

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS**

**EFEITO DE SUCESSÕES DE CULTURAS NA  
QUALIDADE DO SOLO EM UM SISTEMA PLANTIO  
DIRETO**

DENIS AUGUSTO DA SILVA

DOURADOS  
MATO GROSSO DO SUL  
2007

**EFEITO DE SUCESSÕES DE CULTURAS NA QUALIDADE DO  
SOLO EM UM SISTEMA PLANTIO DIRETO**

DENIS AUGUSTO DA SILVA  
Engenheiro Agrônomo, M.S.

Orientador: PROF. DR. LUIZ CARLOS FERREIRA DE SOUZA

Tese apresentada à Universidade Federal da Grande Dourados, como parte das exigências do programa de Pós-graduação em Agronomia – Produção Vegetal, para a obtenção do título de Doutor.

Dourados  
Mato Grosso do Sul  
2007

Efeito de sucessões de culturas na qualidade do solo em um  
sistema plantio direto

por

Denis Augusto da Silva

Tese apresentada como parte dos requisitos exigidos para obtenção do  
título de DOUTOR EM AGRONOMIA

Aprovado em 29/11/2007

Prof. Dr. Luiz Carlos Ferreira de Souza  
Orientador  
UFGD/FCA

Prof. Dr. Manoel Carlos Gonçalves  
UFGD/FCA

Prof. Dr. Antonio Carlos Tadeu Vitorino  
UFGD/FCA

Dr. Júlio Cesar Salton  
Embrapa Agropecuária Oeste

Prof. Dr. Cássio Egidio Cavenaghi Prete  
UEL/CCA

## **DEDICATÓRIA**

Dedico esta Tese a meus filhos

Denise Correia Silva

Vitor Augusto Correia Silva

Luís Augusto Correia Silva

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, de quem recebemos a inteligência para bem administrar os recursos da Terra;  
Aos meus pais Dorival Jesus da Silva e Maria Tercília Marques Silva, responsáveis pela minha educação e caráter, que sempre me incentivaram a perseverar nos estudos;  
À minha esposa Alessandra Menegheti Correia, que nunca me deixou desanimar;  
À Universidade Federal da Grande Dourados, pela oportunidade da realização do curso e condução deste trabalho;  
Ao meu orientador Prof. Dr. Luiz Carlos Ferreira de Souza, pela orientação, estímulo e confiança na elaboração deste trabalho;  
Ao prof. Dr. Manoel Carlos Gonçalves e prof. Dr. Antonio Carlos Tadeu Vitorino que como co-orientadores foram fundamentais no planejamento, condução e discussão do trabalho;  
Aos professores das disciplinas que cursei e que transmitiram conhecimentos valiosos para o meu aperfeiçoamento;  
Aos funcionários da UFGD que me auxiliaram nos trabalhos de campo ou laboratório;  
Aos alunos de iniciação científica, que me auxiliaram nos trabalhos de instalação e condução do experimento;  
Aos colegas do curso de Doutorado, que estiveram presentes dividindo os estudos e trabalhos neste período;  
À FUNDECT, pelo apoio financeiro durante o curso;  
A todos que direta ou indiretamente contribuíram na minha formação e na condução deste trabalho.

## SUMÁRIO

	PÁGINA
LISTA DE TABELAS DO CAPÍTULO I.....	vi
LISTA DE TABELAS DO CAPÍTULO II.....	vii
LISTA DE FIGURAS.DO CAPÍTULO I.....	viii
LISTA DE FIGURAS.DO CAPÍTULO II.....	ix
INTRODUÇÃO.....	1
CAPÍTULO I.....	3
RESUMO.....	4
ABSTRACT.....	5
1.1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	6
1.2. MATERIAL E MÉTODOS.....	11
1.2.1. Descrição dos experimentos.....	11
1.2.2. Determinações.....	15
1.2.3. Análise estatística.....	16
1.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	19
1.4. CONCLUSÕES.....	30
1.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	31
1.6. ANEXOS.....	37
CAPÍTULO II.....	39
RESUMO.....	40
ABSTRACT.....	41
2.1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	42
2.2. MATERIAL E MÉTODOS.....	45
2.2.1. Descrição dos experimentos .....	45
2.2.2. Determinações.....	49
2.2.3. Análise estatística.....	50
2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	53
2.4. CONCLUSÕES.....	66
2.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	67
2.6. ANEXOS.....	70

## LISTA DE TABELAS DO CAPÍTULO I

	PÁGINA
TABELA 1. Seqüência de culturas entre os anos de 2000 e 2004, nas parcelas avaliadas no ano agrícola 2004/05. Dourados, 2007.....	12
TABELA 2. Seqüência de culturas entre os anos de 2001 e 2005, nas parcelas avaliadas no ano agrícola 2005/06. Dourados, 2007.....	12
TABELA 3. Resultados da análise química do solo nas parcelas do primeiro ano agrícola (2004/05) coletada antes da semeadura das culturas de inverno. Dourados, 2007.....	13
TABELA 4. Análise química do solo nas parcelas da área experimental do segundo ano agrícola (2005/06) coletada antes da semeadura das culturas de inverno. Dourados, 2007.....	14
TABELA 5. Teste F dos efeitos fixos para as variáveis, macroporosidade, microporosidade, volume total de poros, densidade do solo e teor de carbono do solo. Dourados, 2007.....	19
TABELA 6. Teste F dos efeitos fixos para as variáveis diâmetro médio ponderado de agregados, diâmetro médio geométrico de agregados, agregados maiores que 2 mm, agregados entre 1 e 2 mm, agregados entre 0,5 e 1 mm, agregados entre 0,25 e 0,5 mm e agregados entre 0,125 e 0,25 mm. Dourados, 2007.....	20
TABELA 7. Médias de diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG), porcentagem de agregados maiores que 2 mm (>2 mm) e carbono orgânico total (COT) nas três camadas e nos dois anos. Dourados, 2007.....	22
TABELA 8. Massa seca de cobertura (kg ha <sup>-1</sup> ) e equação ajustada da cobertura do solo em função do tempo, proporcionada pelos resíduos das culturas antecessoras, nos dois anos avaliados. Dourados, 2007.....	27
TABELA 9. Teste F para a produtividade e os componentes de produção do milho cultivado após as culturas de inverno, nos dois anos, Dourados, 2007.....	29

## LISTA DE TABELAS DO CAPÍTULO II

	PÁGINA
TABELA 1. Seqüência de culturas entre os anos de 2000 e 2004, nas parcelas avaliadas no ano agrícola 2004/05. Dourados, 2007.....	46
TABELA 2. Seqüência de culturas entre os anos de 2001 e 2005, nas parcelas avaliadas no ano agrícola 2005/06. Dourados, 2007.....	46
TABELA 3. Análise química do solo nas parcelas do primeiro ano agrícola (2004/05) coletada antes da semeadura das culturas de inverno.....	47
TABELA 4. Análise química do solo nas parcelas do segundo ano agrícola (2005/06) coletada antes da semeadura das culturas de inverno.....	47
TABELA 5. Teste F dos efeitos fixos para as variáveis, teor de carbono total, teor de carbono da MOP, teor de carbono da MOP, estoque de carbono da MOP e estoque de carbono da MOM. Dourados, 2007.....	54
TABELA 6. Teste F dos efeitos fixos para as variáveis teor de nitrogênio total do solo, estoque de nitrogênio do solo, teor de nitrogênio da MOM, estoque de nitrogênio da MOM, teor de nitrogênio da MOP, estoque de nitrogênio da MOP. Dourados, 2007.....	55
TABELA 7. Teste F dos efeitos fixos para as relações carbono/nitrogênio da matéria orgânica total do solo, para a fração mineral e para a fração particulada, dos dois anos avaliados. Dourados, 2007.....	55
TABELA 8. Médias dos teores de carbono ( $\text{g kg}^{-1}$ ), teores de nitrogênio ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) e relação C/N totais do solo e das frações da matéria orgânica particulada (MOP) e da matéria orgânica mineral (MOM), nas camadas de solo. Dourados, 2007.....	57
TABELA 9. Teste F dos efeitos fixos para as variáveis, estoque inicial de carbono total, estoque final de carbono total, ganho absoluto no estoque de carbono total e ganho proporcional no estoque de carbono total. Dourados, 2007.....	62
TABELA 10. Massa de resíduos de superfície das culturas antecessoras ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) e estoque de carbono do solo ( $\text{g m}^{-2}$ ). Dourados, 2007.....	63
TABELA 11. Médias dos teores de N da matéria orgânica particulada ( $\text{g kg}^{-1}_{\text{solo}}$ ), por cultura antecessora e por camada de solo. Dourados, 2007.....	64
TABELA 12. Médias dos estoques de N da matéria orgânica particulada ( $\text{g dm}^{-1}_{\text{solo}}$ ), por cultura antecessora e por camada de solo. Dourados, 2007.....	64



## LISTA DE FIGURAS DO CAPÍTULO I

	PÁGINA
FIGURA 1. Precipitação por decêndio e temperaturas máxima e mínima mensal no ano agrícola 2004/05. Estação Meteorológica UFGD. Dourados, 2007....	14
FIGURA 2. Precipitação por decêndio e temperatura máxima e mínima mensal no ano agrícola 2005/06. Estação meteorológica UFGD. Dourados, 2007.....	14
FIGURA 3. Percentagem de macroporos, microporos e volume total de poros nas barras e densidade do solo ( $\text{g cm}^{-3}$ ) à direita, nas três camadas (0 a 5 cm, 5 a 10 cm e 10 a 20 cm) e nos dois anos avaliados. Dourados, 2007.....	20
FIGURA 4. Médias de teor de carbono orgânico total (COT) em $\text{g kg}^{-1}$ de solo, para as cinco culturas antecessoras e nos dois anos avaliados. Dourados, 2007.....	23
FIGURA 5. Distribuição relativa dos agregados do solo por classes de tamanho, nas três camadas e nos dois anos avaliados. Dourados, 2007.....	24
FIGURA 6. Correlações entre diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG) dos agregados com o carbono orgânico total (COT) nos dois anos de estudo. Dourados, 2007.....	25
FIGURA 7. Percentagem de cobertura do solo pelos resíduos das culturas de inverno nos dois anos avaliados. Dourados, 2007.....	28

## LISTA DE FIGURAS DO CAPÍTULO II

PÁGINA

FIGURA 1. Precipitação por decêndio e temperaturas máxima e mínima mensal, no ano agrícola 2004/05. Estação Meteorológica UFGD. Dourados, 2007.....	48
FIGURA 2. Precipitação por decêndio e temperaturas máxima e mínima mensal, no ano agrícola 2005/06. Estação Meteorológica UFGD. Dourados, 2007.....	48
FIGURA 3. Médias dos teores de carbono orgânico total (C_tot) em g kg <sup>-1</sup> de solo, para as cinco culturas antecessoras e nos dois anos. Dourados, 2007.....	55
FIGURA 4. Médias dos teores de carbono da matéria orgânica particulada (C_mop) em g kg <sup>-1</sup> de solo, para as cinco culturas antecessoras e nos dois anos avaliados. Dourados, 2007.....	56
FIGURA 5. Médias dos teores de carbono da matéria orgânica mineral (C_MOM) em g kg <sup>-1</sup> de solo, para as cinco culturas antecessoras e nos dois anos avaliados. Dourados, 2007.....	57
FIGURA 6. Estoques de carbono no solo (kg m <sup>-2</sup> ) até a profundidade de 20 cm, para as cinco culturas antecessoras e nos dois anos avaliados. Dourados, 2007.....	59
FIGURA 7. Estoques de carbono no solo (g dm <sup>-3</sup> ), para as camadas e nos dois anos avaliados. Dourados, 2007.....	60
FIGURA 8. Estoques de carbono inicial e final nos dois anos avaliados. Dourados, 2007.....	62
FIGURA 9. Estoques de nitrogênio no solo (g dm <sup>-3</sup> ), para as camadas e nos dois anos avaliados. Dourados, 2007.....	63
FIGURA 10. Histórico anual do estoque de carbono do solo (kg m <sup>-2</sup> ) na camada de 0 a 20 cm, nas parcelas avaliadas no Ano 1. Dourados, 2007.....	65
FIGURA 11. Histórico anual do estoque de carbono do solo (kg m <sup>-2</sup> ) na camada de 0 a 20 cm, nas parcelas avaliadas no Ano 2. Dourados, 2007.....	65

## INTRODUÇÃO

O solo é um componente importante da biosfera terrestre, não somente no sistema de produção agrícola, mas também na manutenção da qualidade ambiental. Segundo Reinert (1997), a sustentabilidade de um solo, relacionada ao ambiente e ao crescimento de plantas é função de suas propriedades químicas, físicas e biológicas. O sistema de manejo do solo deve contribuir para a manutenção ou melhoria da qualidade do solo e do ambiente, bem como para a obtenção de adequadas produtividades das culturas (Costa *et al.*, 2003).

O Sistema Plantio Direto (SPD) é um sistema de manejo conservacionista com reduzida movimentação do solo, que visa minimizar o impacto da agricultura sobre o ambiente. O não atendimento aos seus requisitos mínimos (ausência de revolvimento, cobertura permanente do solo e rotação de culturas), pode provocar a degradação estrutural do solo. Algumas práticas que podem minimizar este problema são: a redução do trânsito de máquinas na área, a consorciação e sucessão de culturas com espécies de sistema radicular mais profundo e vigoroso, o aumento da produção de palha de superfície e o aumento da matéria orgânica do solo.

O problema de degradação física dos solos no SPD, como a compactação, diminui a movimentação de água e o crescimento de raízes (Freitas, 2001), o que pode levar os produtores a realizarem a mobilização do solo, com conseqüente perda de matéria orgânica. Reduções na quantidade de matéria orgânica do solo resultam em emissão de gases causadores do efeito estufa para a atmosfera e aumento do aquecimento global. A

redução da matéria orgânica também influi na sustentabilidade do solo, com conseqüências na disponibilidade de nutrientes para as plantas e na agregação do solo (Cerri *et al.*, 2007).

A proteção dos solos e dos recursos hídricos é fundamental para a qualidade ambiental e a manutenção das produtividades agrícolas ao longo do tempo (Collins *et al.*, 1992). Desequilíbrios no suprimento de matéria orgânica e alterações na taxa de decomposição podem provocar a redução de carbono em solos cultivados, desencadeando processos de degradação (Roscoe & Machado, 2002). Quando ocorre a substituição de ecossistemas naturais por agroecossistemas pode ocorrer declínio no conteúdo de carbono do solo, decorrente da redução no aporte de carbono e aumento da decomposição da matéria orgânica (Rosa *et al.*, 2003). As operações de preparo aceleram a decomposição da matéria orgânica e grandes quantidades de material vegetal devem retornar ao solo para manter ou aumentar os níveis do carbono do mesmo.

A manutenção dos resíduos culturais aumenta os teores de carbono orgânico do solo e a associação com métodos de manejo com reduzida movimentação do solo contribuem para a retenção deste carbono (Kushwaha *et al.*, 2001). Por outro lado, o efeito combinado da redução da movimentação do solo e da manutenção de resíduos vegetais é maior do que o uso isolado de tais práticas para o aumento do carbono do solo (Kushwaha *et al.*, 2001). O uso de culturas de cobertura planejadas em um sistema de rotação/sucessão pode auxiliar na manutenção e aumento dos estoques de carbono do solo, principalmente pela alta produção de resíduos vegetais, sistema radicular diferenciado ou fixação de nitrogênio atmosférico, que pode incrementar a produção de massa das culturas de inverno e assim aumentar também a entrada de carbono no sistema.

A diversificação de culturas e a introdução de plantas com alta produção de massa vegetal podem favorecer o incremento de carbono adicionado ao solo. Dentro de um sistema de sucessões de culturas as diferentes espécies podem ter efeitos diferenciados no acúmulo de carbono no solo, seja pela ação diferenciada do sistema radicular de cada espécie ou pela quantidade de resíduos deixados na superfície do solo e velocidade de decomposição destes resíduos. A partir desta hipótese objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de culturas de inverno em alguns atributos físicos do solo e nos teores e estoques de carbono no solo, assim como nas frações da matéria orgânica do solo.

## **CAPÍTULO I**

### **SUCESSÕES DE CULTURAS EM ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO SOB SISTEMA PLANTIO DIRETO**

# SUCESSÕES DE CULTURAS EM ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO SOB SISTEMA PLANTIO DIRETO

DENIS AUGUSTO DA SILVA

Orientador: Luiz Carlos Ferreira de Souza

## RESUMO

A degradação física dos solos, como a compactação, reduz a movimentação de água e o crescimento de raízes. A estrutura do solo é considerada como uma de suas mais importantes propriedades do ponto de vista agrícola, pois a ela estão relacionadas outras propriedades fundamentais nas relações solo-planta. Com o objetivo de se avaliar o efeito de culturas antecessoras nos atributos físicos do solo realizou-se este trabalho em um Latossolo Vermelho Distroférico, textura muito argilosa, nas safras 2004/05 e 2005/06, na Universidade Federal da Grande Dourados em uma área há 8 anos sob plantio direto. O delineamento experimental foi em blocos completos casualizados com três repetições. Foram avaliados sistemas de culturas com as espécies girassol (*Helianthus annuus* L.), crotalária (*Crotalaria juncea* L.), ervilhaca peluda (*Vicia villosa* Roth), consórcio de crotalária e aveia preta (*Avena strigosa* Schreb) e consórcio de aveia preta, ervilhaca peluda e nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L. var. *oleiferus* Metzg). Não foi observada diferenças significativas na densidade do solo, na porosidade e nos índices de agregação quando o solo foi cultivado com girassol, ervilhaca peluda, crotalaria juncea, ou os consórcios. Houve diferenças nos atributos físicos do solo entre a camada de 0-5 cm e as camadas 5-10 e 10-20 cm, porém, sem diferenças entre as camadas 5-10 e 10-20 cm. Houve uma tendência a maiores teores de carbono do solo em cultivos com alta produção de resíduos, mas as diferenças nos teores de carbono não foram suficientes para modificar a agregação do solo.

**Palavras Chave:** Culturas de inverno, Agregação, Porosidade, Densidade, Carbono.

# **CROP SEQUENCES ON PHYSICAL ATTRIBUTES OF SOIL UNDER A NO-TILLAGE SYSTEM**

DENIS AUGUSTO DA SILVA

Adviser: Luiz Carlos Ferreira de Souza

## **ABSTRACT**

Soil physical degradation, like compaction, reduces water movement and root development. Soil structure is considered one of most importance to agriculture, because other fundamental properties are closed related to it in soil-plant relationship. The objective of this study was to evaluate the effect of crop sequences on physical attributes of soil. The research was realized in 2004/05 and 2005/06 growing seasons, in a Typic Clayey Rhodic Hapludox, under 8 years of no-tillage system, at Universidade Federal da Grande Dourados Campus. The experiment was a randomized complete block design, with three replications. Treatments were constituted by cover crops: sunflower (*Helianthus annuus* L.), sunnhemp (*Crotalaria juncea* L.), hairy vetch (*Vicia villosa* Roth), mixture of sunnhemp + black oat (*Avena strigosa* Schreb), and mixture of black oat + hairy vetch + oilseed radish (*Raphanus sativus* L. Var. *oliferus* Metzg). Differences were not observed in soil density, in porosity and in aggregation rate when soil cultivated with sunflower, hairy vetch, sunnhemp, or the mixtures. Differences were observed in soil physical properties between 0-5 cm layer and 5-10cm – 10-20cm layers, but no differences between 5-10 cm and 10-20cm layers. Soil carbon trend to higher contents in crops with high production of surface residues, although carbon contents differences were insufficient to modify aggregation. Corn yield was unattached from previous crops, but in the year, where rain was better distributed, it was higher.

**Key Words:** Winter crops, Aggregation, Porosity, Density, Carbon.

## 1.1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A exploração dos recursos naturais, a partir da monocultura pode provocar a degradação dos solos, determinada por declínio do teor de matéria orgânica e deterioração da sua estrutura e fertilidade (Hernani *et al.*, 1995). Quando há a substituição de ecossistemas naturais por sistemas agrícolas ocorre uma simplificação ecológica, que pode levar a uma redução no conteúdo de carbono do solo (Rosa *et al.*, 2003), que tem grande contribuição na capacidade de troca de cátions do solo e no aumento da sua porosidade (Canellas *et al.*, 2000). A porosidade do solo influencia diretamente a resistência à penetração das raízes e a retenção de água (Araújo *et al.*, 2004).

