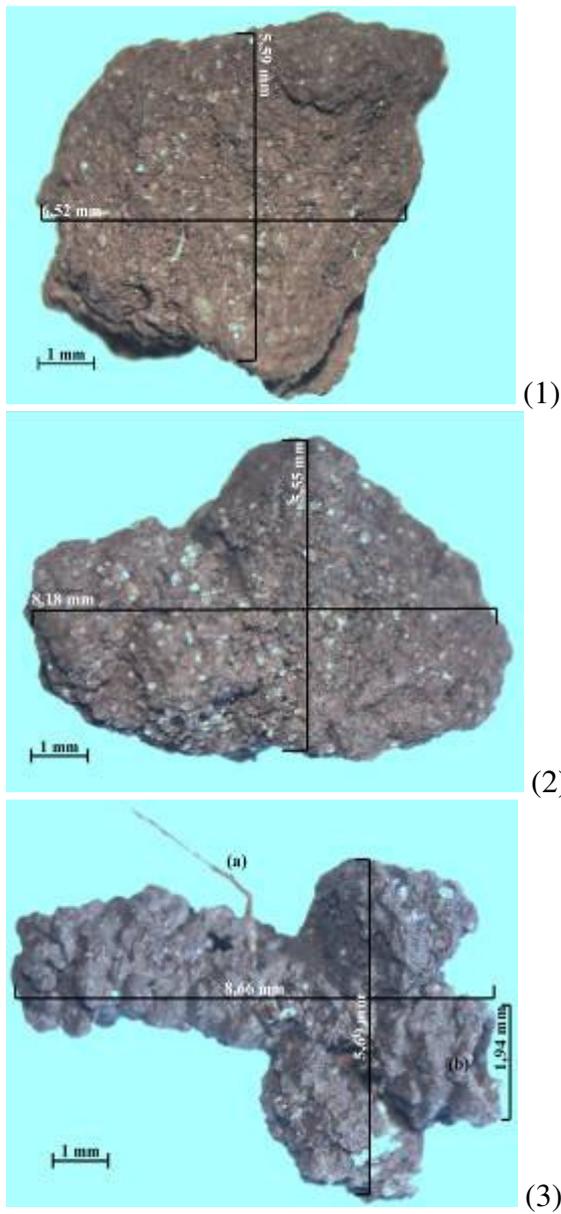


Figura 18. Exemplo da separação dos diferentes tipos de agregados da fração 9,7-8,0 mm. (1) agregado fisiogênico, (2) agregado intermediário e (3) agregado biológico.

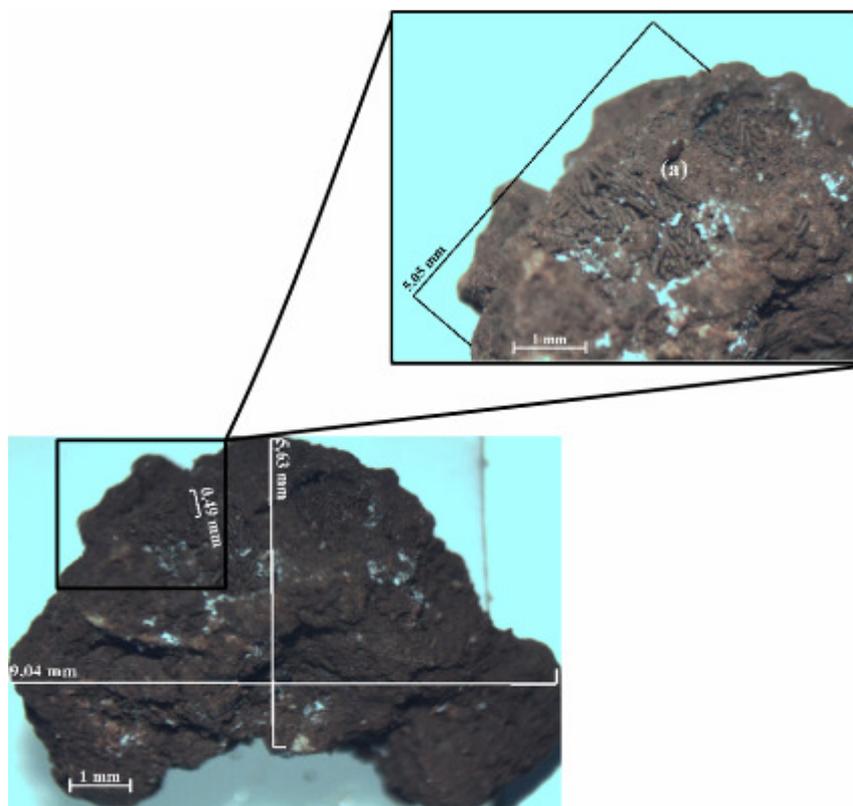


Figura 19. Agregados intermediários com pequenos coprólitos soldados. Em detalhe no aumento (a) fezes possivelmente de Enchytraeidae.

4.5.2. Estabilidade dos agregados

Os agregados identificados quanto à via de agregação, foram passados por peneira de 4 mm de malha para que em seguida fossem pesados 25 g de agregados que ficaram retidos na peneira de 4,00 mm, sendo estes transferidos para uma peneira de 2,00 mm que compõe um conjunto de peneiras com diâmetro de malha decrescente, a saber: 2,00; 1,00; 0,50; 0,25 e 0,105 mm. Os agregados colocados na peneira de 2,00 mm foram umedecidos com auxílio de um borrifador, e posteriormente o conjunto de peneiras foi submetido à tamisação vertical via úmida por 15 minutos no aparelho de Yooder. Transcorrido esse tempo, o material retido em cada peneira foi retirado, separado com o auxílio de jato d'água, colocado em placas de Petri previamente pesadas e identificadas, sendo levado à estufa até a obtenção de massa constante. A partir dos dados de massa de agregados foram calculados o DMP e o DMG dos agregados, segundo Embrapa (1997).

O diâmetro médio ponderado (DMP) foi calculado de acordo com a seguinte expressão:

$$DMP = \sum x_i y_i$$

X=1

Onde:

i = intervalo de classe: $8,0 \geq X > 2,0$ mm, de $2,0 \geq X > 1,0$ mm, de $1,0 \geq X > 0,5$ mm, de $0,5 \geq X > 0,25$ mm e de $0,25 \geq X > 0,105$ mm;

x_i = é o diâmetro do centro de classe (mm);

y_i = é a razão entre a massa de agregados dentro da classe (x_i) e a massa total de agregados.

O diâmetro médio geométrico (DMG) foi calculado de acordo com a seguinte expressão:

$$\text{DMG} = \exp \frac{\sum w_i \ln x_i}{\sum w_i}$$

Onde:

w_i = peso dos agregados de cada centro de classe (g);

\ln = logaritmo natural de x_i ;

x_i = diâmetro do centro de classe (mm).

4.5.3. Caracterização do complexo sortivo

Foram analisados atributos pH em água, $\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}$, Al^{+3} , K^+ , $\text{H}^+ + \text{Al}^{+3}$ e P. As análises foram realizadas segundo métodos da Embrapa (1997) e carbono orgânico Yeomans & Bremner (1988).

4.5.4. Análise estatística

Para os dados obtidos, foi feita uma avaliação da normalidade dos dados (Lilliefors) e homogeneidade das variâncias dos erros (Cochran & Bartlett). Os valores médios comparados entre si pelo teste t de Bonferroni a 5% de probabilidade.

4.6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dentre as diferentes vias estudadas, as maiores quantidades de agregados foram verificadas na fração intermediária para época seca em todas as áreas, exceto para a área de algodão/soja, onde os agregados fisiogênicos também apresentaram elevada participação (Tabela 23). Na época chuvosa a distribuição percentual, somente se diferenciou para a área de algodão/soja, pois nessa foi verificada uma menor quantidade de agregados biogênicos.