Práticas de manejo provocam alterações nas propriedades do solo, principalmente na sua estrutura, sendo tais alterações permanentes ou temporárias. A estabilidade das unidades estruturais depende do tipo de manejo do solo e de culturas (Campos *et al.*, 1999). A estrutura do solo é considerada como uma de suas mais importantes propriedades do ponto de vista agrícola, pois a ela estão relacionadas outras propriedades fundamentais nas relações solo-planta (Ferreira *et al.*, 1999).

Segundo Schulze & Stott (1997), a agregação do solo se dá em três estágios, sendo o primeiro resultado da ação de ligantes inorgânicos, que mantém as partículas unidas por ligações eletrostáticas e resulta em agregados menores que 2  $\mu\text{m}$ . O segundo estágio, que inclui agregados entre 2 e 20  $\mu\text{m}$ , resulta da junção de partículas de microagregados unidas por materiais húmicos e polissacarídeos associados com cátions



di e trivalentes, sendo que a sua persistência depende da persistência dos agentes ligantes. No terceiro estágio, raízes, pelos radiculares e hifas de fungos, unem agregados do estágio anterior em agregados entre 20 e 200  $\mu\text{m}$ , sendo que estes podem ser alterados rapidamente pelo manejo do solo.

Segundo Azevedo & Schulze (2007), macroagregados são mais dependentes de hifas de fungos e de pelos radiculares, enquanto microagregados dependem mais das propriedades coloidais e da química do solo. Kushwaha *et al.* (2001), encontraram em macroagregados maior teor de carbono do que em microagregados. Liu *et al.* (2005), encontraram alta correlação entre a agregação do solo, carbono orgânico e polissacarídeos, principalmente nos macroagregados maiores que 0,25 mm, indicando que os polissacarídeos resultantes da decomposição dos resíduos vegetais são importantes agentes ligantes na estabilização dos agregados.

As propriedades físicas do solo são alteradas pelo manejo, sendo que sistemas que proporcionam aumento do teor de carbono orgânico do solo também promovem maiores valores de diâmetro médio ponderado de agregados (Bertol *et al.*, 2004). Kushwaha *et al.* (2001), observaram maiores proporções de macroagregados quando este foi mantido com resíduos vegetais na superfície e sem preparo do solo. Silva *et al.* (2000), encontraram na camada superficial do solo os maiores valores de índice de floculação e de agregados maiores que 2 mm, tanto em mata nativa como em Sistema Plantio Direto (SPD), sendo estes valores relacionados com os maiores teores de matéria orgânica.

A presença de resíduos vegetais na superfície do solo reduz a velocidade de escoamento e pode reduzir a taxa de desagregação do solo. No trabalho de Cassol *et al.* (2004), o solo com 100% de cobertura por palha de soja teve uma perda de solo 10 vezes menor do que o solo descoberto. Debarba & Amado (1997) concluíram que a cobertura do solo pelos adubos verdes reduziu as perdas de solo em 99% e as de água em 85%, sendo que a cobertura do solo com o consórcio de ervilhaca e aveia aumentou em 200% a infiltração de água em comparação ao solo descoberto. Silva *et al.* (2006), encontraram perda de água por escoamento superficial no plantio convencional de 222 mm, contra apenas 45 mm no plantio direto com boa cobertura do solo. Estes autores demonstram que existem diferenças entre os resíduos de culturas, quanto à cobertura do solo, sendo os resíduos de milho mais eficientes que os de milho e de soja na cobertura do solo.

Bertol *et al.* (2004) encontraram maiores densidades do solo na camada superficial em um sistema plantio direto (SPD) do que em sistema plantio convencional, sendo este fato explicado pela pressão exercida no solo pelo trânsito de máquinas e ausência de preparo, já no sistema convencional o revolvimento do solo promoveu diminuição da densidade. Nem sempre, porém, a maior densidade superficial é prejudicial para as culturas. Neste mesmo trabalho, a agregação do solo no SPD foi semelhante ao campo nativo, enquanto que no preparo convencional a agregação foi menor. A maior densidade na camada superficial do sistema plantio direto, pode ser devida ao maior trânsito de máquinas e a diminuição da densidade na subsuperfície indica uma melhor qualidade física, devido à maior atividade da fauna edáfica e de raízes mantidas no SPD (Costa *et al.*, 2003).

Um dos fatores imprescindíveis para a implantação do SPD e para a manutenção do mesmo é a presença de cobertura vegetal morta para proteger o solo, planejado dentro de um sistema de rotação de culturas (Kochhann, 1996). A manutenção de restos culturais na superfície do solo, num sistema de rotação de culturas, é um importante fator para propiciar melhorias na estrutura do solo, refletindo na infiltração de água, redução da temperatura superficial do solo e aumento da estabilidade dos agregados (Floss, 2000).

Liu *et al.* (2005), encontraram em solos do Canadá, maior estabilidade de agregados quando cultivou-se centeio e azevém do que com cevada e estas diferenças estiveram diretamente relacionadas com o teor de carbono orgânico total do solo proporcionado por cada cultura. Albuquerque *et al.* (2005), encontraram maiores teores de carbono orgânico do solo em sistemas que incluíram leguminosas como adubos verdes intercalares ao milho e este aumento esteve relacionado com o elevado aporte de resíduos das espécies.

A introdução de plantas de cobertura intercalar ao milho demonstrou no trabalho de Argenton *et al.* (2005), ser uma prática benéfica para as propriedades relacionadas com a estrutura do solo, sendo a mucuna cinza mais promissora que guandu anão, já que aumentou a macroporosidade, a porosidade total e a condutividade hidráulica, além de reduzir a densidade do solo. Wohlenberg *et al.* (2004), trabalhando com diferentes sistemas de sucessões e rotações de culturas concluem que a maior percentagem de agregados ocorreu quando o solo foi mantido com cobertura vegetal durante todo o ano.

Deixar o solo descoberto causa a degradação de sua estrutura, pelo impacto da gota de chuva e pela diminuição do teor de matéria orgânica (Wohlenberg *et al.*, 2004). Quanto maior a quantidade de palha sobre o solo, maior tem de ser a força dos agentes compactantes para se atingir determinada densidade do solo. Isto se dá pela capacidade da palha presente na superfície, absorver parte da energia aplicada sobre o solo (Braidá *et al.*, 2006). Estes autores encontraram em quantidades de palha, acima de 10 Mg ha<sup>-1</sup>, dissipação de 30% da energia aplicada sobre o solo.

Giacomini *et al.* (2003), encontraram produção de fitomassa semelhante entre o consórcio de aveia preta e ervilhaca, o consórcio de aveia preta e nabo forrageiro e o cultivo isolado de aveia e de nabo, com valores de 4 a 5 Mg ha<sup>-1</sup>, enquanto o cultivo isolado de ervilhaca teve uma produção de 2 a 3 Mg ha<sup>-1</sup>. Comparando com a vegetação espontânea, que produziu 0,8 Mg ha<sup>-1</sup>, o uso de culturas de cobertura se mostrou vantajoso para a conservação do solo. Williams & Weil (2004), concluíram que o uso de centeio em comparação com nabo forrageiro e nabo granífero como culturas de cobertura, foi mais eficiente em manter a umidade do solo na cultura da soja seguinte, devido à maior quantidade de palha deixada sobre o solo.

A compactação do solo pode prejudicar o desenvolvimento do sistema radicular e conseqüentemente o desenvolvimento da planta. Rosolem *et al.* (1999), observaram que o desenvolvimento da raiz seminal e das raízes adventícias de milho é diminuído em maiores densidades do solo. Apesar de que, em solos com densidades muito baixas, o desenvolvimento radicular também é inibido, devido à falta de contato entre o solo e a raiz. Por outro lado, as raízes podem atuar como agentes recuperadores da física do solo. A utilização de espécies com diferentes características de sistema radicular, que podem ser incluídas em sistema de rotação e/ou sucessão, é importante para o planejamento da recuperação de áreas fisicamente degradadas (Teixeira *et al.*, 2003).

Williams & Weil (2004), relatam que o uso do consórcio de nabo forrageiro e centeio proporcionou melhores produtividades na soja devido à menor resistência a penetração de raízes de soja proporcionada pelos canais deixados pelas raízes do nabo e à menor evapotranspiração proporcionada pela alta quantidade de palha deixada pelo centeio. O carbono não é adicionado ou reciclado apenas pelas raízes, mas uma grande quantidade é acumulado no solo por elas. O uso de práticas conservacionistas como o plantio direto associadas a culturas de cobertura podem aumentar a massa de raízes de sorgo e algodão, principalmente na camada mais superficial (Saiju *et al.*, 2005).

No início da década de 80, com a expansão do SPD na região dos Campos Gerais do Paraná, foram realizadas inúmeras discussões no meio agrônomo sobre qual seria a melhor seqüência de culturas para compor uma rotação (Sá, 1996). Quando se pretende o cultivo de plantas a serem usadas como adubação verde, é de fundamental importância conhecer profundamente os detalhes referentes à espécie de adubo verde e as condições edafoclimáticas onde será implantado o cultivo (Calegari, 1997).

O uso de adubos verdes promove benefícios químicos, como incremento na formação de ácidos orgânicos (fundamentais no processo de solubilização dos minerais), contribuição para o aumento da CTC do solo, complexação de elementos tóxicos e reciclagem de nutrientes (Calegari, 1997). Esses benefícios, segundo Hernani *et al.* (1995), se dão principalmente pela maior atividade biológica do solo cultivado com essas plantas. O uso dos adubos verdes ainda proporciona efeitos benéficos para o meio ambiente, como o uso de leguminosas como fonte de N ao sistema, que pode promover aumento na produção de fitomassa e de grãos das culturas comerciais e este incremento somado à fitomassa das culturas de cobertura pode contribuir para a fixação de carbono no solo e conseqüente melhoria da qualidade ambiental (Amado *et al.*, 2001 e Lovato *et al.*, 2004). O uso de culturas que favorecem a agregação pode minimizar os efeitos negativos da degradação dos solos, porém, informações sobre quais sistemas de culturas são mais apropriados ainda são incompletos (Wohlenberg *et al.*, 2004).

As raízes de *Crotalaria juncea*, por exemplo, podem crescer em camadas de solo compactado e desenvolver maior número e raízes laterais finas nesta camada, contribuindo assim para a formação de bioporos e melhorando as condições físicas do solo (Folini *et al.*, 2006). As crucíferas têm um desenvolvimento radicular que permite uma maior exploração do solo e conseqüentemente favorece as culturas cultivadas em sucessão. Williams & Weil (2004), observaram o desenvolvimento de raízes de soja, em solo compactado, nos bioporos deixados por raízes de nabo forrageiro (*Raphanus sativus*) e canola (*Brassica rapa*), demonstrando o benefício que culturas antecessoras podem trazer às subseqüentes. A aveia preta (*Avena strigosa*) tem sido muito utilizada como cobertura do solo em plantio direto, principalmente pela sua elevada produção de palha, supressão de plantas daninhas e melhorias nas características físicas do solo, como diminuição da densidade do solo, aumento da macroporosidade e aumento da infiltração de água (Santi *et al.*, 2003).

## 1.2. MATERIAL E MÉTODOS

### 1.2.1 Descrição dos experimentos:

Esta pesquisa foi realizada em dois anos agrícolas consecutivos (2004/05 e 2005/06), na área experimental da Universidade Federal da Grande Dourados, no município de Dourados, MS, localizada a 22° 14' de latitude sul e 54° 49' de longitude oeste e altitude de 452 metros. O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho Distroférico, textura muito argilosa (80% de argila, 14% de silte e 6% areia), originalmente sob vegetação de cerrado. A área vem sendo conduzida sob sistema plantio direto desde 1997, onde são mantidos diversos sistemas de rotação e de sucessão de culturas. O delineamento experimental foi em blocos completos casualizados com três repetições. Os tratamentos foram constituídos pelas parcelas que continham as seguintes culturas de inverno: girassol (*Helianthus annuus* L.), crotalária (*Crotalaria juncea* L.), ervilhaca peluda (*Vicia villosa* Roth), consórcio de crotalária e aveia preta (*Avena strigosa* Schreb) e consórcio de aveia preta, ervilhaca peluda e nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L. var. *oleiferus* Metzg).

O histórico de cultivo de cada área é apresentado nas tabelas 1 e 2 para o primeiro e segundo ano respectivamente. Como existiam diferenças no histórico de cultivo para cada tratamento, a repetição do experimento no ano subsequente e em parcelas diferentes, foi importante para avaliar as culturas antecessoras em condições diferentes.

Na primavera/verão nos dois anos foi semeado milho, cultivar DKB 390. As avaliações do solo foram feitas nas camadas zero a 5 cm, 5 a 10 cm e 10 a 20 cm.

Tabela 1. Sequência de culturas entre os anos de 2000 e 2004, nas parcelas avaliadas no ano agrícola 2004/05. Dourados, 2007.

Sistemas de Rotação	2000	2001		2002		2003		2004		2005
	Primav Verão	Outono Inverno	Primav Verão	Outono Inverno	Primav Verão	Outono Inverno	Primav Verão	Outono Inverno	Primav Verão	
A1	Soja	Ep	Soja	Crot+Ap	Soja	Ap	Soja	Crot+Ap	Milho	
A2	Soja	Sorgo	Soja	Ap+Ep+Nf	Soja	Ap	Soja	Ap+Ep+Nf	Milho	
A3	Feijão	Milho	Soja	Girassol	Feijão	Sorgo	Soja	Girassol	Milho	
A4	Soja	Feijão	Soja	Crot	Feijão	Nf	Milho	Crot	Milho	
A5	Soja	Ap	Soja	Ep	Soja	Ap	Milho	Ep	Milho	

Ap: Aveia preta, Ep: Ervilhaca peluda, Nf: Nabo forrageiro, Crot: Crotalaria juncea.

Tabela 2. Sequência de culturas entre os anos de 2001 e 2005, nas parcelas avaliadas no ano agrícola 2005/06. Dourados, 2007.

Sistemas de Rotação	2001	2002		2003		2004		2005		2006
	Primav Verão	Outono Inverno	Primav Verão	Outono Inverno	Primav Verão	Outono Inverno	Primav Verão	Outono Inverno	Primav Verão	
B1	Milho	Ap+Ep+Nf	Milho	Ap+Ep+Nf	Feijão	Ap+Ep+Nf	Soja	Crot+Ap	Milho	
B2	Milho	Girassol	Soja	Trigo	Milho	Girassol	Soja	Ap+Ep+Nf	Milho	
B3	Milho	Crot+Ap	Milho	Ap+Ep+Nf	Soja	Crot+Ap	Soja	Girassol	Milho	
B4	Milho	Feijão	Soja	Triticale	Milho	Feijão	Soja	Crotalaria	Milho	
B5	Soja	Sorgo	Soja	Ep	Milho	Sorgo	Soja	Ep	Milho	

Ap: Aveia preta, Ep: Ervilhaca peluda, Nf: Nabo forrageiro, Crot: Crotalaria juncea.

A área de cada parcela foi de 12 metros de largura por 36 metros de comprimento, onde foram semeadas mecanicamente as culturas de inverno no mês de maio. O girassol foi semeado num espaçamento de 0,9 m e densidade de 7 sementes por metro linear. A crotalaria foi semeada num espaçamento de 0,45 m com 12 sementes por metro linear. A ervilhaca peluda foi semeada num espaçamento de 0,34 m com 20 sementes por metro linear. O consórcio de crotalaria e aveia preta foi feito semeando-se primeiramente a aveia, num espaçamento de 0,17 m com 80 kg de sementes por hectare, imediatamente na mesma área foi feita a semeadura da crotalaria conforme o sistema solteiro. O consórcio de aveia preta, ervilhaca peluda e nabo forrageiro, foi feito pela mistura física das sementes na proporção de 50%, 40% e 10% respectivamente. A mistura foi semeada em espaçamento de 0,17 m com 80 kg ha<sup>-1</sup>.

No mês de agosto, foi feito o manejo mecânico das culturas com 'rolo-faca'. A aveia preta, o girassol e o nabo forrageiro estavam na fase de grão pastoso. A ervilhaca peluda e a crotalaria estavam em pleno florescimento. A caracterização química do solo por parcela, em cada ano, é apresentada nas tabelas 3 e 4, onde pode-se observar altos

valores de saturação de bases, principalmente na camada superficial e saturação de alumínio abaixo de 3%.

O milho foi semeado mecanicamente no dia 27 de outubro de 2004 e 28 de outubro de 2005 para o primeiro e segundo ano respectivamente, sendo a população de plantas de 55.000 plantas por hectare. A adubação de semeadura foi feita no sulco na dose de 300 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 08-20-20 e na fase de seis folhas completamente desenvolvidas foi feita uma adubação de cobertura com uréia (45% de N) na quantidade de 220 kg ha<sup>-1</sup>. A maturação fisiológica do milho ocorreu no dia 28 de fevereiro para os dois anos.

Os dados climáticos são apresentados nas Figuras 1 e 2 para o primeiro e segundo ano respectivamente. Durante o desenvolvimento do milho, no primeiro ano, a precipitação total foi de 731 mm, sendo que nos períodos crítico de 15 dias antes e 15 dias após o pendoamento a soma de precipitações foi de 76 e 139 mm respectivamente. Durante o desenvolvimento do milho no segundo ano a precipitação total foi de 653 mm, sendo que nos períodos críticos de 15 dias antes e 15 dias depois do pendoamento a soma de precipitações foi de 25 e 66 mm respectivamente.

Tabela 3. Resultados da análise química do solo nas parcelas do primeiro ano agrícola (2004/05) coletada antes da semeadura das culturas de inverno. Dourados, 2007.

Parcelas	Prof	M.O.	pH	P	K	Al	Ca	Mg	H+Al	SB	T	V
		g/dm <sup>3</sup>	CaCl <sub>2</sub>	mg/dm <sup>3</sup>	.....mmol/dm <sup>3</sup> .....							
Crot + Ap	0 - 5,0	35,1	5,1	25	10,7	0,0	57,0	17,0	45,5	84,7	130,2	65
	5,0 - 10,0	30,3	4,5	9	4,3	2,9	38,8	27,4	76,7	70,5	147,2	48
	10,0 - 20,0	27,6	4,5	6	1,8	2,7	44,7	16,3	69,3	62,8	132,1	47
Ap+Ep+Nf	0 - 5,0	34,0	5,0	29	8,0	1,0	51,2	22,5	56,2	81,7	137,9	59
	5,0 - 10,0	29,1	4,6	13	2,7	3,1	42,6	15,0	74,7	60,3	135,0	45
	10,0 - 20,0	27,9	4,5	8	1,7	2,3	42,9	14,3	69,7	58,9	128,6	46
Girassol	0 - 5,0	35,6	5,2	14	10,6	0,2	56,2	25,6	48,7	92,4	141,1	66
	5,0 - 10,0	29,4	4,8	15	5,0	0,8	47,5	17,9	61,7	70,4	132,1	53
	10,0 - 20,0	27,3	4,8	5	1,6	0,6	48,9	17,0	54,7	67,5	122,2	55
Crotalaria	0 - 5,0	33,7	5,4	26	8,7	0,1	58,7	28,3	42,8	95,7	138,5	69
	5,0 - 10,0	29,7	4,4	24	2,8	3,7	39,4	15,8	76,0	58,0	134,0	43
	10,0 - 20,0	26,8	4,5	7	1,3	2,5	42,9	14,4	66,3	58,6	124,9	47
Ervilhaca peluda	0 - 5,0	31,2	5,2	28	8,7	0,5	51,5	25,7	42,8	85,9	128,7	67
	5,0 - 10,0	26,8	4,7	11	4,9	2,5	45,7	17,1	60,3	67,7	128,0	53
	10,0 - 20,0	25,3	4,7	7	3,2	2,3	43,3	12,8	56,0	59,3	115,3	51

Tabela 4. Resultados da análise química do solo nas parcelas do primeiro ano agrícola (2005/06) coletada antes da semeadura das culturas de inverno. Dourados, 2007

Parcelas	Prof	M.O.	pH	P	K	Al	Ca	Mg	H+Al	SB	T	V
		g/dm <sup>3</sup>	CaCl <sub>2</sub>	mg/dm <sup>3</sup>	mmol/dm <sup>3</sup>							%
Crot + Ap	0 - 5,0	35,6	5,3	26,3	12,5	0,6	49,4	24,0	47,2	85,9	133,1	64,4
	5,0 - 10,0	27,4	4,8	11,7	4,7	2,5	41,1	16,1	61,3	61,9	123,2	50,2
	10,0 - 20,0	23,4	4,8	7,0	2,7	1,2	37,4	14,8	52,7	54,9	107,5	51,0
Ap+Ep+Nf	0 - 5,0	36,7	5,5	38,8	15,2	0,4	55,1	23,7	43,6	93,9	137,6	68,3
	5,0 - 10,0	28,7	4,8	38,7	5,1	3,7	41,9	15,1	65,3	62,2	127,5	48,8
	10,0 - 20,0	26,8	4,8	12,0	2,8	3,3	39,8	14,3	62,3	57,0	119,3	47,8
Girassol	0 - 5,0	38,0	5,6	32,2	11,8	0,4	58,9	27,0	42,8	97,8	140,6	69,5
	5,0 - 10,0	28,6	5,0	17,3	4,1	2,9	45,7	20,8	59,3	70,6	129,9	54,3
	10,0 - 20,0	24,9	4,8	11,0	1,9	1,6	40,8	15,2	54,0	58,0	112,0	51,8
Crotalaria	0 - 5,0	35,8	5,3	52,3	11,2	0,3	50,9	21,9	49,7	83,9	133,6	62,8
	5,0 - 10,0	31,0	4,5	43,7	4,7	2,3	36,6	13,5	75,0	54,8	129,8	42,2
	10,0 - 20,0	26,2	4,4	20,7	3,0	3,4	32,1	11,0	75,3	46,1	121,4	37,9
Ervilhaca peluda	0 - 5,0	40,0	5,5	28,8	10,1	0,0	57,6	30,2	40,7	97,9	138,5	70,6
	5,0 - 10,0	32,6	5,1	25,3	4,8	0,8	52,7	24,7	53,7	82,3	136,0	60,5
	10,0 - 20,0	28,0	4,9	11,7	2,2	1,2	44,7	18,8	56,7	65,7	122,4	53,7

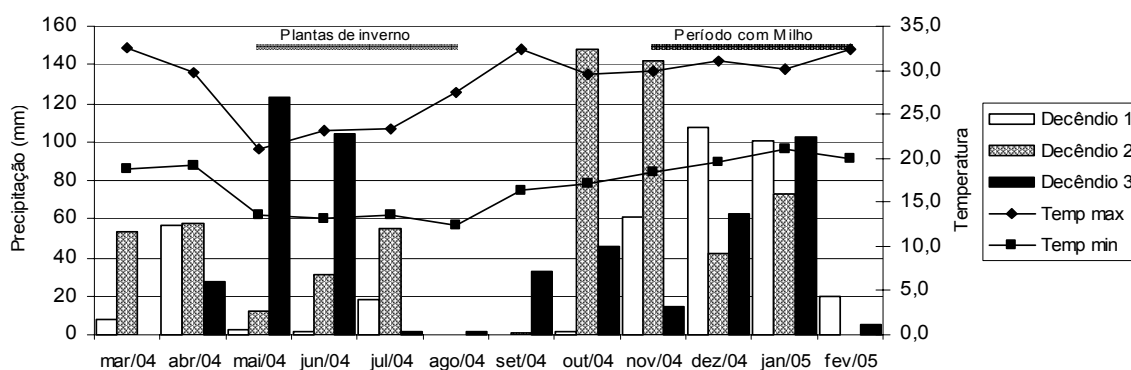


Figura 1. Precipitação por decêndio e temperaturas máxima e mínima mensal no ano agrícola 2004/05. Estação Meteorológica UFGD. Dourados, 2007.

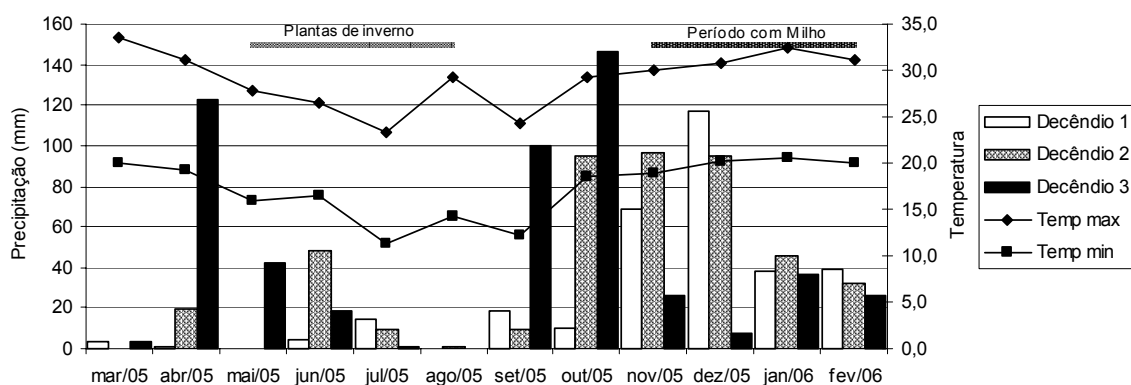


Figura 2. Precipitação por decêndio e temperatura máxima e mínima mensal no ano agrícola 2005/06. Estação meteorológica UFGD. Dourados, 2007.



### **1.2.2. Determinações:**

#### **Massa seca das culturas de inverno**

No pleno florescimento foram retiradas amostras da parte aérea das culturas de inverno, utilizando uma armação metálica de 0,5 m<sup>2</sup> lançada ao acaso em três pontos por parcela. As amostras foram secas em estufa a 65° C até peso constante, para a determinação da massa seca por hectare, deixada por cada cultura na superfície do solo.

#### **Cobertura do solo**

A cobertura vegetal do solo foi avaliada pelo método de transecção linear, adaptado de Alves *et al.* (1998), onde uma corda com 10 metros de comprimento contendo 100 pontos espaçados de 10 cm foi estendida sobre o solo semanalmente, a partir da emergência do milho até a maturação fisiológica. O número de pontos que sobrepujam resíduos vegetais, foi considerado a percentagem de cobertura do solo.

#### **Densidades de solo**

As densidades de solo foram determinadas através do método do anel ou cilindro volumétrico (Embrapa, 1997). Onde amostras de solo em três camadas, obtidas com anéis volumétricos de 2,6 cm de altura e 4,8 cm de diâmetro, foram secas em estufa a 105° C até peso constante, sendo então pesadas e a razão entre a massa do solo seco e o volume do anel representa a densidade do solo, expressa em gramas por centímetro cúbico (g cm<sup>-3</sup>).

#### **Porosidade**

A macroporosidade e a microporosidade foram determinadas utilizando-se câmara de pressão de Richards. Amostras de solo coletadas com anel volumétrico, em triplicata dentro das parcelas e nas três camadas, foram saturadas, pesadas e submetidas à pressão de 6 KPa por 48 horas, considerada a pressão limite para a retirada da água retida nos macroporos (Embrapa, 1997), as amostras foram então pesadas e a diferença entre esta pesagem a massa do solo saturado representa a macroporosidade. As amostras foram então colocadas em estufa a 105° C até peso constante, sendo então novamente pesadas e a diferença entre esta pesagem e a anterior representa a microporosidade. A porosidade total foi obtida pela soma da macro e microporosidade.

#### **Análise de Agregados**

A estabilidade dos agregados foi obtida através de peneiramento em água, utilizando-se um oscilador vertical de amplitude de 8 cm e frequência de 40 oscilações por minuto. Baseando-se em Kemper & Chepil (1965) e nas adaptações propostas por

Reicherdt *et al.* (1993), Embrapa (1997), Castro Filho *et al.* (1998), Palmeira *et al.* (1999) e Sá *et al.* (2000), coletaram-se amostras com estrutura preservada, nas três camadas de estudo e em cada parcela, que foram secas ao ar e destorroadas manualmente, posteriormente separou-se a fração que passou por uma peneira de 9,52 mm e foi retida na de 4,76 mm. Foram utilizadas amostras de aproximadamente 25 g, que foram pré umedecidas por capilaridade e colocadas na parte superior de um conjunto de peneiras do aparelho oscilador que foi ligado por um período de 12 minutos. Uma amostra foi seca em estufa a 105° C por 48 horas para determinação da umidade dos agregados secos ao ar. A quantidade de agregados retidos em cada peneira foi seca em estufa a 105° C por 48 horas e os resultados dados em porcentagem de agregados, em relação à massa seca, da amostra inicial. As frações separadas foram os agregados > 2,00 mm; 2,00-1,00 mm; 1,00-0,50 mm; 0,50-0,25 mm; 0,25-0,105 e < 0,105 mm. Com estes valores calculou-se o diâmetro médio ponderado (DMP) e o diâmetro médio geométrico (DMG).

#### **Teores de Carbono**

Os teores de carbono foram determinados por oxidação via úmida, sendo expressos em g kg<sup>-1</sup> de solo (Embrapa, 1997).

#### **Desempenho Agronômico do Milho**

A cultura de milho foi utilizada como cultura indicadora da qualidade do solo. Após o florescimento foram medidos a altura de planta, altura de inserção de espiga e diâmetro de colmo no terceiro nó a partir do solo, tomados em cinco plantas por parcela. A colheita foi feita manualmente em triplicata dentro de cada parcela, em uma amostra de duas linhas de 5m de comprimento. Cinco espigas de cada subamostra foram medidas para avaliação de comprimento e diâmetro de espiga e o número de fileiras e o número de grãos em uma fileira foram contados para a estimativa do número de grãos por espiga, pela multiplicação dos dois valores anteriores. As espigas foram trilhadas e pesadas, sendo os valores corrigidos para 13% de umidade e expressos em kilograma por hectare.

#### **1.2.3. Análise Estatística:**

Considerando três blocos completos casualizados, cinco tratamentos constituídos de culturas de inverno casualizadas dentro do bloco e as avaliações de solo sendo feitas em três camadas, deve-se levar em conta que não se pode casualizar as camadas. A

unidade experimental é a parcela, caracterizada pela cultura  $i$  no bloco  $j$  e as camadas são repetidas dentro de cada unidade experimental. Segundo Littell *et al.* (1998), múltiplas respostas tomadas em uma seqüência (temporal ou espacial) em uma mesma unidade experimental, são referidas como *medidas repetidas* e tendem a ser correlacionadas, gerando correlações dos erros e complicadas estruturas das matrizes de covariância.

A análise de variância usual (ANOVA) usa o método de estimação de parâmetros dos quadrados mínimos ordinários (OLS), porém um desenvolvimento mais recente é a análise de medidas repetidas dentro de uma estrutura de modelos mistos, usando o método da máxima verossimilhança (ML) ou da máxima verossimilhança restrita (REML). As principais vantagens dessa análise são a disponibilidade de modelos de correlação (variância-covariância), que são mais parcimoniosos do que aqueles implementados pela análise de variância multivariada (MANOVA), a facilidade de acomodar vários termos de erro e a fácil análise de dados incompletos, como valores perdidos ao acaso (Piepho *et al.*, 2004). No programa estatístico SAS a análise de dados com medidas repetidas pode ser feito pelo procedimento MIXED, que oferece acesso à estrutura de covariância e melhora a análise dos dados (Littell *et al.*, 1998).

Seguindo a abordagem de Piepho *et al.* (2004), um modelo misto para este experimento, que reflita as diferentes condições de fatores tratamento e fator repetido, deve ter as seguintes propriedades: 1-O modelo implementado para cada camada deve ser aquele para um delineamento em blocos casualizados (DBC); 2- O modelo que calcula a média ao longo das camadas deve ser aquele para um DBC; 3- O modelo obtido pela computação de contrastes entre camadas deve ser o de um DBC e 4- O modelo deve refletir o fato de o fator repetido não poder ser casualizado, ou seja, deve considerar a correlação serial entre diferentes camadas na mesma parcela. Assim o modelo para um DBC com medidas repetidas que é descrito por :

$$y_{ijt} = \mu + \alpha_i + \beta_t + (\alpha\beta)_{it} + c_j + d_{jt} + \varepsilon_{ijt}, \text{ onde:}$$

$y_{ijt}$ : resposta da  $i$ -ésima cultura, no  $j$ -ésimo bloco, da  $t$ -ésima camada;

$\mu$ : efeito geral

$c_j$ : efeito do  $j$ -ésimo bloco;

$\alpha_i$ : efeito da  $i$ -ésima cultura;

$\beta_t$ : efeito principal da  $t$ -ésima camada de solo;

$(\alpha\beta)_{it}$ : efeito da  $it$ -ésima interação cultura-camada;

$d_{jt}$ : efeito da  $t$ -ésima camada de solo no  $j$ -ésimo bloco;

$\varepsilon_{ijt}$ : erro da  $ij$ -ésima parcela na  $t$ -ésima camada.

Uma importante característica adicionada pelos autores é a interação entre camada e bloco ( $d_{jt}$ ), que em analogia com a pressuposição usual de aditividade blocotratamento em experimentos casualizados, há a pressuposição de aditividade blococamada de solo, assumindo que a heterogeneidade dentro do solo é tal que diferenças de blocos não são as mesmas em cada camada.

Os dados foram analisados utilizando o programa computacional SAS 8.0 (SAS, 1999), utilizando o procedimento MIXED para permitir o acesso às estruturas de covariância dos erros e correções dos graus de liberdade, já que se trata de um experimento com medidas repetidas. As estruturas de covariância testadas foram a Simetria Composta [CS], Componentes de Variância [VC], Huynh-Feldt [HF], Autorregressiva [AR(1)], Autorregressiva Heterogênea [ARH(1)], Toeplitz [TOEP] e Teplitz Heterogênea [TOEPH].

Para escolher a melhor estrutura de covariância deve-se usar um critério de seleção, como o critério de informação de Akaike (AIC), que pode ser empregado para selecionar modelos com os mesmos efeitos fixos, mas diferentes estruturas de covariância, sendo considerado o melhor modelo aquele com o menor AIC modular. O Critério Bayesiano de Schwarz (BIC) também pode ser usado, porém este critério penaliza mais os modelos com grande número de parâmetros, de modo que os dois critérios podem não concordar (Santoro *et al.*, 2005). Os valores de AIC para as diferentes estruturas de covariância testadas são apresentados no Anexo 1 e 2.

Como o procedimento MIXED do SAS resolve os conjuntos de equações de modelos mistos usando o método de estimação da máxima verossimilhança restrita (REML) ao invés do método quadrados mínimos ordinários (OLS), os graus de liberdade correspondentes aos testes de hipóteses devem ser aproximados. Quando o delineamento experimental contém medidas repetidas, é crucial especificar o método de estimação dos graus de liberdade. Para muitos propósitos a correção de Kenward & Rogers (1997) (comando no SAS: DDFM=KR), que é baseada no método Satterthwaith, pode ser usada rotineiramente. As médias de tratamentos e de camadas foram comparadas pelo método da estimação dos mínimos quadrados e utilizando a correção de Tukey. Os comandos utilizados no programa SAS para as estruturas com medidas repetidas são apresentados no Anexo 3 e para estruturas somente com parcelas, como nas avaliações de produtividade, no Anexo 4.

### 1.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados de macroporosidade, microporosidade e volume total de poros tiveram efeito significativo somente entre as camadas de solo nos dois anos avaliados (Tabela 5). Os índices de agregação avaliados também apresentaram efeito significativo somente para camadas, nos dois anos avaliados (Tabela 6).

A macroporosidade foi maior na camada de 0 a 5 cm, diferindo das camadas de 5 a 10 cm e de 10 a 20 cm, que não diferiram entre si. A microporosidade teve efeito contrário da macroporosidade, com valores menores na camada superficial, diferindo das outras duas camadas, que não diferiram entre si (Figura 3).

Tabela 5. Teste F dos efeitos fixos para as variáveis, macroporosidade, microporosidade, volume total de poros, densidade do solo e teor de carbono do solo. Dourados, 2007.

	Efeitos	GL	Valores de F e Significância				
			Macro	Micro	VTP	Densidade	Teor C
Ano 1	Bloco	2	5,73 *	12,61 **	9,99 **	0,25 ns	0,38 ns
	Tratamento	4	2,15 ns	2,41 ns	1,26 ns	1,65 ns	3,74 *
	Camada	2	43,45 **	30,86 **	41,99 **	69,30 **	124,14**
	Trat*Cam	8	1,28 ns	2,04 ns	1,26 ns	1,74 ns	1,97 ns
	Bloco*Cam	4	3,26 ns	3,23 ns	3,71 *	5,72 **	1,24 ns
Ano 2	Bloco	2	6,36 *	7,50 **	3,98 *	1,35 ns	1,36 ns
	Tratamento	4	0,79 ns	1,13 ns	0,54 ns	0,43 ns	3,12 *
	Camada	2	43,53 **	27,96 **	46,85 **	81,72 **	149,25**
	Trat*Cam	8	0,92 ns	1,57 ns	0,37 ns	0,89 ns	2,04 ns
	Bloco*Cam	4	0,93 ns	3,47 *	0,17 ns	1,64 ns	0,58 ns

(\*\*), (\*) e (ns) : significâncias do teste F ( $p < 0,01$ ), ( $p < 0,05$ ) e não significativo respectivamente.

Tabela 6. Teste F dos efeitos fixos para as variáveis diâmetro médio ponderado de agregados, diâmetro médio geométrico de agregados, agregados maiores que 2 mm, agregados entre 1 e 2 mm, agregados entre 0,5 e 1 mm, agregados entre 0,25 e 0,5 mm e agregados entre 0,125 e 0,25 mm. Dourados, 2007.

	Efeitos	GL	Valores de F e Significância						
			DMP	DMG	>2	1-2	0,5-1	0,25-0,5	0,125-0,25
Ano 1	Bloco	2	2,99 ns	3,61 ns	4,89 *	0,00 ns	2,52 ns	6,10 *	4,75 *
	Tratamento	4	0,02 ns	0,01 ns	0,03 ns	0,75 ns	0,10 ns	0,10 ns	0,52 ns
	Camada	2	114,05**	97,62**	74,88**	210,58**	50,25**	29,74**	13,65**
	Trat*Cam	8	1,46 ns	0,99 ns	0,74 ns	0,45 ns	1,05 ns	1,34 ns	0,94 ns
	Bloco*Cam	4	2,44 ns	1,78 ns	1,64 ns	1,64 ns	2,01 ns	1,87 ns	0,78 ns
Ano 2	Bloco	2	1,90 ns	1,92 ns	1,65 ns	1,19 ns	2,46 ns	2,52 ns	7,05 *
	Tratamento	4	0,78 ns	1,00 ns	0,70 ns	1,08 ns	0,44 ns	0,65 ns	3,11 ns
	Camada	2	17,08**	10,89**	27,11**	67,69**	13,06**	3,28 ns	0,21 ns
	Trat*Cam	8	1,35 ns	1,44 ns	1,45 ns	0,75 ns	0,75 ns	1,47 ns	0,68 ns
	Bloco*Cam	4	0,42 ns	0,38 ns	0,35 ns	0,12 ns	0,31 ns	0,37 ns	0,41 ns

(\*\*), (\*) e (ns) : significâncias do teste F ( $p < 0,01$ ), ( $p < 0,05$ ) e não significativo respectivamente.

O resultado do volume total de poros acompanhou a tendência da macroporosidade, pois o seu aumento relativo na camada superficial foi maior do que a diminuição da microporosidade. Considerando os dados do primeiro ano, os valores de macroporosidade foram 40% maiores na camada superficial em relação às camadas inferiores, enquanto os valores de microporosidade foram apenas 10% mais baixo na camada superficial. O mesmo comportamento se verificou no segundo ano. Os valores da porosidade total na camada de 0 a 5 cm foram de 58 e 59% e nas outras camadas de 54 e 55% para os anos 1 e 2 respectivamente.