Na época seca foram observadas diferenças entre as três vias de agregação, com maiores valores para agregados intermediários, seguidos por fisiogênicos e os menores valores para os agregados biogênicos. Este padrão pode ser devido à redução de atividade biológica na época seca, desfavorecendo a formação de agregados de origem biológica. Já na época chuvosa, os valores percentuais de agregados somente diferiram na área de algodão/soja, o que é justificável devido ao solo desta área apresentar um menor percentual de argila de 307 g kg^{-1} , sendo classificado como textura média. Nesta época, a fauna edáfica apresentou maior densidade total de indivíduos (Tabela 18) e somente na área de algodão/soja a densidade foi menor, pois apresentou uma menor quantidade de Formicidade.

Em todas as áreas ocorreu aumento de densidade de Oligochaeta na profundidade de 0-10 cm da época seca para chuvosa, exceto na área de milho/algodão. Na área de Cerradão, a densidade desse grupo foi de 21 ind m^{-2} na época seca e 59 ind m^{-2} na chuvosa, em pasto/milho a densidade foi de 3 ind m^{-2} e 384 ind m^{-2} , na área de algodão/soja a densidade foi de 8 ind m^{-2} e 51 ind m^{-2} , respectivamente, época seca e chuvosa, somente na área milho/algodão a densidade de Oligochaeta foi menor na época chuvosa com densidade de 19 ind m^{-2} e época seca com 101 ind m^{-2} . O aumento da atividade biológica favoreceu uma maior quantidade de agregados biogênicos na época chuvosa, aumentando a composição relativa deste em comparação aos originados de outras vias de formação.

Na área de algodão/soja a atividade de Oligochaeta foi maior na época chuvosa, porém nesta área não foi verificada uma maior ocorrência de agregados biogênicos. Uma possível explicação para esse padrão, pode ser a textura menos argilosa observada na área, o que é limitante para a formação de agregados biogênicos. Em contrapartida, na área de milho/algodão, mesmo tendo sido verificada a redução da densidade de Oligochaeta entre épocas, a quantidade de agregados biogênicos foi igual a observada para os agregados formados por outras vias, sendo a textura do solo, talvez a principal causa para este padrão.

Quanto aos valores de DMP e DMG esses não diferiram quanto às vias de formação, bem quanto às épocas de avaliação. Verificaram-se elevados valores desses índices, o que pode ser atribuído à composição mineralógica do solo, um Latossolo Vermelho, que possui alta estabilidade estrutural, em função da composição oxidica. Também em função da composição mineralógica, parece não estar havendo uma grande influência da matéria orgânica no processo de agregação. Associado a elevada estabilidade estrutural desses solos, na área de estudo as culturas são conduzidas em um sistema de produção agrícola conservacionista, que *per si* propicia condições para uma elevada estabilidade. Nas áreas de estudo foram verificados valores próximos a 5,000 mm, o que confirma o pressuposto anterior. Em estudo de atributos físicos e químicos de agregados pedogênicos e de coprólitos de minhocas em diferentes classes de solos da Paraíba, Silva Neto et al. (2010) observaram um maior DMP para coprólitos em comparação com agregados pedogênicos, diferindo dos resultados encontrados neste estudo.

Tabela 23. Valores médios das frações de diferentes origens (%), DMP e DMG (mm) nas duas épocas de avaliação.

Época seca									
	%			DMP			DMG		
	F	I	B	F	I	B	F	I	B
Cerradão	39,53 AB	43,14 A	17,61 B	4,806 A	4,915 A	4,924 A	4,338 A	4,682 A	4,709 A
pasto/milho	27,40 AB	47,93 A	24,51 B	4,586 A	4,742 A	4,850 A	4,018 A	4,240 A	4,477 A
milho/algodão	34,86 AB	47,62 A	17,41 B	4,753 A	4,866 A	4,833 A	4,438 A	4,480 A	4,332 A
algodão/soja	47,77 A	41,85 A	10,55 B	4,772 A	4,828 A	4,860 A	4,317 A	4,433 A	4,550 A
	CV= 36,72			CV= 2,05			CV= 5,14		
Época chuvosa									
	%			DMP			DMG		
	F	I	B	F	I	B	F	I	B
Cerradão	27,34 A	45,43 A	26,89 A	4,830 A	4,896 A	4,845 A	4,415 A	4,681 A	4,457 A
pasto/milho	31,16 A	39,84 A	28,99 A	4,585 A	4,673 A	4,797 A	3,923 A	4,211 A	4,414 A
milho/algodão	35,96 A	39,42 A	24,78 A	4,793 A	4,849 A	4,845 A	4,401 A	4,506 A	4,507 A
algodão/soja	49,34 A	38,62 A	11,92 B	4,443 A	4,616 A	4,525 A	3,574 A	3,946 A	3,782 A
	CV= 36,72			CV= 2,05			CV= 5,14		

*Valores seguidos por letras iguais na mesma linha não diferem significativamente pelo teste t de Bonferroni à 5% de probabilidade. F: Fisiogênico, I: Intermediário e B: Biogênico. CV: Entre as diferentes vias de formação dos agregados.

Na Tabela 24 são apresentados os valores percentuais dos agregados formados pelas diferentes vias, DMP e DMG, e as comparações entre áreas e épocas de coleta.

Tabela 24. Valores médios do peso das frações de diferentes origens (%), DMP e DMG (mm) nas duas épocas de avaliação.

	% Fisiogênico		DMP		DMG	
	S	C	S	C	S	C
	Cerradão	39,53 Aa	27,34 Aa	4,806 Aa	4,830 Aa	4,338 Aa
pasto/milho	27,40 Aa	31,16 Aa	4,586 Aa	4,585 Aa	4,018 Aa	3,923 Aa
milho/algodão	34,86 Aa	35,96 Aa	4,753 Aa	4,793 Aa	4,438 Aa	4,401 Aa
algodão/soja	47,77 Aa	49,34 Aa	4,772 Aa	4,443 Aa	4,317 Aa	3,574 Aa
	CV(1)= 0,97		CV(1)=3,67		CV(1)= 8,39	
	CV(2)= 33,10		CV(2)= 4,04		CV(2)= 9,39	
	% Intermediário		DMP		DMG	
	S	C	S	C	S	C
	Cerradão	43,14 Aa	45,43 Aa	4,915 Aa	4,896 Aa	4,682 Aa
pasto/milho	47,93 Aa	39,84 Aa	4,742 Aa	4,673 Aa	4,240 Aa	4,211 Aa
milho/algodão	47,62 Aa	39,42 Aa	4,866 Aa	4,849 Aa	4,480 Aa	4,506 Aa
algodão/soja	41,85 Aa	38,62 Aa	4,828 Aa	4,616 Aa	4,433 Aa	3,946 Aa
	CV(1)= 0,97		CV(1)=3,67		CV(1)= 8,39	
	CV(2)= 33,10		CV(2)= 4,04		CV(2)= 9,39	
	% Biogênico		DMP		DMG	
	S	C	S	C	S	C
	Cerradão	17,61 Aa	26,89 Aa	4,924 Aa	4,845 Aa	4,709 Aa
pasto/milho	24,51 Aa	28,99 Aa	4,850 Aa	4,797 ABa	4,477 Aa	4,414 Aa
milho/algodão	17,41 Aa	24,78 Aa	4,833 Aa	4,845 Aa	4,332 Aa	4,507 Aa
algodão/soja	10,55 Aa	11,92 Aa	4,860 Aa	4,525 Ba	4,550 Aa	3,782 Ab
	CV(1)= 0,97		CV(1)=3,67		CV(1)= 8,39	
	CV(2)= 33,10		CV(2)= 4,04		CV(2)= 9,39	

Valores seguidos por letras maiúsculas iguais na coluna e minúsculas iguais na linha não diferem significativamente pelo teste t de Bonferroni a 5%. S: época seca e C: época chuvosa. CV(1)= coeficiente de variação entre áreas, CV(2)= coeficiente de variação entre épocas de avaliação.