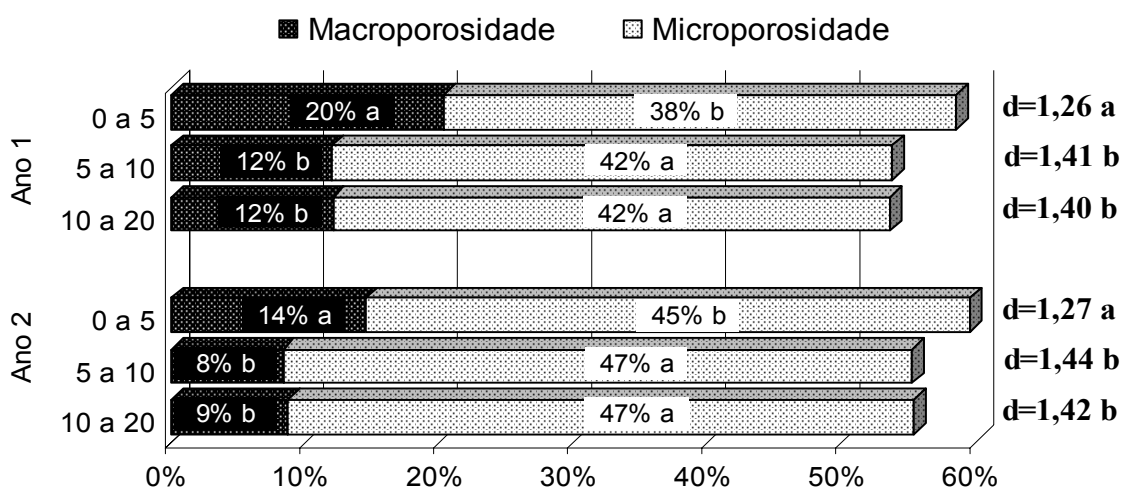


Figura 3. Percentagem de macroporos, microporos e volume total de poros nas barras e densidade do solo ( $\text{g cm}^{-3}$ ) à direita, nas três camadas (0 a 5 cm, 5 a 10 cm e 10 a 20 cm) e nos dois anos avaliados. Dourados, 2007.

Médias seguidas de mesma letra, dentro de ano, não diferem pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ).

A macroporosidade é um aspecto importante no desenvolvimento radicular e conseqüentemente no desenvolvimento das plantas. Valores de macroporosidade devem ser de pelo menos 10% do volume total do solo para permitir as trocas gasosas e líquidas entre o solo e a atmosfera (Xu *et al.*, 1992). Na figura 3 observa-se que os valores de macroporosidade na primeira safra foram superiores a este índice em todas as camadas, sendo o dobro na camada de 0 a 5 cm. Porém na segunda safra a macroporosidade foi menor. Dao (1996), concluiu que a manutenção de resíduos na superfície do solo contribui para o aumento da macroporosidade na camada superficial.

Uma característica correlacionada com a porosidade é a densidade do solo, sendo que quanto maior a porosidade, menor será a densidade do mesmo. Solos com maior densidade modificam o diâmetro e a distribuição das raízes de milho no solo, o que pode interferir na absorção de água e nutrientes (Rosolem *et al.*, 1999). Os valores de densidade foram significativos apenas para as camadas nos dois anos (Tabela 5), acompanhando os resultados de porosidade. Na camada de 0 a 5 cm os valores são menores do que nas outras duas camadas, para os dois anos (Figura 3). No primeiro ano a densidade da camada de 0 a 5 cm foi de  $1,26 \text{ g cm}^{-3}$  e de  $1,27 \text{ g cm}^{-3}$  no segundo ano. Nas outras camadas as densidades encontradas estiveram acima de  $1,40 \text{ g cm}^{-3}$ . A densidade do solo é um indicador importante da qualidade física do solo, de fácil e rápida determinação, pode ser usado para comparações entre situações distintas ou entre diferentes camadas.

Argenton *et al.* (2005), trabalhando em Latossolo Vermelho argiloso, também encontraram aumento da densidade e diminuição da porosidade total da camada de 0 a 5 cm para as camadas mais profundas. Por outro lado, encontraram diferenças nestas características entre diferentes sistemas de culturas, o que não foi encontrado neste experimento. Costa *et al.* (2003), citam que práticas de manejo têm maior impacto sobre as propriedades físicas de solos arenosos do que solos argilosos. As raízes de milho podem ser prejudicadas pelo aumento da densidade do solo, principalmente em solos argilosos (Rosolem *et al.*, 1999). Portanto práticas que melhorem esta característica são desejáveis no sistema agrícola.

Segundo Argenton *et al.* (2005), quando a densidade do solo for superior a  $1,30 \text{ g cm}^{-3}$ , devem-se usar práticas de cultivo que favoreçam o crescimento do sistema radicular e reduzam a densidade. Por outro lado, Reinert *et al.* (2001), indicam que para

solos argilosos somente os valores de densidade acima de  $1,45 \text{ g cm}^{-3}$  são críticos ao crescimento radicular. Apesar de que as comparações de densidades de solo entre experimentos nem sempre são válidas, neste experimento, onde o solo é de textura muito argilosa, nenhuma camada apresentou densidade superior ao valor crítico proposto por esses autores, mostrando que o solo apresentava condições para o desenvolvimento vegetal (Figura 3). Rosolem *et al.* (1999), encontraram em solo com 48% de argila densidade crítica ao crescimento radicular de  $1,36 \text{ g cm}^{-3}$ , enquanto que em solo com 41% de argila uma densidade de  $1,18 \text{ g cm}^{-3}$  já causou prejuízo ao desenvolvimento radicular. Como o solo deste experimento tem valores de argila 80% de argila, pode-se inferir que densidades maiores do que as propostas pelos trabalhos citados seriam as críticas para o desenvolvimento vegetal.

O sistema de plantio direto, ao manter altas quantidades de resíduos na superfície do solo, proporciona diminuição da densidade da camada superficial, sendo importante para a infiltração de água, trocas gasosas e desenvolvimento radicular. No trabalho de Baida *et al.* (2006), a presença de palha sobre o solo resultou em dissipação da energia de compactação e resultou em menor densidade, sendo estes efeitos mais pronunciados em solo argiloso do que arenoso, devido à maior interação da matéria orgânica com as partículas de argila.

O teor de carbono orgânico teve diferenças significativas entre camadas e entre tratamentos (Tabela 5). Na camada superficial teve maiores valores e diminuiu nas camadas mais profundas (Tabela 7). Em plantio direto há um acúmulo de carbono na superfície do solo, resultado da permanência de material vegetal e ao não revolvimento. A manutenção da arquitetura de poros e a permanência intacta dos restos de raízes das culturas, associada à ação da meso e macrofauna na fragmentação dos resíduos e formação de galerias, favorecem a aeração e o movimento da água, produzindo trocas mais intensas e melhorando a agregação (Castro Filho *et al.*, 1998).

Tabela 7. Médias de diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG), percentagem de agregados maiores que 2 mm (>2 mm) e carbono orgânico total (COT) nas três camadas e nos dois anos. Dourados, 2007.

Camada	Ano 1 (2004/05)				Ano 2 (2005/06)			
	COT g kg <sup>-1</sup>	DMP .....mm.....	DMG	>2 mm %	COT g kg <sup>-1</sup>	DMP .....mm.....	DMG	>2 mm %
0 a 5 cm	23,12 a	3,92 a	1,49 a	62,36 a	19,76 a	3,53 a	1,36 a	55,38 a
5 a 10 cm	18,63 b	2,73 b	1,20 b	37,94 b	15,87 b	2,94 b	1,24 b	42,72 b
10 a 20 cm	16,94 c	2,30 c	1,11 b	28,90 c	13,76 c	2,62 b	1,18 b	35,36 b

Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey (p<0,05).



A matéria orgânica é fundamental na ciclagem de nutrientes, na complexação de metais e na atividade da biota do solo, portanto sua presença nas camadas mais superficiais, onde se concentra grande parte do sistema radicular é um aspecto benéfico no sistema agrícola (De Bona *et al.*, 2006).

A suscetibilidade de um solo à compactação torna-se menor à medida que se aumenta a quantidade de material orgânico no solo, devido ao efeito amortecedor da matéria orgânica, dissipando parte da energia de compactação e à capacidade que a matéria orgânica tem de estabelecer ligações com as partículas de solo aumentando a coesão entre as mesmas (Braida *et al.*, 2006). Realmente observam-se menores valores de densidade nas camadas superficiais, onde há maior quantidade de carbono orgânico do solo (Figura 3 e Tabela 7). No primeiro ano as parcelas com girassol e com crotalária tiveram os maiores valores de carbono orgânico, enquanto as parcelas com ervilhaca e com a mistura de aveia, ervilhaca e nabo os menores valores. Já no segundo ano as parcelas com a mistura de crotalária e aveia tiveram os maiores valores de carbono orgânico e as parcelas com crotalária os menores valores (Figura 4).

A estabilidade de agregados tem sido utilizada como indicador da qualidade física do solo, pois é sensível às alterações, conforme o manejo adotado (Wendling *et al.*, 2005). As avaliações da agregação do solo, representadas pelo diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG) e agregados maiores que 2 mm, tiveram efeito significativo ( $p < 0,01$ ) somente para as camadas do solo, não apresentando diferenças significativas para os tratamentos, nos dois anos avaliados (Tabela 6).

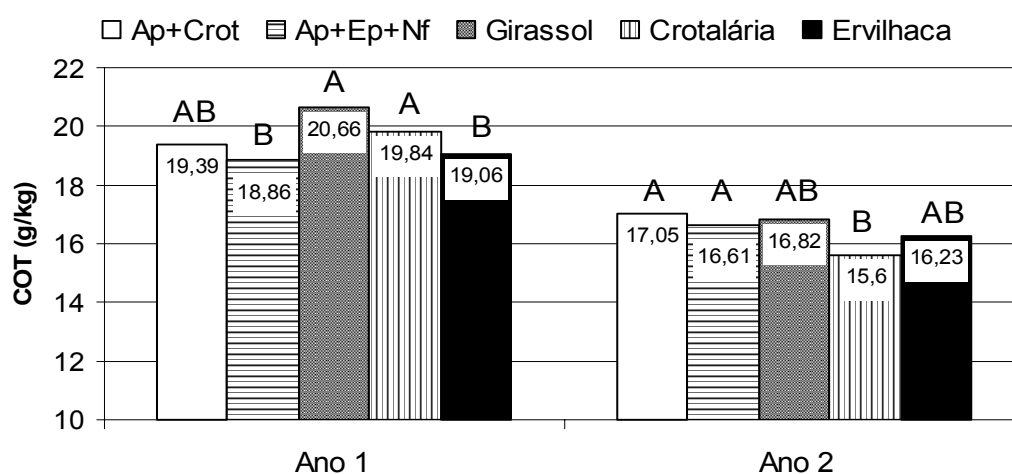


Figura 4. Médias de teor de carbono orgânico total (COT) em  $\text{g kg}^{-1}$  de solo, para as cinco culturas antecessoras e nos dois anos avaliados. Dourados, 2007.

Na distribuição dos agregados pelas classes de tamanho (Figura 5) observa-se alta proporção de agregados maiores que 2 mm na camada de 0 a 5 cm, que diminui com a profundidade. Por outro lado a proporção dos agregados menores, principalmente das classes de 1 a 2 mm, 0,5 a 1 mm e de 0,25 a 0,5 mm, aumentam com a profundidade, devido à redução na proporção da classe >2 mm. Os resultados do DMP e DMG (Tabela 7) têm a mesma tendência dos agregados maiores que 2 mm, devido à grande contribuição que esta classe de agregados tem nos cálculos de DMP e DMG. Stone & Guimarães (2005), também encontraram maiores valores de diâmetro médio ponderado na camada superficial do que nas camadas inferiores.

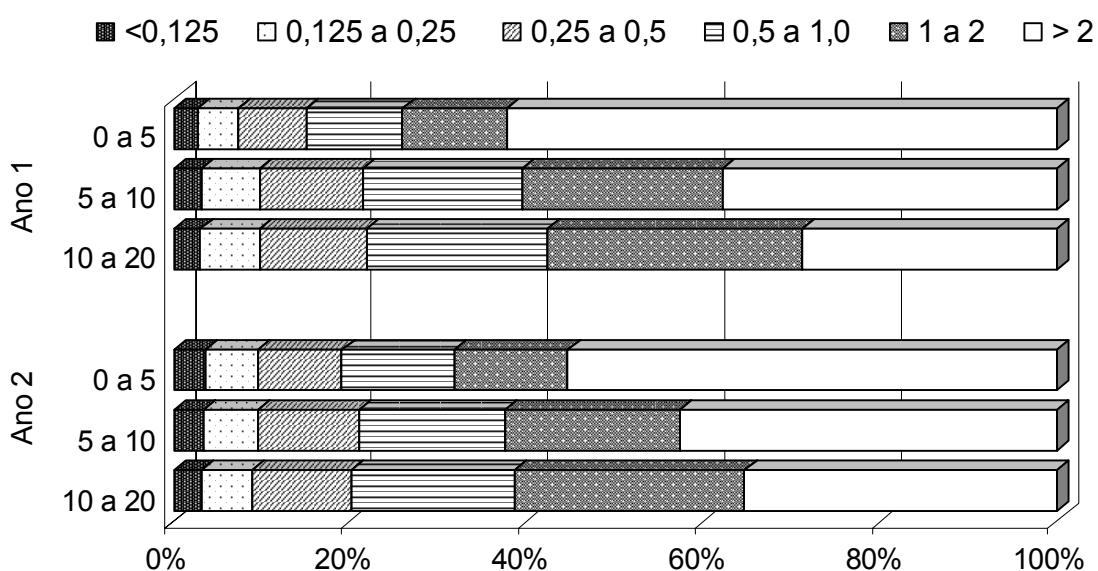


Figura 5. Distribuição relativa dos agregados do solo por classes de tamanho, nas três camadas e nos dois anos avaliados. Dourados, 2007.

Os resultados de agregação acompanharam os teores de carbono nas camadas, já que o carbono orgânico é fundamental na agregação e estabilização dos agregados, principalmente os macroagregados. Como pode ser visto pelos índices de correlação entre o carbono orgânico total e os índices de agregação (Figura 6), quanto maiores os valores de carbono maior a agregação do solo. Confirmado por diversos autores (Reichert *et al.*, 1993; Castro Filho *et al.*, 1998; Palmeira *et al.*, 1999; Sá *et al.*, 2000; Pedrotti *et al.*, 2003; Wohlenberg *et al.*, 2004; Albuquerque *et al.*, 2005; Wendling *et al.*, 2005; Ferreira *et al.*, 2007).

Segundo Stone & Guimarães (2005), as diferenças nos atributos físicos do solo entre diferentes sistemas de rotação de culturas podem estar relacionados com a

capacidade de cada sistema em alterar o conteúdo de matéria orgânica do solo. As diferenças nos teores de carbono entre as culturas (Figura 4), não foram suficientes para refletir em diferenças nos valores de agregação do solo entre os tratamentos (Tabela 6), pois as diferenças entre os valores são pequenas. A diferença do teor de carbono entre a camada 0 a 5 cm e a camada 5 a 10 cm, no primeiro ano, que permitiu diferenças significativas entre os índices de agregação foi de  $4,5 \text{ g kg}^{-1}$ , enquanto que a diferença entre o maior valor (Girassol) e o menor valor (Ap+Ep+Nf) de carbono nos tratamentos no primeiro ano foi de apenas  $1,8 \text{ g kg}^{-1}$ .

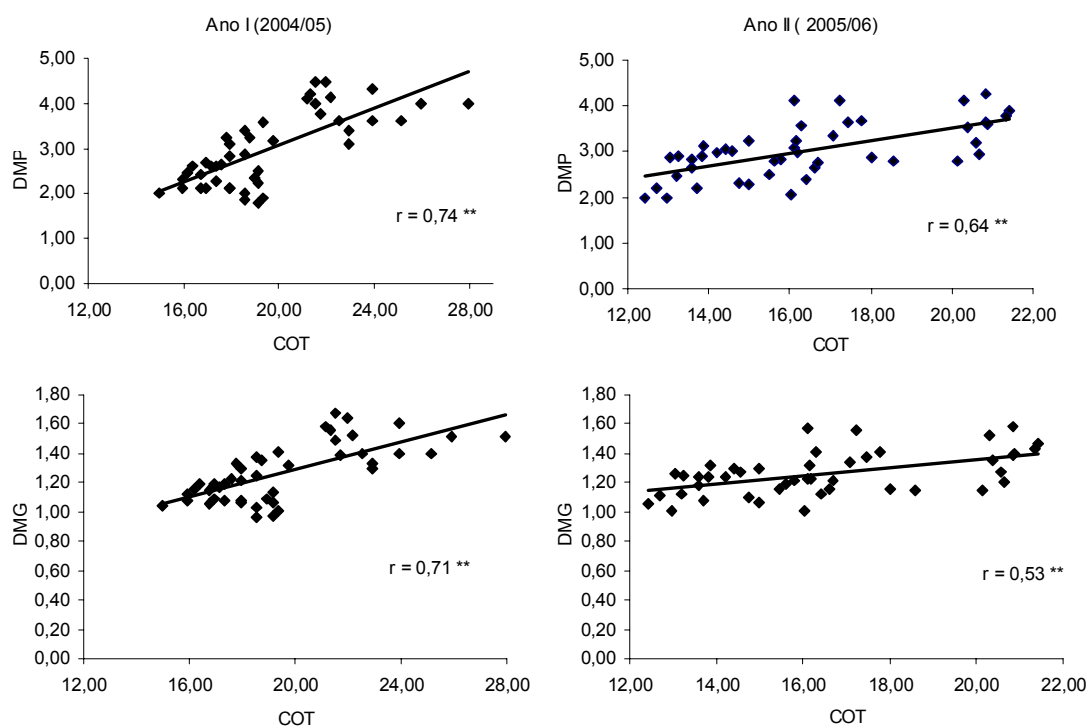


Figura 6. Correlações entre diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG) dos agregados com o carbono orgânico total (COT) nos dois anos de estudo. Dourados, 2007.

Campos *et al.* (1999), citam que pequenas variações nos teores de carbono do solo podem não influir significativamente na estabilidade de agregados. Nascimento *et al.* (2005), estudando 12 espécies de leguminosas, também encontraram diferenças entre o carbono do solo, a densidade do solo, a porosidade total e a agregação do solo somente entre as camadas de solo e não encontraram diferenças entre os tratamentos. Albuquerque *et al.* (2005), encontraram diferenças nos teores de carbono orgânico do solo entre diferentes culturas consorciadas com o milho em um Latossolo Vermelho Distroférico, mas não encontraram diferenças nos valores de DMP. Os autores

associam as diferenças nos teores de carbono aos aportes de massa seca produzida pelas culturas, sendo maiores os teores de C nos tratamentos com maior produção de massa.

As diferenças encontradas nos teores de carbono do solo entre as culturas deste experimento também podem ser explicadas pelas diferenças entre a produção de massa seca das culturas de inverno, pois se encontrou uma correlação de 0,66\*\* no primeiro ano e de 0,89\*\* no segundo ano. Wohlenberg *et al.* (2004), estudando diversos sistemas de culturas encontraram maior percentagem de agregados maiores que 2 mm em sistemas que proporcionaram aumento nos teores de matéria orgânica do solo, enquanto que sistemas sem cobertura do solo, provocaram diminuição dos teores de carbono do solo e diminuição da percentagem de agregados maiores que 2 mm.

Pode-se observar que o solo apresentou um elevado índice de agregação, principalmente pelas percentagens de agregados maiores que 2 mm (Figura 5). Sá *et al.* (2000), também encontraram alta estabilidade de agregados em Latossolo Vermelho Distroférico e sugerem que os altos teores de gibbsita e óxidos de ferro podem ser os responsáveis por esta estabilidade. Vitorino *et al.* (2003), confirmam esta suposição ao encontrarem alta estabilidade de microagregados em solos gibbsíticos, enquanto em solos cauliniticos o efeito foi inverso. Pedrotti *et al.* (2003), encontraram alta correlação entre a agregação do solo e os teores de óxidos de alumínio, principalmente nas formas amorfas, que permitem uma estrutura granular.

A importância altos índices de agregação é principalmente pelo efeito na diminuição da erosão do solo. Ângulo *et al.* (1984), correlacionaram a alta estabilidade de agregados em água com a baixa erodibilidade de solos medida por método direto. O que também pode contribuir para uma maior agregação na camada superficial são os ciclos de umedecimento e secagem, que são mais intensos nesta camada. Estes ciclos levam a uma desidratação de ligantes orgânicos e inorgânicos do solo e proporcionam a formação de agregados de maior tamanho (Wendling *et al.*, 2005).