Não foram observadas diferenças significativas entre as composições relativas nas diferentes áreas, bem como para as épocas de avaliação para os agregados formados pelas diferentes vias. Este padrão sugere que as diferentes coberturas vegetais ou a época de avaliação (efeito sazonal) não influenciam na gênese dos agregados. Em estudo com diferentes sistemas de manejo, sendo estes: plantio direto e convencional em área de Latossolo no PR, Callegari et al, (2006) não constataram diferenças significativas entre vegetação nativa e o sistema de plantio direto nos valores de DMP e DMG. Os autores atribuem esse padrão aos efeitos benéficos do acúmulo de resíduos orgânicos na superfície do solo no sistema de plantio direto, onde, além do solo não ser revolvido, práticas como rotação de culturas e uso adequado de plantas de cobertura, favorecem a melhoria da agregação.

Os valores de DMP apresentaram diferença entre as áreas na via de formação biogênica na época chuvosa, com os menores valores na área algodão/soja, provavelmente tal fato deve-se a esta área possuir textura média e as demais apresentarem textura argilosa.

Os valores de DMP e DMG das áreas produtivas não se diferenciaram dos observados na área de Cerradão, exceto para via de formação biogênica na época chuvosa. Assim, pode-se verificar que o manejo adotado, ou seja, a ILP está favorecendo positivamente a agregação e a estabilização do solo. Informações obtidas com o responsável técnico das áreas de produção, onde foi realizado o estudo, indicam que essas áreas são bastante produtivas na

época das águas, assim como a maioria das fazendas da região, mas que a produtividade desta em relação às demais é maior na época da seca. Os maiores valores de produção verificados nessa época podem ser decorrentes dos melhores condições dos atributos do solo, com destaque para a agregação, que entre outros benefícios, favorece uma maior retenção de água, refletindo-se em um aumento da produtividade.

Esse aspecto favorável é comprovado nesse estudo ao serem analisados os valores de DMP e DMG das áreas, verificando que a estabilidade da área produtiva é igual à da área de vegetação nativa. Em estudo em ILP sob pré-pastejo e pós-pastejo, em Planaltina-DF, Maciel (2008) encontrou valores de DMG abaixo de 4,000 mm, relacionando este fato a área estar passando por uma fase de estabilização de sua agregação, em relação à condição original. Segundo Bronick e Lal (2005), a estrutura do solo pode ser significativamente modificada através de práticas de manejo e alterações no meio ambiente, assim, práticas que aumentam a produtividade e diminuem a perturbação do solo aumentam a agregação e o desenvolvimento estrutural.

Não foram verificadas diferenças significativas para os valores de pH e os teores de Ca, Al, Mg, K, Valor S e V% entre os agregados formados pelas diferentes vias (Tabelas 25 e 26). Também não se observaram diferenças significativas entre as épocas de coleta. Desta forma constata-se não estar havendo contribuição da ação biológica no aumento destes elementos nos agregados. Em estudo de atributos físicos e químicos de agregados pedogênicos e de coprólitos de minhocas em diferentes classes de solos da Paraíba, Silva Neto et al. (2010) observaram que os coprólitos apresentaram diferenças químicas significativas comparativamente aos agregados pedogênicos.

Tabela 25. Valores médios dos teores de nutrientes das frações de diferentes origens na época seca de avaliação.

	pH (H ₂ O)			Al			Ca			Mg		
	F	I	B	F	I	B	F	I	B	F	I	B
Cerradão	5,08 A	5,14 A	5,23 A	0,13 A	0,06 A	0,11 A	2,88 A	2,88 A	3,83 A	3,78 A	1,83 A	2,80 A
pasto/milho	5,58 A	5,56 A	5,64 A	0,00 A	0,00 A	0,00 A	2,77 A	2,77 A	3,27 A	2,53 A	2,67 A	2,87 A
milho/algodão	5,08 A	5,08 A	5,09 A	0,23 A	0,00 A	0,00 A	2,00 A	2,00 A	1,93 A	2,20 A	3,33 A	2,40 A
algodão/soja	6,12 A	6,35 A	6,06 A	0,18 A	0,00 A	0,00 A	2,20 A	2,20 A	3,05 A	2,73 A	3,07 A	1,23 A
	CV(1)= 2,22			CV(1)= 143,08			CV(1)= 20,11			CV(1)= 48,84		
	K			H+Al			P			C		
	cmol _c kg ⁻¹ solo			cmol _c kg ⁻¹ solo			mg kg ⁻¹			g. Kg ⁻¹		
	F	I	B	F	I	B	F	I	B	F	I	B
Cerradão	0,190 A	0,187 A	0,363 A	2,97 A	2,42 A	3,03 A	2,50 A	2,90 A	6,29 A	1,99 AB	1,52 B	2,64 A
pasto/milho	0,380 A	0,399 A	0,452 A	1,82 A	1,98 A	1,54 A	21,69 A	20,02 A	22,14 A	1,77 B	1,14 B	2,92 A
milho/algodão	0,549 A	0,566 A	0,566 A	1,82 A	1,82 A	2,20 A	13,92 B	18,84 AB	26,05 A	1,50 A	1,25 A	1,75 A
algodão/soja	0,441 A	0,243 A	0,464 A	0,88 A	0,99 A	0,99 A	9,54 A	10,08 A	12,41 A	1,29 A	1,25 A	1,68 A
	CV(1)= 25,70			CV(1)= 14,00			CV(1)= 23,70			CV(1)= 14,12		
	S			T			V%					
	cmol _c kg ⁻¹ solo			cmol _c kg ⁻¹ solo			cmol _c kg ⁻¹ solo					
	F	I	B	F	I	B	F	I	B			
Cerradão	6,86 A	5,70 A	7,01 A	9,83	8,12	10,04	69,34 A	71,31 A	69,33 A			
pasto/milho	5,69 A	5,66 A	6,60 A	7,50	7,64	8,14	76,03 A	74,02 A	81,42 A			
milho/algodão	4,75 A	5,74 A	4,90 A	6,57	7,55	7,10	72,43 A	75,98 A	69,22 A			
algodão/soja	5,38 A	6,09 A	4,76 A	6,26	7,08	5,75	86,01 A	85,83 A	82,39 A			
	CV(1)= 22,05			CV(1)= 17,34			CV(1)= 6,13					

Valores seguidos por letras maiúsculas iguais na linha não diferem significativamente pelo teste t de Bonferroni a 5%. F: Fisiogênico, I: Intermediário e B: Biogênico. CV: Entre as diferentes vias de formação dos agregados.

Tabela 26. Valores médios dos teores de nutrientes das frações de diferentes origens na época chuvosa de avaliação.