Campos *et al.* (1999), estudando gramíneas e leguminosas como culturas de inverno antecessoras ao milho, encontraram diferenças na agregação do solo, sendo que quando foram cultivadas plantas que produziram alta quantidade de resíduos os índices de agregação foram maiores. Wohlenberg *et al.* (2004), trabalhando com 5 sistemas de sucessão/rotação, incluindo leguminosas, gramíneas e crucíferas, identificaram diferenças na agregação do solo, atribuindo aos sistemas que aportam maior quantidade de material orgânico e cobrem o solo durante todo o ano, os melhores índices de

agregação. Liu *et al.* (2005), encontraram maiores valores de diâmetro médio ponderado de agregados, após 8 semanas da colocação experimental de resíduos de centeio e de azevém sobre o solo, enquanto os resíduos de cevada proporcionaram valores de DMP menores e iguais ao campo descoberto, ainda quanto ao teor de carbono orgânico total do solo os resultados foram semelhantes aos de DMP. Práticas culturais que promovem um maior aporte de resíduos têm se mostrado eficientes em aumentar a estabilidade de agregados, pois além de aumentarem as entradas de carbono, atuam impedindo o impacto direto das gotas de chuva e mantém mais uniforme a umidade e a temperatura (Wendling *et al.*, 2005).

Comparando-se a produção de massa seca de cobertura, pode-se observar que o girassol teve maior produção de massa nos dois anos enquanto a Crotalária que teve uma produção de massa seca maior no primeiro ano, foi a que menor quantidade deixou no segundo ano (Tabela 8). Porém a cobertura do solo com estas culturas, desde a emergência do milho é menor do que das outras culturas nos dois anos (Figura 7). Este fato pode ser devido à maior quantidade de hastes e talos que compõe os resíduos de ervilhaca e girassol, enquanto nas outras culturas há maior quantidade de folhas. Por outro lado a taxa de descobrimento do solo para estas duas culturas foi mais reduzida. A ervilhaca, por exemplo, que teve uma das maiores quantidades de resíduos deixados na superfície e uma maior cobertura do solo, apresentou uma cobertura semelhante a da crotalária e a do girassol logo após o pendoamento do milho no primeiro ano (60 dias após a emergência).

Tabela 8. Massa seca de cobertura ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) e equação ajustada da cobertura do solo em função do tempo, proporcionada pelos resíduos das culturas antecessoras, nos dois anos avaliados. Dourados, 2007.

	Culturas Antecessoras	Massa de Cobertura ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	Equação ajustada	$R^2$
Ano 1	Crot + Ap	3.325	$\hat{y} = 110,50 e^{-0,0149x}$	0,86
	Ap+Ep+Nf	3.912	$\hat{y} = 116,13 e^{-0,0115x}$	0,90
	Girassol	5.527	$\hat{y} = 56,40 e^{-0,0075x}$	0,83
	Crotalária	4.015	$\hat{y} = 56,58 e^{-0,0092x}$	0,85
	Ervilhaca	4.587	$\hat{y} = 130,76 e^{-0,0204x}$	0,92
Ano 2	Crot + Ap	4.693	$\hat{y} = 120,20 e^{-0,0103x}$	0,92
	Ap+Ep+Nf	4.703	$\hat{y} = 115,83 e^{-0,0150x}$	0,96
	Girassol	5.882	$\hat{y} = 30,97 e^{-0,0128x}$	0,94
	Crotalária	2.271	$\hat{y} = 52,20 e^{-0,0141x}$	0,93
	Ervilhaca	3.127	$\hat{y} = 91,87 e^{-0,0146x}$	0,93

A explicação pode estar na relação C/N e na lignificação dos resíduos que permanecem na superfície. Segundo Sodré Filho *et al.* (2004), os resíduos de crotalária e girassol têm alto teor de lignina e alta relação C/N nos caules, sendo de 27 e 81 para crotalária e girassol respectivamente. Os mesmos autores confirmam a baixa cobertura destas duas espécies, devido à presença principalmente de caules e hastes, porém uma permanência maior na superfície do solo do que outras culturas. A relação C/N da Ervilhaca, por exemplo, é em torno de 19 (Sá, 1993), o que acelera a decomposição desta leguminosa. Nos dois anos avaliados a ervilhaca foi a cultura que apresentou a maior taxa de decomposição (Tabela 8).

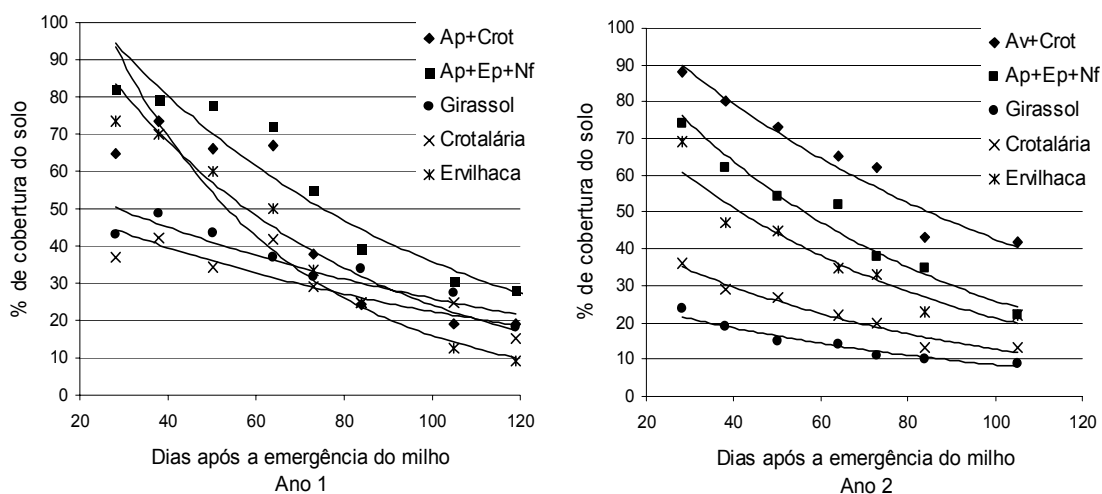


Figura 7. Percentagem de cobertura do solo pelos resíduos das culturas de inverno nos dois anos avaliados. Dourados, 2007.

Os consórcios foram os tratamentos que menor quantidade de resíduos deixaram no primeiro ano, porém no segundo ano o comportamento foi diferente, com os consórcios deixando maiores quantidades de resíduos (Tabela 8). No primeiro ano a cobertura do solo no final do ciclo do milho foi semelhante entre as culturas estudadas, enquanto no segundo ano observam-se maiores valores da cobertura do solo quando os consórcios foram as culturas antecessoras. Provavelmente a maior produção de massa seca no segundo ano foi o fator que contribuiu para a manutenção da cobertura.

A produtividade de milho e as componentes de produção, nos dois anos avaliados, não mostraram diferenças significativas entre os tratamentos (Tabela 9). Lovato *et al.* (2004), também não encontraram diferenças no rendimento de grão de milho cultivado após aveia, ervilhaca ou aveia + ervilhaca, desde que adicionado nitrogênio mineral na

cultura de milho. Pasqualetto & Costa (2001), também não encontraram diferenças na massa de 100 grãos e na produtividade de milho quando este é cultivado após soja, girassol, milheto, sorgo ou guandu e recebe altas doses de adubo nitrogenado.

Tabela 9. Teste F para a produtividade e os componentes de produção do milho cultivado após as culturas de inverno, nos dois anos. Dourados, 2007.

	Efeitos	GL	Produtividade	Massa de 100 grãos	Comprimento de espiga	Diâmetro de espiga	Grãos por espiga
Ano 1	Bloco	2	0,11 ns	0,97 ns	1,11 ns	0,31 ns	0,71 ns
	Trat	4	1,54 ns	0,47 ns	2,57 ns	0,85 ns	0,96 ns
	Média		8058 kg ha <sup>-1</sup>	32,31 g	15,28 cm	49,82 mm	548,73 g
	CV		4,89 %	2,76 %	3,79 %	2,57 %	6,60 %
Ano 2	Bloco	2	0,07 ns	1,50 ns	0,24 ns	0,70 ns	0,20 ns
	Trat	4	0,84 ns	1,54 ns	0,18 ns	2,32 ns	0,31 ns
	Média		3197 kg ha <sup>-1</sup>	30,72 g	17,23 cm	45,63 mm	511,40 g
	CV		21,01 %	4,49 %	7,34 %	1,83 %	13,25 %

Na primeira safra a produtividade média foi de 8058 kg ha<sup>-1</sup>, enquanto na segunda a produtividade foi de apenas 3197 kg ha<sup>-1</sup>. Analisando os dados meteorológicos (Figuras 1 e 2) pode-se observar que na primeira safra tanto a precipitação total no período de desenvolvimento do milho (731 mm), quanto as precipitações no período crítico de 15 dias antes e após o pendoamento (76 e 139 mm respectivamente), foram maiores do que na segunda safra ( 653 mm totais e 25mm antes e 66 mm depois do pendoamento). Principalmente no último decêndio de dezembro de 2005, quando houve baixas precipitações (Figura 2), correspondendo ao período anterior ao pendoamento.

#### **1.4. CONCLUSÕES**

- As alterações devidas aos sistemas de culturas não foram capazes de impor maiores efeitos no rendimento de grãos e em atributos físicos do solo;
- Existem diferenças nos atributos físicos do solo entre a camada de 0 a 5 cm a as camadas de 5 a 10 cm e 10 a 20 cm;
- O maior aporte de resíduos vegetais aumenta os teores de carbono do solo



## 1.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARGENTON, J.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; WILDNER, L. P. Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura. **R. Bras. Ci. Solo**, **29**: 425-435, 2005.

DE BONA, F. D.; BAYER, C.; BERGAMASCHI, H.; DIECKOW, J. Carbono orgânico no solo em sistemas irrigados por aspersão sob plantio direto e preparo convencional. **R. Bras. Ci Solo**, **30**: 911-920, 2006.

ALBUQUERQUE, J. A.; ARGENTON, J.; BAYER, C.; WILDNER, L. P.; KUNTZE, M. A. G. Relação de atributos do solo com a agregação de um Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de verão para cobertura do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, **29**: 415-424, 2005.

ALVES, A. G. C.; COGO, N. P.; LEVIEN, R. Comparação entre os métodos da transeção linear e fotográfico na avaliação de cobertura vegetal morta, sob dois métodos de preparo, após a colheita da soja. **R. Bras. Ci. Solo**, **22**: 491-496, 1998.

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

ÂNGULO, R. J.; ROLOFF, G.; SOUZA, M. L. P. Relações entre a erodibilidade e agregação, granulometria e características químicas de solos brasileiros. **R. Bras. Ci. Solo**, **8**: 133-138, 1984.

ARAÚJO, C. V.; TORRES, R. A.; COSTA, C. N.; TORRES FILHO, R. A.; ARAÚJO, S. I.; LOPES, P. S.; REGAZZI, A. J.; PEREIRA, C. A.; COBUCI, J. A.; SARMENTO, J. L. R. Uso de funções ortogonais para descrever a produção de leite no dia de controle por meio de modelos de regressão aleatória. **R. Bras. Zootec.**, **35** (3): 967-974, 2006.

ARAÚJO, M. A.; TORMENA, C. A.; SILVA, A. P. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho Distroférico cultivado e sob mata nativa. **R. Bras. Ci. Solo**, **28**: 337-345, 2004.

AZEVEDO, A. C. & SCHULZE, D. G. Aggregate distribution, stability and release of water dispersible clay for two subtropical Oxisols. **Scientia Agricola**, **64** (1): 36-43, 2007.

BAYER, C.; MARTIN NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesq. Agrop. Bras.**, **39** (7): 677-683, 2004.

BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, J. A.; LEITE, D.; AMARAL, A. J.; ZOLDAN JR., W. A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. **R. Bras. Ci. Solo**, **28**: 155-163, 2004.

BRAIDA, J. A.; REICHERT, J. M.; VEIGA, M.; REINERT, D. J. Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio proctor. **R. Bras. Ci. Solo**, **30**: 605-614, 2006.

CALEGARI, A. Culturas de cobertura para plantio direto em solos argilosos. In: Conferência anual de plantio direto, 2. Pato Branco, 1997. **Resumos...** Passo Fundo: Aldeia Norte, 1997. 51-62.

CAMPOS, B. C.; REINERT, D. J.; NICOLODI, R.; CASSOL, L. C. Dinâmica da agregação induzida pelo uso de plantas de inverno para cobertura do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, **23**: 383-391, 1999.

CANELLAS, L. P.; BERNER, P. G.; SILVA, S. G.; SILVA, M. B.; SANTOS, G. A. Frações da matéria orgânica em seis solos de uma topossequência no estado do Rio de Janeiro. **Pesq. Agropec. Bras.**, **35** (1): 133-143, 2000.

CASSOL, E. A.; CANTALICE, J. R. B.; REICHERT, J. M.; MONDARDO, A. Escoamento superficial e desagregação do solo em entressulcos em solo franco-argilo-arenoso com resíduos vegetais. In: **Pesq. Agropec. Bras.**, **39** (7): 685-690, 2004.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **R. Bras. Ci. Solo**, **22**: 527-538, 1998.

COSTA, F. S.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; WOBERTO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **R. Bras. Ci. Solo**, **27**: 527-535, 2003.

DAO, T. H. Tillage system and crop residue effects on surface compaction of a paleustol. **Agronomy Journal**, **88**: 141-148, 1996.

DEBARBA, L. e AMADO, T. J. C. Desenvolvimento de sistemas de produção de milho no sul do Brasil com características de sustentabilidade. **R. Bras. Ci. Solo**, **21**: 473-480, 1997.

DERPSCH, R. e CALEGARI, A. **Plantas para adubação verde de inverno**. Londrina: IAPAR, 1992. 80p.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212 p.

FERREIRA, F. P.; AZEVEDO, A. C.; DALMOLIN, R. S. D.; GIRELLI, D. Carbono orgânico, óxidos de ferro e distribuição de agregados em dois solos derivados de basalto no Rio Grande do Sul – Brasil. **Ciência Rural**, **37** (2): 381-388, 2007.

FERREIRA, M. M.; FERNANDES, B.; CURI, N. Influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de Latossolos da região Sudeste do Brasil. **R. Bras. Ci. Solo**, **23**: 515-524, 1999.

FLOSS, E. L. Cobertura de inverno visando alto rendimento de culturas de verão. In: Encontro Regional de Plantio Direto, 2. Ijuí, 2000. **Resumos...** Passo Fundo 2000, p. 29-43.

FOLINI, J. S. S.; LIMA, S. L.; BÜLL, L. T. Crescimento aéreo e radicular da soja e de plantas de cobertura em camadas compactadas de solo. **R. Bras. Ci. Solo.**, **30**: 49-57, 2006.

FREITAS, P. L. A compactação do solo é um problema em Sistema Plantio Direto? In: **Encontro Regional de Plantio Direto no Cerrado**, **5**. Dourados: UFMS / EMBRAPA-CPAO, 2001. Resumos... Brasília: APDC, 2001. p 44-48.

GIACOMINI, S. J.; AITA, C.; VENDRUSCOLO, E. R. O.; CUBILLA, M.; NICOLOSO, R. S.; FRIES, M. R. Matéria seca, relação C/N e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio em misturas de plantas de cobertura de solo. In: **R. Bras. Ci. Solo**, **27**: 325-334, 2003.

HERNANI, L. C.; ENDRES, V. C.; PITOL, C.; SALTON, J. C. **Adubos verdes de outono/inverno no Mato Grosso do Sul**. Dourados: EMBRAPA-CPAO, 1995. 93p.

KEMPER, W. D. & ROSENAU, R. C. Aggregate Stability and Size Distribution. In: Klute, A. (ed) **Methods of Soil Analysis, Part 1. Physical and Mineralogical Methods**. ed II. Madison: Wisconsin, 1986.

KENWARD, M. G. & ROGER, J. H. Small sample inference for fixed effects from restricted maximum likelihood. **Biometrics**, **53**: 983-997, 1997.

KOCHHANN, R. A. Alterações das características físicas, químicas e biológicas do solo sob sistema plantio direto. In: Conferência anual de plantio direto, 1. Passo Fundo, 1996. **Resumos...** Passo Fundo: Aldeia Norte, 1996. p 17-25.

KUSHWAHA, C. P.; TRIPATHI, S. K.; SINGH, K. P. Soil organic matter and water-stable aggregates under different tillage and residue conditions in tropical dryland agroecosystem. **Applied Soil Ecology**, **16**: 129-241, 2001.

LITTELL, R. C.; HENRY, P. R.; AMMERMAN, C. B. Statistical analysis of repeated measures data using SAS procedures. **Journal of Animal Science**, **76**: 1216-1231, 1998.

- LIU, A.; MA, B. L.; BOMKE, A. A. Effects of cover crops on soil aggregate stability, total organic carbon, and polysaccharides. **Soil Science Society of America Journal**, **69**: 2041-2048, 2005.
- LOVATO, T.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F. Adição de carbono e nitrogênio e sua relação com os estoques no solo e com o rendimento do milho em sistemas de manejo. **R. Bras. Ci. Solo**, **28**: 175-187, 2004.
- NASCIMENTO, J. T.; SILVA, I. F.; SANTIAGO, R. D.; SILVA NETO, L. F. Efeito de leguminosas nos atributos físicos e carbono orgânico de um Luvissole. **R. Bras. Ci. Solo**, **29**: 825-831, 2005.
- PALMEIRA, P. R. T.; PAULETTO, E. A.; TEIXEIRA, C. F. A.; GOMES, A. S.; SILVA, J. B. Agregação de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. **R. Bras. Ci. Solo**, **23**: 189-195, 1999.
- PASQUALETTO, A. & COSTA, L. M. Influência de sucessão de culturas sobre características agrônômicas do milho (*Zea mays* L.) em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, **31** (1): 61-64, 2001.
- PEDROTTI, A.; FERREIRA, M. M.; CURI, N.; SILVA, M. L. N.; LIMA, J. M.; CARVALHO, R. Relação entre atributos físicos, mineralogia da fração argila e formas de alumínio no solo. **R. Bras. Ci. Solo**, **27**: 1-9, 2003.
- PIEPHO, H. P.; BÜCHSE, A.; RICHTER, C. A mixed modelling approach for experiments with repeated measures. **J. Agronomy & Crop Science**, **190**: 230-247, 2004.
- REICHERT, J. M.; VEIGA, M.; CABEDA, M. S. V. Índices de estabilidade de agregados e suas relações com características e parâmetros de solo. **R. Bras. Ci. Solo**, **17**: 283-290, 1993.
- REINERT, D. J. Recuperação de solos em sistemas Agropastoris. In: Curso sobre aspectos básicos de fertilidade e microbiologia do solo no sistema plantio direto. Passo Fundo, 1997. **Resumos...** Passo Fundo: Aldeia Norte, 1997. p 25-44.
- REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; SILVA, V. R. Propriedades físicas de solos em sistema plantio direto irrigado. In: CARLESSO, R.; PETRY, M. T.; ROSA, G. M.; CERETTA, C. A., ed. **Irrigação por Aspersão no Rio Grande do Sul**. Santa Maria, 2001. p. 114-133.
- ROSA, M. E. C.; OLSZEWSKI, N.; MENDONÇA, E. S.; COSTA, L. M.; CORREIA, J. R. Formas de carbono em Latossolo Vermelho Eutroférico sob plantio direto no sistema biogeográfico do cerrado. **R. Bras. Ci. Solo**, **27**: 911-923, 2003.
- ROSOLEM, C. A.; FERNANDEZ, E. M.; ANDREOTTI, M.; CRUSCIOL, C. A. C. Crescimento radicular de plântulas de milho afetado pela resistência do solo à penetração. **Pesq. Agropec. Bras.**, **34** (5): 821-828, 1999.
- SÁ, J. C. de M. Manejo da fertilidade do solo. In: **Plantio direto no Brasil**. Passo Fundo: Aldeia Norte, 1993. p 37

SÁ, J. C. M. **Manejo de nitrogênio na cultura de milho no sistema plantio direto**. Passo Fundo: Aldeia Norte, 1996. 24 p.