	pH (H ₂ O)			Al			Ca			Mg		
	F	I	B	F	I	B	F	I	B	F	I	B
Cerradão	4,84 A	4,79 A	4,83 A	0,48 AB	0,55 A	0,25 B	1,50 A	1,93 A	2,30 A	2,67 A	3,60 A	2,30 A
pasto/milho	5,39 A	5,52 A	5,62 A	0,06 A	0,08 A	0,00 A	2,17 A	2,30 A	2,65 A	2,87 A	2,97 A	2,65 A
milho/algodão	5,31 A	5,34 A	5,32 A	0,00 A	0,00 A	0,00 A	1,97 A	2,57 A	2,23 A	2,77 A	3,00 A	2,23 A
algodão/soja	6,34 A	6,36 A	6,40 A	0,00 A	0,00 A	0,00 A	2,37 A	2,33 A	2,57 A	2,47 A	3,27 A	2,57 A
	CV(1)= 2,22			CV(1)= 143,08			CV(1)= 20,11			CV(1)= 48,84		
	K			H+Al			P			C		
	F	I	B	F	I	B	F	I	B	F	I	B
Cerradão	0,269 A	0,299 A	0,303 A	3,25 B	4,51 A	4,46 A	2,50 A	3,96 A	3,82 A	1,85 B	2,54 A	1,49 B
pasto/milho	0,509 A	0,549 A	0,600 A	1,98 A	2,20 A	2,70 A	26,31 A	25,25 A	34,93 A	1,73 B	2,54 A	1,30 B
milho/algodão	0,703 A	0,755 A	0,841 A	2,04 A	1,87 A	2,26 A	19,48 A	22,40 A	26,68 A	1,39 A	1,51 A	1,21 A
algodão/soja	0,393 A	0,409 A	0,400 A	0,77 A	0,88 A	0,88 A	20,40 A	19,41 A	19,76 A	1,31 A	1,45 A	1,18 A
	CV(1)= 25,70			CV(1)= 14,00			CV(1)= 23,70			CV(1)= 14,12		
	S			T			V%					
	F	I	B	F	I	B	F	I	B			
Cerradão	4,44 A	5,85 A	4,81 A	7,69 B	10,36 A	9,27 AB	57,80 A	52,59 A	51,46 A			
pasto/milho	5,57 A	5,85 A	7,28 A	7,55 A	8,05 A	9,97 A	74,08 A	71,94 A	73,10 A			
milho/algodão	5,45 A	6,34 A	5,89 A	7,48 A	8,21 A	8,14 A	72,12 A	77,32 A	72,00 A			
algodão/soja	5,24 A	6,02 A	5,28 A	6,01 A	6,90 A	6,16 A	87,29 A	87,22 A	85,41 A			
	CV(1)= 22,05			CV(1)= 17,34			CV(1)= 6,13					

Valores seguidos por letras maiúsculas iguais na linha não diferem significativamente pelo teste t de Bonferroni a 5%. F: Fisiogênico, I: Intermediário e B: Biogênico. CV: Entre as diferentes vias de formação dos agregados.

Os teores de P e COT apresentaram diferenças entre os agregados formados pela diferentes vias na época seca. Os teores de P na área milho/algodão foram maiores nos agregados formados pela via biogênica, sendo seguidos pelos da via intermediária e fisiogênica. Ao avaliar os agregados biogênicos da área milho/algodão foi observada a existência de esporos de fungos micorrízicos colonizando uma raiz que estava ligada a um agregado (Figura 20). A presença destes esporos sugere que os fungos micorrízicos estão contribuindo para o aumento da absorção de nutrientes, com destaque para o P, proporcionando maiores valores deste nutriente nos agregados biogênicos.

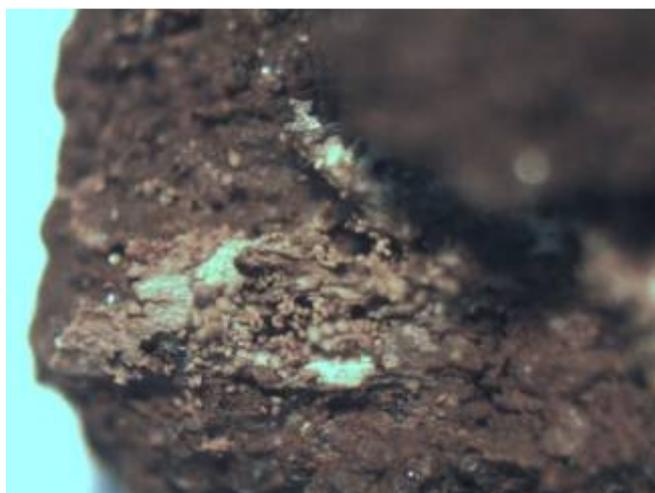


Figura 20. Agregado biológico com esporos de fungos micorrízicos da área milho/algodão na época seca de avaliação.

Os teores de COT na área de Cerradão na época seca foram maiores nos agregados formados pela via biogênica, seguido pela fisiogênica e intermediária respectivamente. Na área de pasto/milho os teores de COT foram maiores nos agregados biogênicos, seguidos de fisiogênicos e intermediários que não apresentaram diferenças entre si. Para as áreas de milho/algodão e algodão/soja não houve diferença dos teores de COT. O aumento do teor de COT nos agregados biogênicos nas áreas de Cerradão e pasto/milho pode ser atribuído à acumulação de carbono nestes na época anterior e ao baixo consumo do carbono pelos organismos na época seca, visto que a atividade biológica é reduzida nesta época. A elevada quantidade de raízes produzidas pelo pasto pode ter contribuído para que os agregados biológicos apresentassem elevados teores de COT em comparação com aqueles formados pelas diferentes vias.

Os teores de H+Al, COT e Valor T apresentaram diferenças entre as vias de formação para a época seca de avaliação. Os valores de H+Al na área de Cerradão foram maiores nos agregados biogênicos e intermediários quando comparados aos dos agregados fisiogênicos.

Nas áreas de Cerradão e pasto/milho, os teores de COT foram maiores nos agregados intermediários, seguidos pelos fisiogênicos e dos biogênicos, não sendo verificadas diferenças significativas entre esses. Em função destas observações pode estabelecer-se que os agregados intermediários foram formados a partir dos agregados biogênicos, que são submetidos a um processo de degradação e envelhecimento, perdendo assim sua forma original arredondada e se tornando agregados intermediários. Os agregados intermediários da época chuvosa podem ser, portanto, agregados que na época anterior (seca) eram biogênicos. Observa-se que existe uma relação direta destes agregados com os teores de COT das áreas de Cerradão e pasto/milho, pois na época seca essas foram as áreas que apresentaram teores mais elevados

de COT nos agregados biogênicos, em comparação a época chuvosa sendo classificados como intermediários. Estes agregados também apresentaram elevados teores de COT.

Na Tabela 28 são apresentados os valores médios dos teores de nutrientes, peso (%), DMP e DMG (mm) nas duas épocas de avaliação. De acordo com a média geral (Tabela 27), é possível observar os atributos avaliados em função das diferentes vias de formação independente da área avaliada. Verifica-se que, somente a porcentagem de cada fração da via de agregação, os teores de COT, H+Al e P variaram em função da via de formação.

Os agregados biogênicos de forma geral foram encontrados em menor quantidade em comparação aos fisiogênicos e intermediários nas duas épocas de avaliação. Os teores de COT foram maiores para agregados biogênicos na época seca e para os agregados intermediários na época chuvosa, mantendo assim a pressuposição de que agregados biogênicos identificados na estação seca deram origem aos intermediários identificados na época chuvosa.

Tabela 27. Média geral dos teores de nutrientes, peso (%), DMP e DMG (mm) das frações de diferentes origens nas duas épocas de avaliação.

	%		DMP		DMG		pH (H ₂ O)		Al			Ca		Mg	
	S	C	S	C	S	C	S	C	S	C	S	C	S	C	
F	37,39 Aa	35,95 Aa	4,72 Aa	4,66 Aa	4,28 Aa	4,08 Aa	5,46 Aa	5,47 Aa	0,14 Aa	0,14 Aa	2,46 Aa	2,0 Aa	2,81 Aa	2,69 Aa	
I	45,13 Aa	40,83 Aa	4,83 Aa	4,75 Aa	4,46 Aa	4,34 Aa	5,53 Aa	5,50 Aa	0,02 Ab	0,16 Aa	2,70 Aa	2,28 Aa	2,72 Aa	3,20 Aa	
B	17,52 Ba	23,14 Ba	4,86 Aa	4,75 Aa	4,52 Aa	4,29 Aa	5,50 Aa	5,54 Aa	0,03 Aa	0,06 Aa	3,02 Aa	2,44 Ab	2,32 Aa	2,82 Aa	
	K		H+Al		P		C		S			T		V%	
	cmol _c kg ⁻¹ solo		mm		mg kg ⁻¹		g. Kg ⁻¹		cmolc kg-1solo			cmolc kg-1solo		%	
F	0,389 Aa	0,469 Aa	1,87 Aa	2,0 Ba	11,91 Bb	17,17 Aa	1,64 Ba	1,57 Ba	5,67 Aa	5,17 Aa	7,54 Aa	7,59 Aa	75,95 Aa	72,83 Aa	
I	0,349 Ab	0,503 Aa	1,80 Ba	2,37 ABa	12,96 ABb	17,75 Aa	1,28 Cb	2,01 Aa	5,79 Aa	6,01 Aa	7,75 Aa	7,18 Aa	76,79 Aa	72,27 Aa	
B	0,461 Aa	0,536 Aa	1,94 Ba	2,57 Aa	16,72 Ab	21,30 Aa	2,25 Aa	1,29 Bb	5,81 Aa	5,81 Aa	8,37 Aa	8,38 Aa	75,59 Aa	70,50 Aa	

Valores seguidos por letras maiúsculas iguais na coluna e minúsculas iguais na linha não diferem significativamente pelo teste t de Bonferroni a 5%. S: época seca e C: época chuvosa. F: Fisiogênico, I: Intermediário e B: Biogênico.

5. CONCLUSÕES

A textura influenciou na formação de agregados, sendo observado que o solo de textura média foi o que apresentou menor quantidade de agregados biogênicos.

Em todas as áreas estudadas, na época seca, foram quantificados os maiores valores de agregados intermediários, enquanto na época chuvosa, de maneira geral, não foram observadas diferenças dos agregados formados pelas diferentes vias entre as áreas.

Foram observados elevados valores de DMP e DMG, não sendo verificadas diferenças na estabilidade em função das vias de formação, efeito sazonal e cobertura vegetal. O padrão observado foi decorrente das características genéticas do solo.

Os agregados biogênicos foram encontrados em menor quantidade em comparação aos fisiogênicos e intermediários.

Os maiores teores de COT foram verificados nos agregados biogênicos na época seca e nos intermediários na chuvosa. Este padrão sugere que os agregados biogênicos da época seca foram aqueles que originaram os agregados intermediários verificados na época chuvosa.

6. CONCLUSÕES GERAIS

A dinâmica do complexo sortivo foi sensível à sazonalidade, visto que esta influencia diretamente no fluxo de água, portanto na concentração e disponibilidade de nutrientes.

As variações no conteúdo da MOS são influenciadas pela sazonalidade no Bioma Cerrado. Assim, é importante o estudo de compartimentos da MOS para melhor entender a sua dinâmica, visto que somente o COT não é suficiente para caracterizar a MOS como indicador da eficiência do manejo adotado. Os compartimentos mais sensíveis são: o COp no fracionamento granulométrico e as frações F1 e F2 na avaliação de frações oxidáveis.

De maneira geral a cultura instalada no momento das avaliações e os restos vegetais da cultura anterior influenciaram na estrutura da comunidade da macrofauna edáfica, assim como a sazonalidade, em que na época chuvosa de avaliação ocorreu aumento na densidade da macrofauna edáfica.

O teor de nutrientes foi o compartimento da variabilidade da macrofauna edáfica que mais influenciou na variabilidade total. Destacando assim a importância de sistemas conservacionistas de solo que favoreçam ambiente de acumulação de água e nutrientes, portanto oferecendo condições básicas para a vida edáfica.

A macrofauna edáfica é um atributo biológico que pode ser utilizado como bioindicador da qualidade do solo, visto que é sensível às variações nas propriedades químicas, como teor de nutrientes, e físicas como a profundidade e conteúdo de água do solo.

Foram observados elevados valores de DMP e DMG, não sendo verificadas diferenças na estabilidade em função das vias de formação dos agregados, efeito sazonal e cobertura vegetal. O padrão notado pode ser decorrente das características genéticas do solo. De maneira geral, os Latossolos Vermelhos possuem naturalmente elevada estabilidade estrutural, em função da sua composição mineralógica oxidica. A estabilidade também pode ser atribuída às condições de conservação do solo que o sistema a ILP propiciou.

Os maiores teores de COT foram verificados nos agregados biogênicos na época seca e nos intermediários na chuvosa. Esse padrão sugere que os agregados biogênicos da época seca foram aqueles que originaram os agregados intermediários encontrados na época chuvosa.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVARENGA, M. I. N. **Propriedades físicas, químicas e biológicas de um Latossolo Vermelho-Escuro em diferentes ecossistemas**. 1996, p.211. Tese de Doutorado (Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, 1996.
- ANDERSON, J. M., INGRAM, J. S. I. **Tropical soil biology and fertility: A handbook of methods**. CAB International, Wallingford, Estados Unidos. 1989. 171p.
- ANDERSON, J. M.; INGRAM, J. S. I. **Tropical Soil Biological and Fertility: A handbook of methods**. 2 ed. CAB International, Wallingford, Estados Unidos, 1993. 221p.
- ARAÚJO, M. A. A.; TORMENA, C. A.; WATANABE, S. H.; PINTRO, J. C.; COSTA, A. C. C.; MATA, J. D. V. Avaliação do impacto do cultivo nas características químicas e na agregação de um latossolo vermelho distrófico do noroeste do Paraná. **Acta Scientiarum**, Maringá, vol.22, n.4, p.1045-1053, 2000.
- BALBINO, L. C. **Evolution de la structure et des propriétés hydrauliques dans des Ferralsols mis en prairie pâturée (Cerrado, Brésil)**.2001. 128 f. Thèse (Doctorat en Agronomie)-Institut National Agronomique de Paris-Grignon, Paris.
- BALBINOT JUNIOR, A. A.; MORAES, A.; VEIGA, M.; PELISSARI, A.; JEFERSON DIECKOW, J. Integração lavoura-pecuária: intensificação de uso de áreas agrícolas. **Ciência Rural**, Santa Maria, vol 39, n. 6, p.1-9, 2009.
- BALDOCK, J. A.; OADES, J. M.; WATERS, A. G.; PENG, X.; VASSALO, A. M.; WILSON, M. A. Aspects of the chemical structure of soil organic materials as revealed by solid-state ¹³C NMR spectroscopy. **Biogeochemistry**, vol.16, p.1-42, v.16, 1992.
- BARROS, E.; GRIMALDI, M.; SARRAZIN, M.; CHAUVEL, A.; MITJA, D.; DESJARDINS, T.; LAVELLE, P. Soil physical degradation and changes in macrofaunal communities in Central Amazon. **Applied Soil Ecology**, vol.26, p.157-168, 2004.
- BASTOS, R. S.; MENDONÇA, E. S.; ALVAREZ, V. H.; CORRÊA, M. M.; COSTA, L. M. Formação e estabilização de agregados do solo influenciados por ciclos de umedecimento e secagem após adição de compostos orgânicos com diferentes características hidrofóbicas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol 29, p.21-31, 2005.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2ª edição. Porto Alegre: Editora Cinco Continentes, 2008, p.7-18.
- BENITO, N.P.; BROSSARD, M.; PASINI, A.; GUIMARÃES, M.F.; BOBILLIER, B. Transformations of soil macroinvertebrate populations after native vegetation conversion to pasture cultivation (Brazilian Cerrado). **European Journal of Soil Biology**, v.40, p.147-154, 2004.
- BEUTLER, S.J.; LOSS, A.; PEREIRA, M.G.; PERIN, A.; ANJOS, L.H.C. Carbono orgânico total e carbono das frações granulométricas da matéria orgânica do solo em sistema de consórcio e rotação de culturas sob sistema plantio direto no cerrado. XXXII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo; O Solo e a Produção de Bioenergia: Perspectivas e Desafios. **Anais...**, trabalho 1953, UFC-SBCS, Fortaleza, CE, 2009.