SÁ, M. A. C.; LIMA, J. M.; SILVA, M. L. N.; DIAS JUNIOR, M. S. Comparação entre métodos para o estudo da estabilidade de agregados em solos. **Pesq. Agropec. Bras.**, **35** (9): 1825-1834, 2000.

SAINJU, U. M.; SINGH, B. P.; WHITEHEAD, W. F. Tillage, cover crops, and nitrogen fertilization effects on cotton and sorghum root biomass, carbon, and nitrogen. In: **Agronomy Journal**, **97**: 1279-1290, 2005.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; FABRICIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L.; BOENI, M.; CONEIÇÃO, P. C. **Matéria orgânica do solo na integração lavoura-pecuária em Mato Grosso do Sul**. Dourados: Embrapa Agropec. Oeste, 2005. 58 p.

SANTI, A.; AMADO, T. J. C.; ACOSTA, J. A. A. Adubação nitrogenada na aveia preta. I- Influência na produção de matéria seca e ciclagem de nutrientes sob sistema plantio direto. **R. Bras. Ci. Solo**, **27**: 1075-1083, 2003.

SANTORO, K. R.; BARBOSA, S. B. P.; SANTOS, E. S.; BRASIL, L. H. A. Uso de funções de covariância na descrição do crescimento de bovinos nelore criados no estado de Pernambuco. In: **R. Bras. Zootec.**, **34** (6): 2290-2297, 2005.

SAS Institute Inc. **SAS OnLine Doc**, version eight. Cary, NC: SAS Institute Inc., 1999.

SCHULZE, D.G.; STOTT, D.E. Soil structure alteration: the role of soil mineralogy, chemistry and microbiology. In: Congresso brasileiro de ciência do solo, 1997, Viçosa. **Anais...** Campinas : Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. (CD ROM).

SILVA, F. A. M.; PINTO, H. S.; SCOPEL, E.; CORBEELS, M.; AFFHOLDER, F. Dinâmica da água nas palhadas de milho, milheto e soja utilizadas em plantio direto. In: **Pesq. Agropec. Bras.**, **41** (5): 717-724, 2006.

SILVA, M. L. N.; CURI, N.; BLANCANEUX, P. Sistemas de manejo e qualidade estrutural de Latossolo Roxo. **Pesq. Agropec. Bras.**, **35** (12): 2485-2492, 2000.

SODRÉ FILHO, J.; CARDOSO, A. N.; CARMONA, R.; CARVALHO, A. M. Fitomassa e cobertura do solo de culturas de sucessão ao milho na região do cerrado. In: **Pesq. Agrop. Bras.**, **39** (4): 327-334. 2004.

STONE, L. F. & GUIMARÃES, C. M. **Influência de sistemas de rotação de culturas nos atributos físicos do solo**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2005. 15p.

TEIXEIRA, C. F.A.; PAULETTO, E. A.; SILVA, J. B. Resistência mecânica à penetração de um argissolo amarelo distrofico típico sob diferentes sistemas de produção em plantio direto. In: **Ciência Rural**, **33** (6): 1165-1167, 2003.

VITORINO, A. C. T.; FERREIRA, M. M.; CURI, N.; LIMA, J. M.; SILVA, M. L. N.; MOTTA, P. E. F. Mineralogia, química e estabilidade de agregados do tamanho de silte de solos da Região Sudeste do Brasil. **Pesq. Agropec. Bras.**, **38** (1): 133-141, 2003.

WENDLING, B; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E. S.; NEVES, J. C. L. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. **Pesq. Agropec. Bras.**, **40** (5): 487-494, 2005.

WILLIAMS, S. M. & WEIL, R. R. Crop cover root channels may alleviate soil compaction effects on soybean crop. **Soil Science Society of America Journal**, **68**: 1403-1409, 2004.

WOHLENBERG, E. V.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BLUME, E. Dinâmica da agregação de um solo franco-arenoso em cinco sistemas de culturas em rotação e em sucessão. **R. Bras. Ci. Solo**, **28**: 891-900, 2004.

XU, X.; NIEBER, J. L.; GUPTA, S. C. Compaction effect on the gas diffusion coefficient in soils. **Soil Science Society American Journal**, **56**: 1743-1750, 1992.

## 1.6. ANEXOS

### Anexo 1. Critério de Informação de Akaike (AIC) para as avaliações de solo no Ano 1

	Estruturas da matriz de covariâncias						
	CS	HF	VC	AR(1)	ARH(1)	TOEP	TOEPH
Densidade do solo	<b>26,7</b>	33,2	26,9	29,1	32,2	33,1	-
Macroporosidade	74,4	70,6	73,9	72,7	69,1	72,2	<b>68,8</b>
Microporosidade	57,7	53,7	57,4	55,8	52,6	54,6	<b>51,7</b>
Volume Total de Poros	59,7	56,9	59,6	58,0	<b>54,5</b>	58,1	54,6
Teor Carbono do Solo	49,8	51,5	<b>49,0</b>	49,3	50,0	50,1	50,8
Estoque de Carbono	50,9	52,8	<b>50,0</b>	50,4	52,0	51,1	52,8
DMP	<b>23,6</b>	23,8	24,5	23,8	23,7	24,6	24,6
DMG	7,9	7,4	7,3	7,6	7,4	6,9	<b>6,7</b>
Agreg. > 2mm	15,9	15,9	<b>14,9</b>	15,9	15,9	15,0	15,0
Agreg. 1-2 mm	40,3	40,5	40,5	40,7	40,2	40,1	<b>39,5</b>
Agreg. 0,5-1 mm	39,9	40,5	39,9	40,1	40,2	<b>39,1</b>	39,2
Agreg. 0,25-0,5 mm	46,3	46,2	46,0	46,4	45,8	45,4	<b>44,8</b>
Agreg. 0,125-1,25 mm	56,1	54,5	54,4	55,0	<b>53,9</b>	56,3	55,0

CS: Simetria Composta, HF: Huynh-Feldt, VC: Componentes de Variância, AR(1): Autorregressiva de primeira ordem, ARH(1): Autorregressiva de primeira ordem heterogênea, TOEP: Toeplitz, TOEPH: Teoplitz heterogênea.

### Anexo 2. Critério de Informação de Akaike (AIC) para as avaliações de solo no Ano 2

	Estruturas da matriz de covariâncias						
	CS	HF	VC	AR(1)	ARH(1)	TOEP	TOEPH
Densidade do solo	27,3	29,8	27,1	27,3	31,6	<b>26,5</b>	30,6
Macroporosidade	61,2	58,7	60,4	61,3	<b>57,2</b>	62,2	58,2
Microporosidade	39,8	40,5	<b>39,0</b>	39,8	40,9	40,8	41,8
Volume Total de Poros	55,4	53,0	54,6	55,1	<b>51,2</b>	56,1	52,2
Teor Carbono do Solo	40,4	30,6	39,7	40,4	24,5	41,3	<b>24,4</b>
Estoque de Carbono	56,7	57,2	<b>55,7</b>	56,4	57,8	57,2	58,6
DMP	27,9	27,7	28,3	<b>27,4</b>	28,1	28,2	29,0
DMG	4,1	3,5	3,8	4,5	3,4	3,6	<b>2,5</b>
Agreg. > 2mm	11,0	11,5	10,4	11,5	11,1	10,7	<b>10,2</b>
Agreg. 1-2 mm	38,4	42,0	<b>36,8</b>	38,1	41,8	37,5	-
Agreg. 0,5-1 mm	37,0	37,6	<b>36,1</b>	37,6	37,3	36,7	36,3
Agreg. 0,25-0,5 mm	43,1	42,5	42,9	43,3	42,1	42,3	<b>41,1</b>
Agreg. 0,125-1,25 mm	<b>52,2</b>	52,9	53,2	52,4	52,4	<b>52,2</b>	53,2

CS: Simetria Composta, HF: Huynh-Feldt, VC: Componentes de Variância, AR(1): Autorregressiva de primeira ordem, ARH(1): Autorregressiva de primeira ordem heterogênea, TOEP: Toeplitz, TOEPH: Teoplitz heterogênea.

### Anexo 3. Comandos usados no programa SAS para dados tomados em camadas de solo (medidas repetidas)

```
title '<nome do titulo>';
data <nome conjunto de dados>;
input bloco trat cam <nome da variável>;
datalines;

<conjunto de dados>
;

proc mixed;
class bloco trat cam;
model <variável> = bloco trat cam trat*cam bloco*cam / ddfm=kr;
repeated cam / subject=bloco*trat type=hf ;
lsmeans trat cam / adjust= tukey;
run;
```

### Anexo 4. Comandos usados no programa SAS para dados tomados somente em parcelas

```
title '<nome do titulo>';
data <nome do conjunto de dados>;
input bloco trat <variáveis>;
datalines;

<conjunto de dados>
;

proc anova;
class bloco trat;
model <variáveis> = bloco trat;
means trat;
run;
```



## **CAPÍTULO II**

### **SUCESSÕES DE CULTURAS NA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO EM UM SISTEMA PLANTIO DIRETO**

# SUCESSÕES DE CULTURAS NA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO EM UM SISTEMA PLANTIO DIRETO

DENIS AUGUSTO DA SILVA

Orientador: Luiz Carlos Ferreira de Souza

## RESUMO

A proteção dos solos e dos recursos hídricos é fundamental para a qualidade ambiental e a manutenção das produtividades agrícolas ao longo do tempo. Desequilíbrios no suprimento de matéria orgânica e alterações na taxa de decomposição podem provocar a redução de carbono em solos cultivados, desencadeando processos de degradação. Práticas conservacionistas, como o plantio direto, com menor revolvimento e com um maior aporte de resíduos, têm-se mostrado eficientes em aumentar os estoques de carbono do solo. Com o objetivo de se avaliar o efeito de culturas antecessoras na matéria orgânica do solo realizou-se este trabalho em um Latossolo Vermelho Distroférico, textura muito argilosa, nas safras 2004/05 e 2005/06, na Universidade Federal da Grande Dourados em uma área há 8 anos sob plantio direto. O delineamento experimental foi em blocos completos casualizados com três repetições. Foram avaliados sistemas de culturas com as espécies girassol (*Helianthus annuus* L.), crotalária (*Crotalaria juncea* L.), ervilhaca peluda (*Vicia villosa* Roth), consórcio de crotalária e aveia preta (*Avena strigosa* Schreb) e consórcio de aveia preta, ervilhaca peluda e nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L. var. *oleiferus* Metzg).. Os teores de carbono em função das culturas, não tiveram o mesmo comportamento nos dois anos, enquanto os estoques de carbono e de nitrogênio não tiveram diferenças entre os tratamentos. Os estoques de carbono foram maiores nas camadas superficiais, onde a relação C/N da matéria orgânica foi maior do que em profundidade. A matéria orgânica mineral (MOM) apresentou uma menor relação C/N do que a matéria orgânica particulada (MOP) e constitui a maior parte da matéria orgânica do solo.

**Palavras Chave:** Cultura de inverno, Matéria orgânica, Fracionamento físico,

# **CROP SEQUENCES ON ORGANIC MATTER OF SOIL UNDER A NO-TILLAGE SYSTEM**

DENIS AUGUSTO DA SILVA

Adviser: Luiz Carlos Ferreira de Souza

## **ABSTRACT**

The protection of soil and hydric resources is fundamental to environmental quality and maintain agricultural yielding along time. Unbalance in organic matter supply and variations in decomposition rates may cause carbon reduction in cultivated soil, breaking out degradation processes. Conservational practices, like no-tillage system, with minor revolving and better surface cover, had demonstrated efficiency in increasing soil carbon supply. The objective of this study was to evaluate the effect of crop sequences on organic matter of soil. The research was realized in 2004/05 and 2005/06 growing seasons, in a Typic Clayey Rhodic Hapludox, under 8 years of no-tillage system, at Universidade Federal da Grande Dourados Campus. The experiment was a randomized complete block design, with three replications. Treatments were constituted by cover crops: sunflower (*Helianthus annuus* L.), sunnhemp (*Crotalaria juncea* L.), hairy vetch (*Vicia villosa* Roth), mixture of sunnhemp + black oat (*Avena strigosa* Schreb), and mixture of black oat + hairy vetch + oilseed radish (*Raphanus sativus* L. Var. *oliferus* Metzger). Carbon contents running cultures were different in the two years, while carbon and nitrogen supply had no difference between treatments. Carbon supply was higher at surface layer, where organic matter C/N relation over passes in depth. Mineral organic matter (MOM) presented lower C/N relation than particulate organic matter (POM) and constituted a great part of soil organic matter.

**Key Words:** Winter crops, Organic matter, Physical fractionation.

## 2.1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O cultivo intensivo pode reduzir o conteúdo de matéria orgânica do solo, enquanto que práticas conservacionistas, como o plantio direto, que revolvem menos o solo e recebem um maior aporte de resíduos, geralmente têm-se mostrado eficientes em aumentar os estoques de carbono no solo (Wendling *et al.*, 2005). No trabalho de Jantalia *et al.* (2003), o preparo do solo reduziu os estoques de carbono e de nitrogênio do solo, quando comparado ao sistema plantio direto. A ausência de revolvimento e contínuo aporte de material vegetal, pode atuar como dreno de carbono atmosférico na medida em que aumenta os estoques de carbono do solo, enquanto sistemas com intenso preparo do solo podem atuar como fonte de carbono para a atmosfera (Bayer *et al.*, 2004).

A matéria orgânica age como agente condicionador de solo mediante sua estrutura complexa e longas cadeias de carbono, agregando partículas minerais. A importância das frações orgânicas na agregação do solo tem sido amplamente comprovada por meio de correlações entre as frações e os índices de agregação, sendo as bactérias e os fungos capazes de unir a fração mineral do solo em agregados estáveis, principalmente pelo efeito adesivo de polissacarídeos extracelulares (Dufranc *et al.*, 2004). Segundo estes autores cátions polivalentes são cruciais na união das frações orgânica e argila, sem esta união a argila e a matéria orgânica se dispersariam, pois ambas têm cargas negativas. Por outro lado, a matéria orgânica também pode ser fisicamente protegida do ataque microbiano dentro dos agregados do solo, contribuindo

para a fixação do carbono atmosférico, aumentando a produtividade das culturas e mantendo boas condições físicas do solo (Kushwaha *et al.*, 2001).

Como a matéria orgânica do solo encontra-se em situações muito variáveis quanto ao grau de decomposição, composição química, tamanho, proteção química e física, são utilizados métodos de fracionamento químico ou físico, para classificar e quantificar sua presença no solo e os efeitos dos sistemas de manejo (Salton *et al.*, 2005). A matéria orgânica do solo é uma importante fonte de nutrientes para a produção vegetal em ecossistemas naturais e em sistemas agrícolas. A habilidade em quantificar as suas frações é importante para a o entendimento da dinâmica desta matéria orgânica (Cambardella & Elliott, 1992).

Cambardella & Elliott (1992), comentam que o fracionamento químico da matéria orgânica não tem sido eficaz em explicar a dinâmica da matéria orgânica no solo. Roscoe & Machado (2002), citam que os métodos de fracionamento químico da matéria orgânica, têm sido conduzidos para o entendimento da pedogênese, da melhoria de propriedades físicas dos solos, das interações organo-minerais e na fixação de fósforo, entretanto, estes métodos têm contribuído pouco para a identificação de compartimentos da matéria orgânica do solo que diminuem sob manejo intensivo e de modo distinto ao longo do tempo. O fracionamento físico da matéria orgânica do solo, por outro lado, visa à separação de reservatórios funcionais da mesma e apresenta vantagens em relação aos tradicionais métodos de fracionamento químico, por possibilitar a separação de reservatórios da matéria orgânica de diferentes naturezas e graus de associação com a matriz do solo.

Dependendo do grau de associação com a matriz do solo, a matéria orgânica pode estar livre ou fracamente associada às partículas de solo, sendo chamada de matéria orgânica não complexada (MONC), ou pode estar fortemente ligada às partículas minerais, formando complexos organo-minerais (COM). Os COM são ditos primários quando resultam da interação direta entre partículas minerais e compostos orgânicos e secundários quando há o agrupamento de COM primários, também chamados de agregados (Christensen 1996, 2000; citado por Roscoe & Machado, 2002). Devido à reduzida superfície específica e densidade de carga superficial, a fração areia apresenta pouco ou nenhum material orgânico fortemente ligado, sendo pobre em compostos organo-minerais, ao mesmo tempo, a maior parte da matéria orgânica não complexada encontra-se nesta classe de tamanho. As frações silte e argila são, no

entanto amplamente dominadas por compostos organo-minerais e contém a maior parte do carbono orgânico do solo (Roscoe & Machado, 2002).

O carbono pode acumular-se em frações lábeis ou estáveis da matéria orgânica do solo, o que pode ter implicações na sua permanência no solo assim como nas alterações das características físicas, químicas e biológicas (Bayer *et al.*, 2004). No fracionamento físico granulométrico a matéria orgânica do solo (MOS) é subdividida em matéria orgânica particulada (MOP) e fração associada aos minerais do solo ou matéria orgânica mineral (MOM). A fração particulada é a parte mais lábil do solo, aquela que responde prontamente aos sistemas de manejo, já a fração mineral é a parte mais estável, não apresentando sensibilidade imediata a alterações nas práticas de manejo do solo, sendo considerada o estoque de carbono a médio e longo prazo (Salton *et al.*, 2005). Cambardella & Elliott (1992), encontraram na matéria orgânica particulada, principalmente, areia, carvão vegetal e fragmentos de raízes em vários estados de decomposição. Segundo Rosa *et al.* (2003), a matéria orgânica lábil tem maior potencial nos estudos de ciclagem de nutrientes e de agregação do solo do que a matéria orgânica mineral.

O acúmulo de restos culturais na superfície do solo melhora as condições para o desenvolvimento da fauna do solo, aumentando a sua atividade. Nestas condições a dinâmica da matéria orgânica é alterada, interferindo não somente nos ciclos de transformação de nutrientes, mas também na estruturação do solo. Desta maneira a presença de resíduos na superfície do solo tem sido um dos principais fatores a proporcionar incremento de matéria orgânica e melhoria das condições edáficas em sistema de plantio direto (Castro Filho *et al.*, 1998). O incremento da produção de fitomassa aumenta a entrada de carbono e melhora as propriedades do solo, uma vez que impede o impacto das gotas de chuva e melhora as condições edáficas, pela menor variação na temperatura e umidade do solo (Wendling *et al.*, 2005). Estes autores encontraram redução dos teores de carbono no solo após a retirada da parte aérea do milho para silagem. Sistemas de rotação/sucessão com maior diversidade de espécies promovem maiores estoques de carbono e de nitrogênio no solo. Rotações de culturas envolvendo espécies para adubação verde permitem que o plantio direto apresente os benefícios desejados no solo (Jantalia *et al.*, 2003).

## 2.2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.2.1. Descrição dos experimentos:

A pesquisa foi realizada em dois anos agrícolas consecutivos (2004/05 e 2005/06), em área experimental pertencente à Universidade Federal da Grande Dourados, no município de Dourados, MS, localizada a 22° 14' de latitude sul e 54° 49' de longitude oeste e altitude de 452 metros. O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho Distroférico, textura muito argilosa, originalmente sob vegetação de cerrado. A pesquisa foi desenvolvida em uma área sob sistema plantio direto, implantada em 1997, envolvendo rotações e sucessões de cultura. O delineamento experimental foi em blocos completos casualizados com três repetições. Os tratamentos foram constituídos pelas seguintes culturas de inverno: girassol (*Helianthus annuus* L.), crotalária (*Crotalaria juncea* L.), ervilhaca peluda (*Vicia villosa* Roth), consórcio de crotalária e aveia preta (*Avena strigosa* Schreb) e consórcio de aveia preta, ervilhaca peluda e nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L. var. *oleiferus* Metzg).

O histórico de cultivo de cada área é apresentado nas tabelas 1 e 2 para o primeiro e segundo ano respectivamente. Como existiam diferenças no histórico de cultivo para cada tratamento, a repetição do experimento no ano subsequente e em parcelas diferentes, foi importante para avaliar as culturas antecessoras em condições diferentes. Na primavera/verão em cada ano, foi semeado o milho cultivar DKB 390. As avaliações de solo foram feitas no florescimento do milho, em três camadas, uma superficial de zero a 5 cm, uma subsuperficial de 5 a 10 cm e uma mais profunda, de 10 a 20 cm.