- BLANCHART, E.; ALBRECHT, A.; ALEGRE J. Effects of earthworms on soil structure and physical properties, In: LAVELLE, P.; BRUSSAARD, L.; HENDRIX, P. (Eds.). **Earthworm management in tropical agroecosystems**. Wallingford, UK: CAB International, 1999, p.139–162.
- BLANCHART, E.; VILLENAVE, C.; VIALLATOUX, A.; BARTHÈS, B.; GIRARDIN, C.; AZONTONDE, A.; FELLER, C. Long-term effect of a legume cover crop (*Mucuna pruriens* var. Utilis) on the communities of soil macrofauna and nematofauna, under maize cultivation, in southern Benin. **European Journal of Soil Biology**, vol.42, p.136-144, 2006.
- BORLAUG, N. E. Feeding a world of 10 billion people: the miracle ahead. In: R. Bailey (ed.). **Global warming and other eco-myths**. Roseville, EUA: Competitive Enterprise Institute, 2002, p.29-60.
- BRONICK C. J.; LAL, R. Soil structure and management: a review. **Geoderma**, vol.124, p.3–22, 2005.
- BRUSSAARD, L.; PULLEMAN, M. M.; OUE'DRAOGO, E.; MANDO, A.; SIX, J. Soil fauna and soil function in the fabric of the food web. **Pedobiologia**, v.50:447-462, jan, 2007
- BULLOCK, P., FEDEROFF, N., JONGERIUS, A., STOOPS, G., TURSINA, T.; **Handbook for soil thin section description**. Albrighton, England: Waine Research Publications, 1985, p.152.
- BUNNING, J.; JIMÉNEZ, J. J. Indicators and assessment of soil biodiversity/soil ecosystem functioning for farmers and governments. **Soil Erosion and Biodiversity**. Rome, Italy. Mar, p. 1-21, 2003.
- CAMBARDELLA, C.A.; ELLIOTT, E.T. Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Sci. Soc. of Am. Journal**, v.56:777-783, 1992.
- CALEGARI, A.; CASTRO FILHO, C.; TAVARES FILHO, J.; RALISCH, R.; GUIMARÃES, M. F. Melhoria da agregação do solo através do sistema plantio direto. **Revista Ciências Agrárias**, Londrina. Vol.27, nº 2, p.148-158, abr/jun, 2006
- CAMPANHOLA, C. Compromissos internacionais: convenção sobre diversidade biológica. In: MANZATTO, C. V.; FREITAS JUNIOR, E.; PERES, J. R. R. (Ed.). **Uso agrícola dos solos brasileiros**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. p.135-144.
- CARNEIRO, C. E. A.; JÚNIOR, N. J. M.; AZEVEDO, M. C. B.; ANDRADE, E. A.; KOGUISHI, M. S.; DIEHL, R. C.; RICCE, W. S.; PASSARIN, A. L.; VAZ, R. H. M.; STELMACHUK, T. L. L.; GUIMARÃES, M. F.; RALISCH, R. Efeitos dos sistemas de manejo sobre o carbono orgânico total e carbono residual de um Latossolo Vermelho Eutroférico. **Ciências Agrárias**, Londrina, vol.30, n.1, p.5-10, jan./mar.2009.
- CASTRO, G. C. **Carbono orgânico nas frações granulométricas e húmicas em solos de diferentes texturas sob floresta da região noroeste mato-grossense**. 2008. 45p. Dissertação (Ciências Florestais e Ambiental) – Universidade Federal de Mato Grosso. 2008.
- CHAN, K.Y.; BOWMAN, A.; OATES, A. Oxidizable organic carbon fractions and soil quality changes in an Paleustalf under different pasture leys. **Soil Science**, v.166(1):61-67, 2001.
- CHRISTENSEN, B. T. Physical fractionation of soil and structural and functional complexity in organic matter turnover. **European Journal of Soil Science**, Vol 52, p.345–353, Set, 2001.

- CORREIA, M. E. F. **Potencial de utilização dos atributos das comunidades de fauna do solo e de grupos chave de invertebrados como bioindicadores de manejo de ecossistemas.** Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2002. p.23 (Embrapa Agrobiologia, Documentos 157)
- CONCEIÇÃO, P. C.; AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; SPAGNOLLO, E. Et al. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol.29, p.777-788, 2005.
- COSTA, C.; VANIN, S. A.; CASARI-CHEN, S. A. Larvas de coleoptera do Brasil. **Museu de Zoologia**, São Paulo, p.282, 1988.
- COSTA, R. A.; SILVA, P. C.; PERIN, G. F.; SILVA, P. S.; BORGES, E. N. Estabilidade de Agregados do Solo sob Diferentes Cultivos e Sistemas de Manejo em Latossolo Fase Cerrado. In: 4ª Semana do Servidor e 5ª Semana Acadêmica, 2008. **Necessária utopias+distopias.** Universidade Federal de Uberlândia– UFU 30 anos.
- CSIRO. **The insects of Australia: a textbook for students and research workers.** 2 ed. New York: Cornell University Press. Vol.2. p.1136.
- DAY, P. R. Particle fractionation and particle-size analysis. In: BLACK, C.A. (Ed.). **Methods of soil analysis.** Madison: American Society of Agronomy, 1965, v.1, p.545-556.
- DECAËNS T.; MARIANI, L.; BETANCOURT, N.; JIMÉNEZ, J. J. Seed dispersion by surface casting activities of earthworms in Colombian grasslands. **Acta Oecologica**, Montrouge (França), vol.24, p.175–185, sept, 2003.
- DELBEM, F.; SCABORA, M.; SOARES FILHO, C.; HEINRICHS, R.; FERRARI, T. Colonização micorrízica e fertilidade do solo submetido a fontes e doses de adubação nitrogenada em *Brachiaria brizantha*. **Acta Scientiarum. Agronomy**, vol.32, n. 3, p. 455-461, 2010.
- DINDAL, D. **Soil biology guide.** Ed. John Wiley and Sons. New York, 1990, p.1348.
- DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W. COLEMAN, D.C., BEZDICEK, D.F., STEWART, B.A. **Defining soil quality for a sustainable environment.** Madison: Soil Science Society of America. vol 35. p.3-22. 1994.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo.** 2. Ed. Rio de Janeiro, Embrapa, 1997.212 p.
- ELLERT, B.H.; BETTANY, J.R. Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. **Canadian Journal Soil Science**, v75:529-538, 1995.
- ELLIOT, E.T. Aggregate structure and carbon, nitrogen, and phosphorus in native and cultivated soils. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.50:627-633, 1986.
- FONSECA, G. C.; CARNEIRO, M. A. C, COSTA, A. R.; OLIVEIRA, G. C. O.; BALBINO, L. C. Atributos Físicos, Químicos e Biológicos de Latossolo Vermelho Distrófico de Cerrado Sob duas Rotações de Cultura. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, vol.37, p.22-30, mar, 2007.
- GOLCHIN, A.; OADES, J. M.; SKJEMSTAD, J. O; CLARKE, P. Study of free and occluded particulate organic matter in soil by solid state spectroscopy and scanning electron microscopy. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, vol.32, p.285-309, 1994.
- IBGE. **Mapas de biomas e de vegetação.** Comunicação Social, maio de 2004. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=169. Acesso em 28 out de 2009.

IBGE. **Indicadores de desenvolvimento sustentável**. Estudos e pesquisas: Informação geográfica 7, Rio de Janeiro, 2010. p. 443.

IPEVS. Mapa de ocorrência original do Cerrado no Brasil. 2011. Disponível em: <http://ipevs.org.br/blog/?p=224>. Acesso em 22 ago de 2011.

JONGMANS, A. G.; PULLEMAN, M. M.; BALABANE, M.; VAN OORT, F.; MARINISSEN, J. C. Y. Soil structure and characteristics of organic matter in two orchards differing in earthworm activity. **Applied Soil Ecology**, vol 24, p.219–232, 2003.

KIMPE, C. R.; WARKENTIN, B. P. Soil functions and the future of natural resources. In: BLUME, H. P.; EGER, H.; FLEISHHAUER, E.; HEBEL, A.; REIJ, C. & STEINER, K. G., eds. Towards sustainable land use – Furthering cooperation between people and institutions. **Advances Geocology**, vol.31, p.3-10, 1998.

KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F. Manejo Sustentável dos Solos do Cerrado. In: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F.; AIDAR, H. **Integração Lavoura-Pecuária**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003, p.84.

KLUTHCOUSKI, J.; AIDAR, H.; STONE, L. F.; COBUCCI, T. **Integração lavoura-pecuária e o manejo de plantas daninhas**. Potafos: Encarte técnico, 2004. p.20. (nº 06. Informações agronômicas).

KLUTHCOUSKI, J.; YOKOYAMA, L. P.; Opções da Integração Lavoura-Pecuária. In: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F.; AIDAR, H. **Integração Lavoura-Pecuária**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003.131p.

LARSON, W. E.; PIERCE, F. J. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. In: DORAN, J. W. (Ed.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p.37-51. (SSSA Special Publication, 35).

LAVELLE, P. The soil fauna of tropical savannas. The community structure. In: BOURLIÈRE, F. (Ed.). **Tropical savannas**. Amsterdam: E. S. P. C., 1983. p.477-484.

LAVELLE, P. Diversity of Soil Fauna and Ecosystem Function. **Biology International**, nº 33, p.14, Jul, 1996.

LAVELLE, P. Faunal activities and soil processes: adaptive strategies that determine ecosystem functions. **Advances in Ecological Research**, vol 27, p.93–132, 1997.

LAVELLE, P.; SPAIN, A. V. **Soil ecology**. Amsterdam: Kluwer Scientific Publications, 2001. 654p.

LAVELLE, P. Participatory assessment of macrofaunal functional groups for rehabilitation and improved productivity of pastures, cropland and horticulture. In: BUNNING, J., JIMÉNEZ, J. J. **Indicators and assessment of soil biodiversity/soil ecosystem functioning for farmers and governments**. Soil Erosion and Biodiversity. Rome, Italy. Mar, 2003. p.119.

LEPŠ, J.; ŠMILAUER, P. **Multivariate analysis of ecological data**. Faculty of Biological Sciences, University of South Bohemia České Budějovice, 1999. p.110.

LOURENTE, E. R. P.; SILVA, R. F.; SILVA, D. A.; MARCHETTI, M. E.; MERCANTE, F. M. Macrofauna edáfica e sua interação com atributos químicos e físicos do solo sob diferentes sistemas de manejo. **Acta Scientiarum Agronomy**. Maringá, v.29, n.1, p.17-22, 2007.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; FERREIRA, E. P.; SANTOS, L. L.; BEUTLER, S. J.; FERRAZ-JUNIOR, A. S. L. Frações oxidáveis do carbono orgânico do solo em sistema de

aléias sob Argissolo Vermelho-Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol.33, p.867-874, 2009.

MAIA, S. M. F.; XAVIER, F. A. S.; SENNA, O. T.; MENDONÇA, E. S.; ARAUJO, J. A. Organic carbon pools in a Luvisol under agroforestry and conventional farming systems in the semi-arid region of Ceará, Brazil. **Agroforestry Systems**, v.71:127-138, 2007.

MACEDO, M. C. M. Integração lavoura e pecuária: alternativa para sustentabilidade da produção animal. In: Simpósio Sobre Manejo da Pastagem, 2001, Piracicaba: FEALQ. Planejamento de sistemas de produção em pastagens. **Anais...** 2001. p.257-283.

MACIEL, G. A. **Integração lavoura-pecuária e a qualidade física do solo na região do Cerrado**, 2008. 83p. Tese de Doutorado (Ciência do Solo)– Universidade Federal de Lavras.

MARCHÃO, R. L.; BALBINO, L. C.; VILELA, L.; LAVELLE, P.; BECQUER, T. Macrofauna e agregação de um Latossolo Vermelho após 15 anos de integração lavoura-pecuária, na região do cerrado. In: FERTBIO 2006: A Busca das Raízes. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, **Anais...** 2006. CD-ROM. (Documentos/Embrapa Agropecuária Oeste).

MARCHÃO, R. L.; VILELA, L.; BENITO, N. P.; SANTOS, B. D. Macrofauna edáfica sob diferentes sistemas de manejo num Neossolo Quartzarênico do cerrado do oeste baiano. IX Simpósio Nacional Cerrado. Desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais. **Anais...** Planaltina, DF. Embrapa Cerrados, 2008. CD-ROM

MARCHÃO, R. L. **Integração lavoura-pecuária num Latossolo do Cerrado: impacto na física, matéria orgânica e macrofauna**. 2007. 153p. Tese de Doutorado (Agronomia: Solo e água) - Universidade Federal de Goiás.

MARCHÃO, R. L.; LAVELLE, P.; CELINI, L.; BALBINO, L. C.; VILELA, L.; BECQUER, T. Soil macrofauna under integrated crop-livestock systems in a Brazilian Cerrado Ferralsol. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, vol.44, n.8, p.1011-1020, ago.2009.

MARIN, A. M. P. **Impactos de um sistema agroflorestal com café na qualidade do solo**. 2002. 65p. Tese de Mestrado (Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa – UFV.

MELLO, N. A.; CÉCILLON, L. & BRUN, J.J. Formação e propriedades de Macroagregados de um solo alpino sob três tipos de vegetação nativa. In: XVII Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água: No contexto das mudanças ambientais, **Anais...** SBCS. Rio de Janeiro, 2008. CD-ROM.

MELO, A. S. O que ganhamos 'confundindo' riqueza de espécies e equabilidade em um índice de diversidade? **Biota Neotropica**, vol.8, p.21-27, 2008.

MELO, F. V.; BROWN, G. G.; CONSTANTINO, R.; LOUZADA, J. N. C.; LUIZÃO, F. J.; MORAIS, J. W.; ZANETTI, R. A importância da meso e macrofauna do solo na fertilidade e como bioindicadores. **Boletim Informativo da SBCS**, p.38-43, jan-abr, 2009.

MIELNICZUK, J. Matéria orgânica e a sustentabilidade de ecossistemas agrícolas. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. (Ed.) **Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2ª edição, Porto Alegre: Editora Cinco Continentes, 2008. p.1-5.

MMA & IBAMA. **Relatório técnico do monitoramento do desmatamento no Bioma Cerrado**, 2002 a 2008: Dados revisados. Acordo de cooperação técnica MMA/IBAMA/PNUD, nov, 2009. p.67.