Tabela 1. Sequência de culturas entre os anos de 2000 e 2004, nas parcelas avaliadas no ano agrícola 2004/05. Dourados, 2007.

Sistemas de Rotação	2000	2001		2002		2003		2004	
	Primav Verão	Outono Inverno	Primav Verão	Outono Inverno	Primav Verão	Outono Inverno	Primav Verão	Outono Inverno	Primav Verão
A1	Soja	Ep	Soja	Crot+Ap	Soja	Ap	Soja	Crot+Ap	Milho
A2	Soja	Sorgo	Soja	Ap+Ep+Nf	Soja	Ap	Soja	Ap+Ep+Nf	Milho
A3	Feijão	Milho	Soja	Girassol	Feijão	Sorgo	Soja	Girassol	Milho
A4	Soja	Feijão	Soja	Crot	Feijão	Nf	Milho	Crot	Milho
A5	Soja	Ap	Soja	Ep	Soja	Ap	Milho	Ep	Milho

Ap: Aveia preta, Ep: Ervilhaca peluda, Nf: Nabo forrageiro, Crot: Crotalária juncea.

Tabela 2. Sequência de culturas entre os anos de 2001 e 2005, nas parcelas avaliadas no ano agrícola 2005/06. Dourados, 2007.

Sistemas de Rotação	2001	2002		2003		2004		2005	
	Primav Verão	Outono Inverno	Primav Verão	Outono Inverno	Primav Verão	Outono Inverno	Primav Verão	Outono Inverno	Primav Verão
B1	Milho	Ap+Ep+Nf	Milho	Ap+Ep+Nf	Feijão	Ap+Ep+Nf	Soja	Crot+Ap	Milho
B2	Milho	Girassol	Soja	Trigo	Milho	Girassol	Soja	Ap+Ep+Nf	Milho
B3	Milho	Crot+Ap	Milho	Ap+Ep+Nf	Soja	Crot+Ap	Soja	Girassol	Milho
B4	Milho	Feijão	Soja	Triticale	Milho	Feijão	Soja	Crotalária	Milho
B5	Soja	Sorgo	Soja	Ep	Milho	Sorgo	Soja	Ep	Milho

Ap: Aveia preta, Ep: Ervilhaca peluda, Nf: Nabo forrageiro, Crot: Crotalária juncea.

A área de cada parcela foi de 12 metros de largura por 36 metros de comprimento, onde foram semeadas mecanicamente as culturas de inverno no mês de maio. O girassol foi semeado num espaçamento de 0,9 m e densidade de 7 sementes por metro linear. A crotalária foi semeada num espaçamento de 0,45 m com 12 sementes por metro linear. A ervilhaca peluda foi semeada num espaçamento de 0,34 m com 20 sementes por metro linear. O consórcio de crotalária e aveia preta foi feito semeando-se primeiramente a aveia, num espaçamento de 0,17 m com 80 kg de sementes por hectare, posteriormente foi feita a sobre-semeadura da crotalária conforme o sistema solteiro. O consórcio de aveia preta, ervilhaca peluda e nabo forrageiro, foi feito pela mistura física das sementes na proporção de 50%, 40% e 10% respectivamente. A mistura foi semeada em espaçamento de 0,17 m com 80 kg por hectare.

No mês de agosto, foi feito o manejo mecânico das culturas com 'rolo-faca'. A aveia preta, o girassol e o nabo forrageiro estavam na fase de grão pastoso. A ervilhaca peluda e a crotalária estavam em pleno florescimento. A caracterização química das parcelas em cada ano é apresentada nas Tabelas 3 e 4, onde pode-se observar um bom nível de fertilidade, principalmente na camada superficial e níveis de alumínio tóxico abaixo de 3% de saturação.



Tabela 3. Análise química do solo nas parcelas do Ano 1 (2004/05) coletada antes da semeadura das culturas de inverno. Dourados, 2007.

Parcelas	Prof	M.O.	pH	P	K	Al	Ca	Mg	H+Al	SB	T	V
		g/dm <sup>3</sup>	CaCl <sub>2</sub>	mg/dm <sup>3</sup>	mmol/dm <sup>3</sup>							%
Crot + Ap	0 - 5,0	35,1	5,1	25,0	10,7	0,0	57,0	17,0	45,5	84,7	130,2	65,0
	5,0 - 10,0	30,3	4,5	9,0	4,3	2,9	38,8	27,4	76,7	70,5	147,2	48,0
	10,0 - 20,0	27,6	4,5	6,0	1,8	2,7	44,7	16,3	69,3	62,8	132,1	47,0
Ap+Ep+Nf	0 - 5,0	34,0	5,0	29,0	8,0	1,0	51,2	22,5	56,2	81,7	137,9	59,0
	5,0 - 10,0	29,1	4,6	13,0	2,7	3,1	42,6	15,0	74,7	60,3	135,0	45,0
	10,0 - 20,0	27,9	4,5	8,0	1,7	2,3	42,9	14,3	69,7	58,9	128,6	46,0
Girassol	0 - 5,0	35,6	5,2	14,0	10,6	0,2	56,2	25,6	48,7	92,4	141,1	66,0
	5,0 - 10,0	29,4	4,8	15,0	5,0	0,8	47,5	17,9	61,7	70,4	132,1	53,0
	10,0 - 20,0	27,3	4,8	5,0	1,6	0,6	48,9	17,0	54,7	67,5	122,2	55,0
Crotalaria	0 - 5,0	33,7	5,4	26,0	8,7	0,1	58,7	28,3	42,8	95,7	138,5	69,0
	5,0 - 10,0	29,7	4,4	24,0	2,8	3,7	39,4	15,8	76,0	58,0	134,0	43,0
	10,0 - 20,0	26,8	4,5	7	1,3	2,5	42,9	14,4	66,3	58,6	124,9	47,0
Ervilhaca peluda	0 - 5,0	31,2	5,2	28,0	8,7	0,5	51,5	25,7	42,8	85,9	128,7	67,0
	5,0 - 10,0	26,8	4,7	11,0	4,9	2,5	45,7	17,1	60,3	67,7	128,0	53,0
	10,0 - 20,0	25,3	4,7	7,0	3,2	2,3	43,3	12,8	56,0	59,3	115,3	51,0

Tabela 4. Análise química do solo nas parcelas do Ano 2 (2005/06) coletada antes da semeadura das culturas de inverno. Dourados, 2007.

Parcelas	Prof	M.O.	pH	P	K	Al	Ca	Mg	H+Al	SB	T	V
		g/dm <sup>3</sup>	CaCl <sub>2</sub>	mg/dm <sup>3</sup>	mmol/dm <sup>3</sup>							%
Crot + Ap	0 - 5,0	35,6	5,3	26,3	12,5	0,6	49,4	24,0	47,2	85,9	133,1	64,4
	5,0 - 10,0	27,4	4,8	11,7	4,7	2,5	41,1	16,1	61,3	61,9	123,2	50,2
	10,0 - 20,0	23,4	4,8	7,0	2,7	1,2	37,4	14,8	52,7	54,9	107,5	51,0
Ap+Ep+Nf	0 - 5,0	36,7	5,5	38,8	15,2	0,4	55,1	23,7	43,6	93,9	137,6	68,3
	5,0 - 10,0	28,7	4,8	38,7	5,1	3,7	41,9	15,1	65,3	62,2	127,5	48,8
	10,0 - 20,0	26,8	4,8	12,0	2,8	3,3	39,8	14,3	62,3	57,0	119,3	47,8
Girassol	0 - 5,0	38,0	5,6	32,2	11,8	0,4	58,9	27,0	42,8	97,8	140,6	69,5
	5,0 - 10,0	28,6	5,0	17,3	4,1	2,9	45,7	20,8	59,3	70,6	129,9	54,3
	10,0 - 20,0	24,9	4,8	11,0	1,9	1,6	40,8	15,2	54,0	58,0	112,0	51,8
Crotalaria	0 - 5,0	35,8	5,3	52,3	11,2	0,3	50,9	21,9	49,7	83,9	133,6	62,8
	5,0 - 10,0	31,0	4,5	43,7	4,7	2,3	36,6	13,5	75,0	54,8	129,8	42,2
	10,0 - 20,0	26,2	4,4	20,7	3,0	3,4	32,1	11,0	75,3	46,1	121,4	37,9
Ervilhaca peluda	0 - 5,0	40,0	5,5	28,8	10,1	0,0	57,6	30,2	40,7	97,9	138,5	70,6
	5,0 - 10,0	32,6	5,1	25,3	4,8	0,8	52,7	24,7	53,7	82,3	136,0	60,5
	10,0 - 20,0	28,0	4,9	11,7	2,2	1,2	44,7	18,8	56,7	65,7	122,4	53,7

O milho subsequente foi semeado mecanicamente no dia 27 de outubro de 2004 e 28 de outubro de 2005 para o primeiro e segundo ano respectivamente, sendo a população de plantas de 55.000 plantas por hectare. A adubação de semeadura foi feita no sulco na quantidade de 300 kg ha<sup>-1</sup> de um adubo comercial 08-20-20 e na fase de seis folhas completamente desenvolvidas foi feita uma adubação de cobertura com uréia (45% de N) na quantidade de 200 kg ha<sup>-1</sup>. As coletas de solo foram feitas no florescimento da cultura do milho. A maturação fisiológica se deu no dia 28 de fevereiro para os dois anos.

Os dados climáticos são apresentados nas Figuras 1 e 2 para o primeiro e segundo ano respectivamente. Durante o desenvolvimento do milho no primeiro ano a precipitação total foi de 731 mm, sendo que nos períodos crítico de 15 dias antes e 15 dias depois do pendoamento a soma de precipitações foi de 76 e 139 mm respectivamente. Durante o desenvolvimento do milho no segundo ano a precipitação total foi de 653 mm, sendo que nos períodos críticos de 15 dias antes e 15 dias depois do pendoamento a soma de precipitações foi de 25 e 66 mm respectivamente.

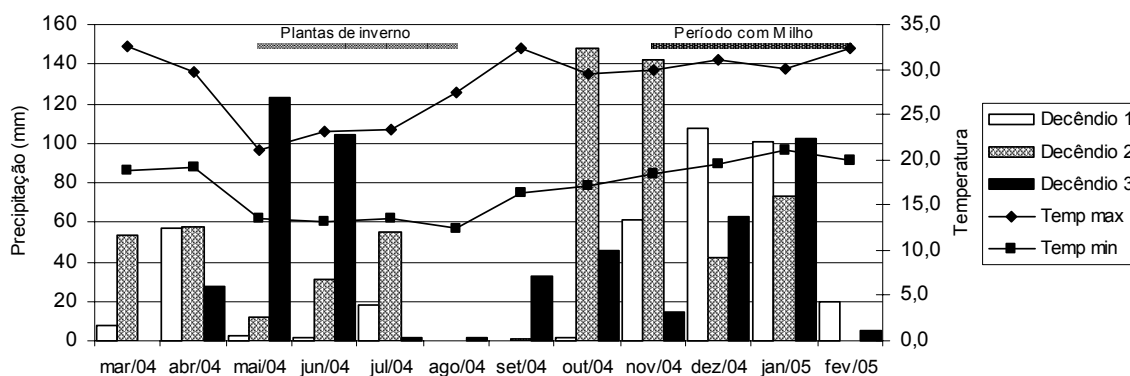


Figura 1. Precipitação por decêndio e temperaturas máxima e mínima mensal, no ano agrícola 2004/05. Estação Meteorológica UFGD. Dourados, 2007.

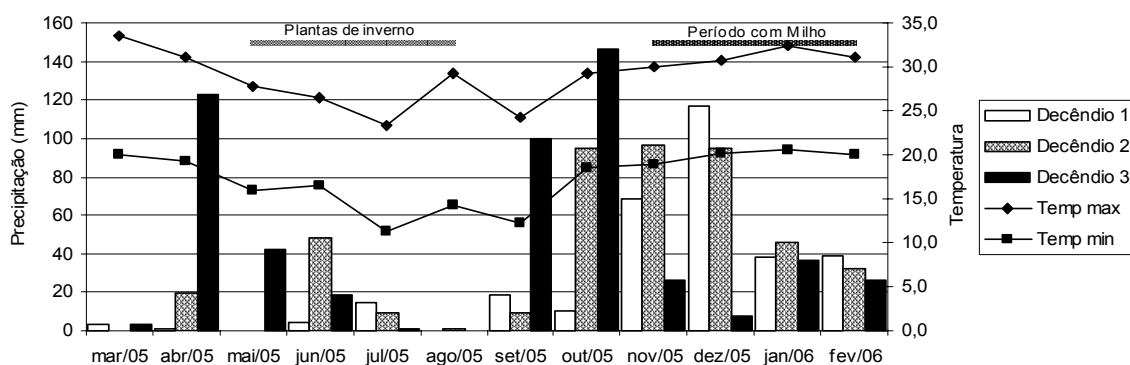


Figura 2. Precipitação por decêndio e temperaturas máxima e mínima mensal, no ano agrícola 2005/06. Estação Meteorológica UFGD. Dourados, 2007.

### **2.2.2. Determinações:**

#### **Fracionamento físico da matéria orgânica:**

O método de fracionamento da matéria orgânica do solo utilizado foi o fracionamento físico granulométrico, que se baseia na hipótese de que as partículas minerais associam-se de forma distinta com a matéria orgânica do solo. Após dispersão do solo com NaOH e agitação de 14 horas, este foi separado através de peneira com malha de 0,053 mm (fração areia). A fração retida na peneira (matéria orgânica particulada) foi pesada e determinado o teor de carbono orgânico e de nitrogênio total da fração, que posteriormente é transformado para teores das frações pela massa total do solo. A fração que passa pela peneira é considerada aquela associada aos minerais do solo (MOM) e foi obtida pela diferença entre a matéria orgânica da amostra não fracionada e a MOP, os teores de carbono e nitrogênio também foram obtidos pela diferença entre os teores totais e os teores de MOP (Salton *et al.*, 2005).

#### **Teores de carbono e de nitrogênio das frações**

Os teores de carbono e de nitrogênio total foram determinados na amostra total e na matéria orgânica particulada, sendo expressos em  $\text{g kg}^{-1}$  de solo. Os teores de carbono foram determinados por oxidação via úmida e os teores de nitrogênio total pelo método semi-micro-Kjeldahl (Embrapa, 1997).

#### **Estoques de carbono e nitrogênio**

Os estoques de carbono e de nitrogênio foram obtidos pela multiplicação de seus teores, dados em  $\text{g kg}^{-1}$  de solo, pela densidade do solo, na parcela e na camada correspondente, dada em  $\text{kg dm}^{-3}$  de solo, obtendo-se o resultado em  $\text{g dm}^{-3}$  e pode ser transformada para  $\text{Mg ha}^{-1}$  quando se considera uma camada específica.

#### **Produtividade do milho**

A colheita foi feita manualmente em triplicata dentro de cada parcela, em uma amostra de duas linhas de 5m de comprimento. As espigas foram trilhadas e pesadas, sendo os valores corrigidos para 13% de umidade e expressos em quilograma por hectare.

#### **Massa seca das culturas de inverno**

No pleno florescimento foram retiradas amostras da parte aérea das culturas de inverno, utilizando uma armação metálica de  $0,5 \text{ m}^2$  lançada ao acaso em três pontos por parcela. As amostras foram secas em estufa a  $65^\circ \text{ C}$  até peso constante, para a determinação da massa seca por hectare, deixada por cada cultura na superfície do solo.

### **Densidade do solo**

As densidades de solo foram determinadas através do método do anel ou cilindro volumétrico (Embrapa, 1997). Onde amostras de solo obtidas em anéis volumétricos, nas três camadas, foram secas em estufa a 105° C até peso constante, sendo então pesadas e a razão entre a massa do solo seco e o volume do anel representa a densidade do solo, expressa em gramas por centímetro cúbico ( $\text{g cm}^{-3}$ ).

### **2.2.3. Análise Estatística:**

Considerando três blocos completos casualizados, cinco tratamentos constituídos de culturas de inverno casualizadas dentro do bloco e as avaliações de solo sendo feitas em três camadas, deve-se levar em conta que não se pode casualizar as camadas. A unidade experimental é a parcela, caracterizada pela cultura  $i$  no bloco  $j$  e as camadas são repetidas dentro de cada unidade experimental. Segundo Littell *et al.* (1998), múltiplas respostas tomadas em uma seqüência (temporal ou espacial) em uma mesma unidade experimental, são referidas como *medidas repetidas* e tendem a ser correlacionadas, gerando correlações dos erros e complicadas estruturas das matrizes de covariância.

A análise de variância usual (ANOVA) usa o método de estimação de parâmetros dos Quadrados Mínimos Ordinários (OLS), porém um desenvolvimento mais recente é a análise de medidas repetidas dentro de uma estrutura de modelos mistos, usando o método da máxima verossimilhança (ML) ou da máxima verossimilhança restrita (REML). As principais vantagens dessa análise são a disponibilidade de modelos de correlação (variância-covariância), que são mais parcimoniosos do que aqueles implementados pela análise de variância multivariada (MANOVA), a facilidade de acomodar vários termos de erro e a fácil análise de dados incompletos, como valores perdidos ao acaso (Piepho *et al.*, 2004). No programa estatístico SAS a análise de dados com medidas repetidas pode ser feito pelo procedimento MIXED, que oferece acesso direto à estrutura de covariância e melhora a capacidade do usuário em analisar tais dados (Littell *et al.*, 1998).

Segundo a abordagem de Piepho *et al.* (2004), um modelo misto para este experimento, que reflita as diferentes condições de fatores tratamento e fator repetido, deve ter as seguintes propriedades: 1-O modelo implementado para cada camada deve ser aquele para um delineamento em blocos casualizados (DBC); 2- O modelo que

calcula a média ao longo das camadas deve ser aquele para um DBC; 3- O modelo obtido pela computação de contrastes entre camadas deve ser o de um DBC e 4- O modelo deve refletir o fato de o fator repetido não poder ser casualizado, ou seja, deve considerar a correlação serial entre diferentes camadas na mesma parcela. Assim o modelo para um DBC com medidas repetidas que é descrito por :

$$y_{ijt} = \mu + \alpha_i + \beta_t + (\alpha\beta)_{it} + c_j + d_{jt} + \varepsilon_{ijt}, \text{ onde:}$$

$y_{ijt}$ : resposta da i-ésima cultura, no j-ésimo bloco, da t-ésima camada;

$\mu$ : efeito geral

$c_j$ : efeito do j-ésimo bloco;

$\alpha_i$ : efeito da i-ésima cultura;

$\beta_t$ : efeito principal da t-ésima camada de solo;

$(\alpha\beta)_{it}$ : efeito da it-ésima interação cultura-camada;

$d_{jt}$ : efeito da t-ésima camada de solo no j-ésimo bloco;

$\varepsilon_{ijt}$ : erro da ij-ésima parcela na t-ésima camada.

Uma importante característica adicionada pelos autores é a interação entre camada e bloco ( $d_{jt}$ ), que em analogia com a pressuposição usual de aditividade blocotratamento em experimentos casualizados, há a pressuposição de aditividade blococamada de solo, assumindo que a heterogeneidade dentro do solo é tal que diferenças de blocos não são as mesmas em cada camada.

Os dados foram analisados utilizando o programa computacional SAS 8.0 (SAS, 1999), utilizando o procedimento MIXED para permitir o acesso às estruturas de covariância dos erros e correções dos graus de liberdade, já que se trata de um experimento com medidas repetidas. A estruturas de covariância testadas foram a Simetria Composta [CS], Componentes de Variância [VC], Huynh-Feldt [HF], Autorregressiva [AR(1)], Autorregressiva Heterogênea [ARH(1)], Toeplitz [TOEP] e Teplitz Heterogênea [TOEPH].

Para escolher a melhor estrutura de covariância deve-se usar um critério de seleção, como o critério de informação de Akaike (AIC), que pode ser empregado para selecionar modelos com os mesmos efeitos fixos, mas diferentes estruturas de covariância, sendo considerado o melhor modelo aquele com o menor AIC modular. O Critério Bayesiano de Schwarz (BIC) também pode ser usado, porém este critério penaliza mais os modelos com grande número de parâmetros, de modo que os dois critérios podem não concordar (Santoro *et al.*, 2005). Segundo Araújo *et al.* (2006), o critério de informação de Akaike (AIC), é expresso como:  $AIC = 2 \log L + 2p$ , em que L é a função de máxima verossimilhança restrita e p, o número de parâmetros

estimados. Os valores de AIC para as diferentes estruturas de covariância testadas são apresentados nos Anexo 2.1 e 2.2.