- MIRANDA, H.; MIRANDA, A. C. O uso da terra e queimadas no ciclo do carbono no Cerrado. In: MOREIRA, A. G.; SCHWARTZMAN, S. (Eds). **As mudanças climáticas e os ecossistemas brasileiros**. Brasília DF: Editora Foco, 2000, p.75-81.
- MOREIRA, F. M. S.; HUISING, E. J.; BIGNELL, D. E. **Manual de biologia dos solos tropicais**: Amostragem e caracterização da biodiversidade. Editora UFLA, 2010. 368 p.
- NICOLOSO, R. S. **Dinâmica da matéria orgânica do solo em áreas de integração lavoura-pecuária sob sistema plantio direto**. 2005. 150p. Dissertação (Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, RS. 2005
- OLIVEIRA, J. R. A.; MENDES, I. C.; VIVALDI, L. Carbono a biomassa microbiana em solos de Cerrado sob vegetação nativa e sob cultivo: Avaliação dos métodos fumigação-incubação e fumigação-extração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, vol.25, p.863-871, 2001.
- OLIVEIRA, I. P.; COSTA, K. A. P.; RODRIGUES, C.; FLÁVIA DA ROCHA MACEDO, F. R.; MOREIRA, F. P.; SANTOS, K. J. G. Manutenção e correção da fertilidade do solo para inserção do cerrado no processo produtivo. **Revista Eletrônica Faculdade Montes Belos**, Goiás, vol.1, n.1, p.50-64, ago.2005.
- PULLEMAN, M. M.; MARINISSEN, J. C. Y. Physical protection of mineralizable C in aggregates from long-term pasture and arable soil. **Geoderma**, vol. 120, p.273–282, 2004.
- ROSA JUNIOR, E. J. R.; PEREIRA, S. B.; ROSA, Y. B. C. J. Efeitos da irrigação nas características químicas e físicas do solo e no desenvolvimento da cultura do trigo (*Triticum aestivum* L.). **Revista Agrarian**, v.2, n.3, p.53-64, jan./mar.2009.
- RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A; GUIMARÃES, P. T. G. Estoque e frações da matéria orgânica de Latossolo cultivado com cafeeiro em diferentes espaçamentos de plantio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol.31, n.6, p 1341-1353, 2007.
- RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A; GUIMARÃES, P. T. G. GUILHERME, L. R. G.; Frações oxidáveis do carbono orgânico de latossolo cultivado com cafeeiro em diferentes espaçamentos de plantio. **Ciência Agrotécnica**, vol.32, n.2, p.429-437, 2008.
- RESK, D. V. S. Perspectivas do uso e manejo dos solos no cerrado. In: ARAÚJO, Q. R. (Org). **500 anos de uso do solo no Brasil**. Ilhéus: UESC, 2002. p.219-237.
- RESK, D. V. S.; FERREIRA, E. A. B.; FIGUEIREDO, C. C.; ZINN, Y. L. Dinâmica da matéria orgânica no Cerrado. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F.A.O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo**: Ecossistemas tropicais e subtropicais. 2ª edição, Porto Alegre: Editora Cinco Continentes, 2008, p.359-417.
- REZENDE, J. O. **Conseqüências da aplicação de vinhaça sobre algumas propriedades físicas de um solo Aluvial** (estudo de um caso). 1979. 112p. Tese de Doutorado (Solos e Nutrição de Plantas) Universidade de São Paulo, ESALQ.
- RUIVO, M. L. P.; AMARAL, I. G.; FARO, M. P. S.; RIBEIRO, E. L. C.; GUEDES, A. L. S; SANTOS, M. M. L. S. Caracterização química da manta orgânica e da matéria orgânica leve em diferentes tipos de solo em uma toposseqüência na ilha de Algodoal/Maiandeuá, PA. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**, v.1, p.227-234. 2005. (Série Ciências Naturais).
- SÁ, J. C. M.; CERRI, C. C.; DICK, W. A.; LAL, R.; VENZKE FILHO, S. P.; PICCOLO, M. C. & FEIGL, B. E. Organic matter dynamics and carbon sequestration rates for a tillage chronosequence in a Brazilian Oxisol. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v.65, p.1486-1499, 2001.

- SÁ, J. C. M.; SÁ, M. S. M.; SANTOS, J. B.; OLIVEIRA, A. Dinâmica da matéria orgânica nos Campos Gerais. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecosistemas tropicais e subtropicais**. 2ª edição, Porto Alegre: Editora Cinco Continentes, 2008, p.443-461.
- SANCHES, L.; VALENTINI, C. M. A.; BIUDES, M. S.; NOGUEIRA, J. S.; Dinâmica sazonal da produção e decomposição de serrapilheira em floresta tropical de transição. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, vol.13, p.183-189, 2009.
- SANTOS, J. B. **Carbono e nitrogênio em classes de solos com diferentes texturas e tempo de adoção do sistema plantio direto – espacialização e contribuição do sistema**. 2010, p.145, Tese de Doutorado (Produção Vegetal). Universidade Federal do Paraná. 2010.
- SILVA, J. E.; LEMAINSKI, J.; RESCK, D. V. S. Perdas de matéria orgânica e suas relações com a capacidade de troca catiônica em solos da região de cerrados do oeste baiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, vol.18, n.3, p.541-547, 1994.
- SILVA, R. F.; AQUINO, A. M.; MERCANTE, F. M.; GUIMARÃES, M. F. Macrofauna invertebrada do solo sob diferentes sistemas de produção em Latossolo da Região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, vol.41, n.4, p.697-704, abril, 2006.
- SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S.; Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. **Fertilidade do solo**. 2ª edição. Viçosa-MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, p.275-374.
- SILVA, R.F.; TOMAZI, M.; PEZARICO, C.R.; AQUINO, A.M.; MERCANTE, F.M. Macrofauna invertebrada edáfica em cultivo de mandioca sob sistemas de cobertura do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, p.865-871, jun, 2007.
- SILVA NETO, L. F.; SILVA, I. F.; INDA, A. V.; NASCIMENTO, P. C.; BORTOLON, L. Atributos físicos e químicos de agregados pedogênicos e de coprólitos de minhocas em diferentes classes de solos da Paraíba. **Ciência Agrotecnica**, Lavras, v.34, n.6, p.1365-1371, nov./dez., 2010
- SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S. Matéria orgânica do solo. In: VARGAS, M. A. T.; HUNGRIA, M. **Biologia dos solos dos cerrados**, EMBRAPA, 1997. Capítulo 9, p.467-524.
- SIQUEIRA NETO, M. **Estoque de carbono e nitrogênio do solo com diferentes usos no Cerrado em Rio Verde (GO)**. 2006. 162p. Tese de Doutorado (Energia Nuclear na Agricultura) - Universidade de São Paulo, 2006.
- SISTI, C. P. J.; SANTOS, H. P.; KOHHANN, R.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v.76, p.39-58, 2004.
- SOARES NETO, J. P.; SOUZA, N. M.; OLIVEIRA, S. R. Estabilidade de agregados em água em solos do Cerrado baiano em função do manejo adotado. IX Simpósio Nacional Cerrado. Desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais. **Anais...** Planaltina, DF. Embrapa Cerrados, 2008. CD-ROM
- SOUSA, D. M.G.; LOBATO, E. **Cerrado: Correção do solo e adubação**. 2ª edição. Embrapa Informação Tecnológica. Brasília –DF, 2004, p. 81-96.
- SOUZA, E.M. **Evolução da matéria orgânica, do fósforo e agregação do solo de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo**. 2008, p.142. Tese de Doutorado (Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

TEDESCO, J. M.; VOLKWEISS, S. J.; BOHNEN, H. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: UFRGS, Boletim Técnico de Solos, 5, 1985. 186p.

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

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G. Dinâmica do potássio nos resíduos vegetais de plantas de cobertura no Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa - MG., vol.32, p.75-87, 2007.

VELASQUEZ, E.; PELOSI, C.; BRUNET, D.; GRIMALDI, M.; MARTINS, M.; RENDEIRO, A. C.; BARRIOS, E.; LAVELLE, P. This ped is my ped: Visual separation and near infrared spectra allow determination of the origins of soil macroaggregates. **Pedobiologia**, vol.51, p.75-87, 2007.

VEZZANI, F. M.; CONCEIÇÃO, P. C.; MELLO, N. A.; DIECKOW, J. Matéria orgânica e qualidade do solo. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2ª edição, Porto Alegre: Editora Cinco Continentes, 2008, p.483-494.

VILELA, L.; MACEDO, M. C. M.; MARTHA JUNIOR, G. B.; KLUTHCOUSKI, J. Benefícios da Integração Lavoura-Pecuária. In: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F.; AIDAR, H., **Integração Lavoura-Pecuária**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. p.165.

WALKLEY, A.; BLACK, A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**, Baltimore, vol.37, p.29-38, 1934.

WOHLENBERG, E. V.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. E BLUME, E. Dinâmica da agregação de um solo franco-arenoso em cinco sistemas de culturas em rotação e em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, vol.28, no.5, p.891-900, 2004.

YEOMANS, J. C. & BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, vol.19, p.1467-1476, 1988.

ZAR, J. H. **Biostatistical analysis**. Third edition. Prentice-Hall International Editions, New Jersey, 1996. 931p.