Como o procedimento MIXED do SAS resolve os conjuntos de equações de modelos mistos de usando o método de estimação da Máxima Verossimilhança Restrita (REML) ao invés do método Quadrados Mínimos Ordinários (OLS), os graus de liberdade correspondentes aos testes de hipóteses devem ser aproximados. Quando o delineamento experimental contém medidas repetidas, é crucial especificar o método de estimação dos graus de liberdade. Para muitos propósitos a correção de Kenward & Rogers (1997) (comando no SAS: DDFM=KR), que é baseada no método Satterthwaith, pode ser usada rotineiramente. As médias de tratamentos e de camadas foram comparadas pelo método da estimação dos mínimos quadrados e utilizando a correção de Tukey. Os comandos utilizados no programa SAS para as estruturas com medidas repetidas são apresentados no Anexo 2.3 e para estruturas somente com parcelas, como nas avaliações de produtividade, no Anexo 2.4.

### 2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A produtividade de milho, nos dois anos avaliados, não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos. Lovato *et al.* (2004), também não encontraram diferenças no rendimento de grão de milho cultivado após aveia, ervilhaca ou aveia + ervilhaca, desde que adicionado nitrogênio mineral na cultura de milho. Pasqualetto & Costa (2001), também não encontraram diferenças na produtividade de milho quando este é cultivado após soja, girassol, milheto, sorgo ou guandu e recebe altas doses de adubo nitrogenado. Na primeira safra a produtividade média foi de 8058 kg ha<sup>-1</sup>, enquanto na segunda a produtividade foi menor (3197 kg ha<sup>-1</sup>). Analisando os dados meteorológicos (Figuras 1 e 2) pode-se observar que na primeira safra tanto a precipitação total no período de desenvolvimento do milho (731 mm), quanto as precipitações no período crítico de 15 dias antes e depois do pendoamento (76 e 139 mm respectivamente), foram maiores do que na segunda safra ( 653 mm totais e 25mm antes e 66 mm depois do pendoamento). Principalmente no último decêndio de dezembro de 2005 houve baixas precipitações (Figura 2), correspondendo ao período anterior ao pendoamento.

Pela análise dos teores de carbono total do solo (C\_tot) e os teores de carbono das frações MOM (C\_mom) e carbono da MOP (C\_mop) pode-se observar que houve efeito significativo para os tratamentos e para as camadas nos dois anos avaliados, com exceção do primeiro ano, onde C\_mop teve efeito apenas para camadas (Tabela 5). Os estoques de carbono em cada fração, porém, tiveram efeito significativo apenas para as

camadas, no primeiro ano, enquanto no segundo ano o estoque de carbono da matéria orgânica mineral (estC\_mom) teve efeito significativo para os tratamentos e para as camadas, enquanto que, o estoque de carbono da matéria orgânica particulada (estC\_mop) teve o mesmo comportamento do primeiro ano (Tabela 5).

Tabela 5. Teste F dos efeitos fixos para as variáveis, teor de carbono total, teor de carbono da MOP, teor de carbono da MOM, estoque de carbono da MOP e estoque de carbono da MOM. Dourados, 2007.

	Efeitos	GL	Valores de F e Significância				
			C_tot	C_mop	C_mom	estC_mop	estC_mom
Ano 1	Bloco	2	0,38 ns	0,30 ns	0,71 ns	0,24 ns	0,43 ns
	Tratamento	4	3,74 *	2,50 ns	3,27 *	1,77 ns	2,04 ns
	Camada	2	124,14**	129,13**	43,67**	115,42**	8,11**
	Trat*Cam	8	1,97 ns	2,08 ns	0,86 ns	1,43 ns	1,90 ns
	Bloco*Cam	4	1,24 ns	1,14 ns	0,78 ns	1,42 ns	1,83 ns
Ano 2	Bloco	2	1,36 ns	0,33 ns	4,71 *	0,23 ns	9,50**
	Tratamento	4	3,12 *	3,95 *	7,44**	2,64 ns	8,88**
	Camada	2	149,25**	160,21**	12,33**	148,57 **	8,65**
	Trat*Cam	8	2,04 ns	2,66 ns	0,85 ns	2,42 ns	1,02 ns
	Bloco*Cam	4	0,58 ns	1,13 ns	0,41 ns	0,87 ns	0,35 ns

(\*\*), (\*) e (ns): significâncias do teste F ( $p < 0,01$ ), ( $p < 0,05$ ) e não significativo respectivamente.

Observando-se a análise dos teores e dos estoques de nitrogênio no solo, verifica-se que houve efeito significativo para as camadas nos teores totais e nas frações, com a fração da matéria orgânica particulada apresentando efeito da interação tratamento\*camada (Tabela 6). Pela análise da relação C/N total e das frações da matéria orgânica, observou-se efeito significativo apenas entre camadas nas frações MOM e MOP do primeiro ano (Tabela 7).

O teor de carbono total no primeiro ano foi maior no tratamento em que a cultura antecessora era o girassol, porém diferindo do tratamento em que a cultura antecessora era o consórcio triplo (aveia preta + ervilhaca peluda + nabo forrageiro). No segundo ano os maiores teores foram na área em que foi cultivado o consórcio duplo (aveia preta + crotalária juncea) e que diferiu apenas do tratamento com crotalária (Figura 3).



Tabela 6. Teste F dos efeitos fixos para as variáveis teor de nitrogênio total do solo, estoque de nitrogênio do solo, teor de nitrogênio da MOM, estoque de nitrogênio da MOM, teor de nitrogênio da MOP, estoque de nitrogênio da MOP. Dourados, 2007.

		Valores de F e Significância						
Efeitos		GL	N_tot	estN_tot	N_mom	estN_mom	N_mop	estN_mop
Ano 1	Bloco	2	1,81 ns	1,88 ns	3,23 ns	3,11 ns	0,32 ns	0,34 ns
	Tratamento	4	2,26 ns	2,43 ns	2,56 ns	3,24 ns	6,06 *	5,46 *
	Camada	2	120,40**	34,88**	56,39**	15,18**	329,82**	297,30**
	Trat*Cam	8	1,35 ns	0,47 ns	0,97 ns	1,13 ns	8,12**	6,28**
	Bloco*Cam	4	0,32 ns	1,50 ns	0,12 ns	1,13 ns	1,30 ns	2,04 ns
		Valores de F e Significância						
Efeitos		GL	N_tot	estN_tot	N_mom	estN_mom	N_mop	estN_mop
Ano 2	Bloco	2	0,41 ns	1,79 ns	0,78 ns	2,08 ns	19,91**	17,67**
	Tratamento	4	1,59 ns	1,65 ns	1,93 ns	2,09 ns	7,58 *	7,45 *
	Camada	2	53,27**	30,47**	18,46**	9,32**	465,82**	543,90**
	Trat*Cam	8	1,03 ns	0,90 ns	1,39 ns	1,20 ns	5,82**	7,99**
	Bloco*Cam	4	0,51 ns	0,80 ns	0,50 ns	0,86 ns	2,87 ns	1,89 ns

(\*\*), (\*) e (ns) : significâncias do teste F ( $p < 0,01$ ), ( $p < 0,05$ ) e não significativo respectivamente.

Tabela 7. Teste F dos efeitos fixos para as relações carbono/nitrogênio da matéria orgânica total do solo, para a fração mineral e para a fração particulada, dos dois anos avaliados. Dourados, 2007.

		Valores de F e Significância					
		Ano 1			Ano 2		
Efeitos	GL	CN_tot	CN_mom	CN_mop	CN_tot	CN_mom	CN_mop
Bloco	2	6,29**	8,52**	2,24 ns	0,01 ns	0,64 ns	9,05**
Tratamento	4	1,64 ns	1,40 ns	0,50 ns	1,45 ns	2,57 ns	2,57 ns
Camada	2	2,55 ns	4,21 *	26,97**	0,91 ns	1,20 ns	3,33 ns
Trat*Cam	8	0,87 ns	1,31 ns	0,52 ns	1,61 ns	1,08 ns	2,81 *
Bloco*Cam	4	1,11 ns	0,90 ns	1,06 ns	1,79 ns	1,32 ns	2,38 ns

(\*\*), (\*) e (ns) : significâncias do teste F ( $p < 0,01$ ), ( $p < 0,05$ ) e não significativo respectivamente.

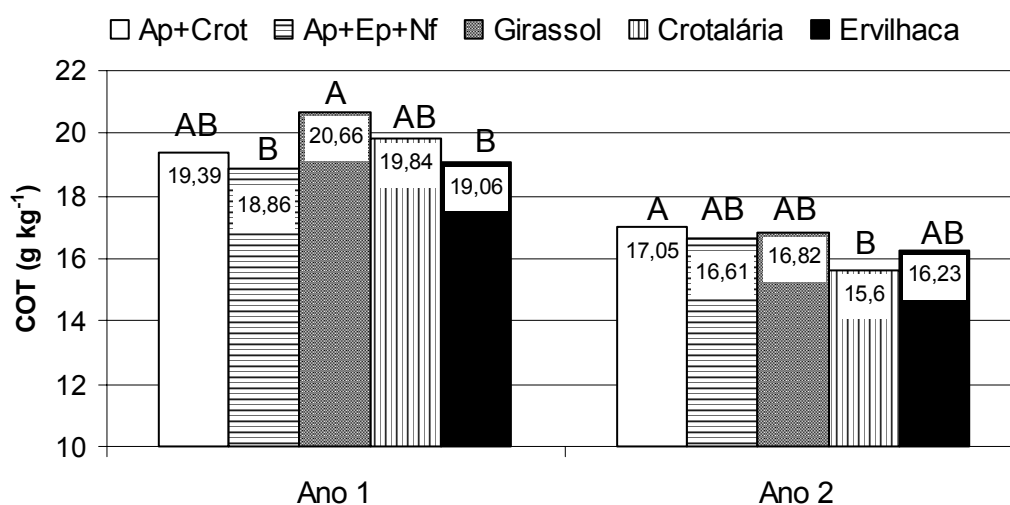


Figura 3. Médias dos teores de carbono orgânico total (C\_tot) em  $\text{g kg}^{-1}$  de solo, para as cinco culturas antecessoras e nos dois anos. Dourados, 2007.

Os teores da matéria orgânica particulada no primeiro ano não tiveram diferenças significativas. Apesar da não diferença estatística dos dados, houve uma tendência para maiores valores no tratamento com girassol e com crotalária assim com em relação aos teores de COT (Figura 4). No segundo ano os maiores valores foram para os tratamentos com ervilhaca e com girassol, sendo que este último não diferiu dos demais tratamentos.

Os teores de carbono da matéria orgânica mineral no primeiro ano foram maiores nas parcelas com a cultura de girassol, sendo que este tratamento diferiu apenas do tratamento com ervilhaca (Figura 5). No segundo ano, os teores foram maiores no tratamento com o consórcio duplo, o qual foi diferente dos tratamentos com as leguminosas crotalária e ervilhaca (Figura 5). Os teores de  $C_{\text{mom}}$  seguiram a tendência dos teores de  $C_{\text{tot}}$ , com o tratamento com girassol tendo os maiores teores no primeiro ano e o consórcio duplo os maiores valores no segundo ano.

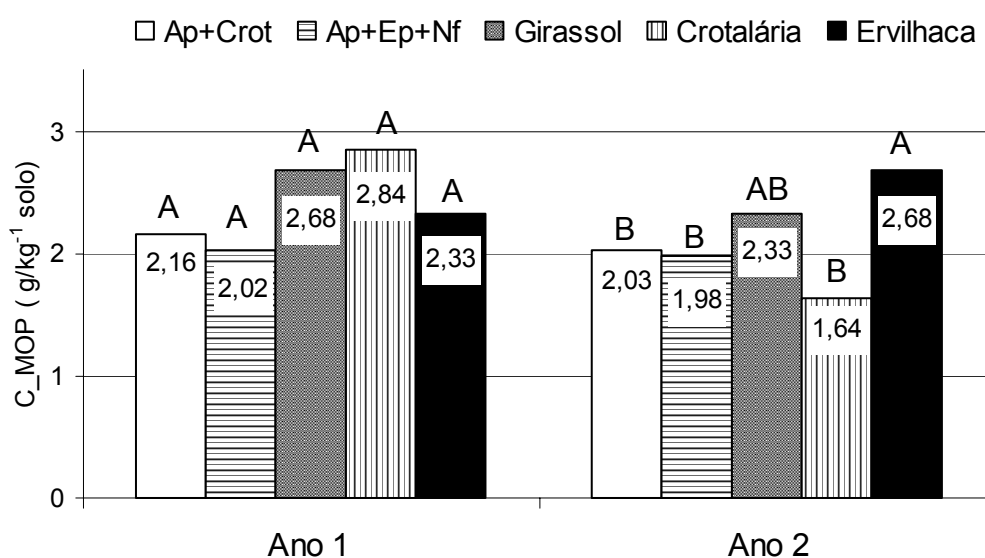


Figura 4. Médias dos teores de carbono da matéria orgânica particulada ( $C_{\text{mop}}$ ) em  $\text{g kg}^{-1}$  de solo, para as cinco culturas ancestrais e nos dois anos avaliados. Dourados, 2007.

Os teores de carbono nas camadas de solo apresentaram distribuição característica ao longo do perfil, com valores mais elevados na superfície e decrescendo à medida que aumenta a profundidade, nos dois anos avaliados (Tabela 8). Salton *et al.* (2005), também encontraram esta distribuição de carbono em Latossolo Vermelho Distroférico em Dourados e com valores em área de lavoura semelhantes nas profundidades correspondentes.

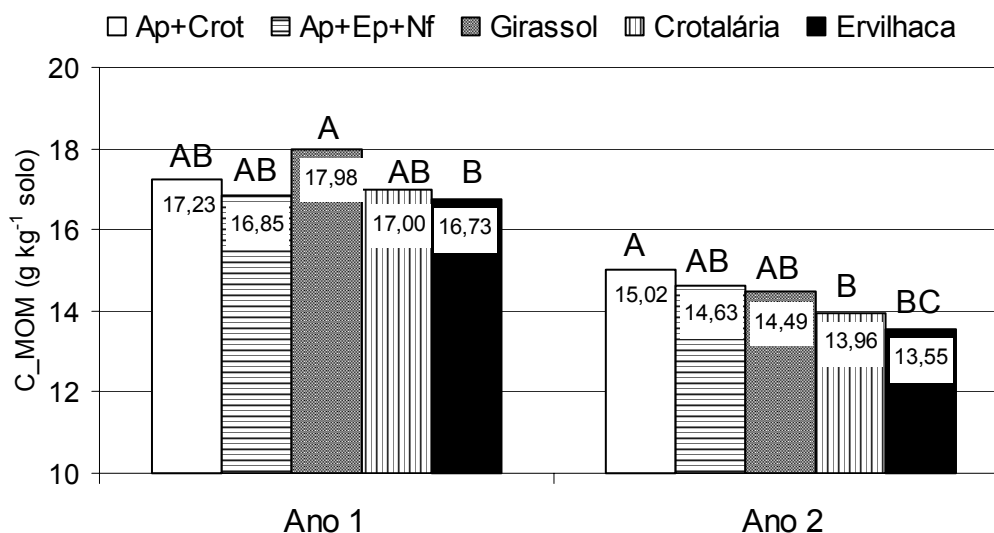


Figura 5. Médias dos teores de carbono da matéria orgânica mineral (C\_MOM) em  $\text{g kg}^{-1}$  de solo, para as cinco culturas antecessoras e nos dois anos avaliados. Dourados, 2007.

Quanto aos teores de nitrogênio do solo observa-se que, assim como nos teores de carbono do solo, há um gradiente da camada superficial, com maiores teores, para as camadas inferiores. Este fato ocorre tanto nos teores totais quanto nas frações da matéria orgânica (Tabela 8). A relação C/N total não apresentou diferenças entre as camadas nos dois anos avaliados, sendo o valor médio no primeiro ano de 14 e no segundo ano o valor médio foi de 11. A maior relação C/N no primeiro ano foi resultado do menor teor de nitrogênio no solo, com valores médios de  $1,4 \text{ mg kg}^{-1}$  no primeiro ano e  $1,5 \text{ mg kg}^{-1}$  no segundo ano. A fração da matéria orgânica particulada apresentou maiores valores da relação C/N do que a fração da matéria orgânica mineral, devido ao fato de diferenças no grau de decomposição da matéria orgânica do solo, sendo menos transformados na MOP e mais humificados na MOM (Roscoe & Machado, 2002).

Tabela 8. Médias dos teores de carbono ( $\text{g kg}^{-1}$ ), teores de nitrogênio ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) e relação C/N totais do solo e das frações da matéria orgânica particulada (MOP) e da matéria orgânica mineral (MOM), nas camadas de solo. Dourados, 2007.

	Camada	g $\text{kg}^{-1}$			mg $\text{kg}^{-1}$					
		C_tot	C_mop	C_mom	N_tot	N_mop	N_mom	CN_tot	CN_mop	CN_mom
Ano 1	0 a 5	23,12 a	4,48 a	18,64 a	1,67 a	0,258 a	1,41 a	13,83 a	17,63 c	13,23 b
	5 a 10	18,63 b	1,66 b	16,97 b	1,34 b	0,069 b	1,26 b	13,98 a	22,78 b	13,49 ab
	10 a 20	16,94 c	1,08 c	15,86 c	1,18 c	0,040 c	1,14 c	14,38 a	26,97 a	13,95 a
Ano 2	0 a 5	19,76 a	4,58 a	15,18 a	1,77 a	0,268 a	1,50 a	11,27 a	18,35 a	10,26 a
	5 a 10	15,87 b	1,23 b	14,64 a	1,47 b	0,080 b	1,39 a	10,88 a	16,06 a	10,65 a
	10 a 20	13,76 c	0,59 c	13,17 b	1,26 c	0,042 c	1,22 b	10,93 a	15,60 a	10,83 a

Médias seguidas pela mesma letra, dentro de ano, não diferem entre si pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ).

A relação C/N da MOP, no primeiro ano, foi menor na camada superficial e aumentou nas camadas inferiores, no segundo ano porém, não houve diferenças entre as camadas (Tabela 8). O efeito da diminuição dos teores de nitrogênio com a profundidade reflete-se na relação C/N, com maiores valores de relação C/N quando os teores de nitrogênio são menores. No segundo ano, apesar de também haver aumento dos teores de nitrogênio com a profundidade nesta fração, não houve diferenças na relação C/N entre as camadas, com valor médio de 16,67. Para a MOM a relação C/N no primeiro ano seguiu a tendência da MOP, com maiores valores na superfície, porém as diferenças, apesar da significância, foram pequenas, indo de 13,23 na camada de 0 a 5 cm para 13,95 na camada de 10 a 20 cm. No segundo ano não houve diferenças na relação C/N entre camadas, com o valor médio de 10,58 (Tabela 8). Cambardella & Elliott (1992), não encontraram diferenças entre a relação C/N da MOM entre três sistemas de manejo do solo e um sistema natural.

No primeiro ano, os estoques de carbono nas frações da matéria orgânica do solo na camada de 0 a 20 cm não apresentaram diferenças quando se avaliou as culturas antecessoras (Tabela 5), sendo que os estoques de carbono da matéria orgânica particulada (estC\_mop) e da matéria orgânica mineral (estC\_mom), foram de 5,0 Mg ha<sup>-1</sup> e 37,0 Mg ha<sup>-1</sup> respectivamente (Figura 6). A matéria orgânica associada aos minerais do solo tem ciclagem mais lenta, no que se refere à sua formação e decomposição, sendo necessários longos períodos de tempo para sua alteração, além de que a sua proteção dentro dos microagregados menores que 0,53 mm, altamente estáveis, impedem a ação da biota decompositora (Bayer *et al.*, 2004).

No segundo ano, os maiores valores do estoque de carbono da matéria orgânica mineral foram dos consórcios e os menores valores das leguminosas crotalária e ervilhaca. Não se observaram diferenças nos estoques de carbono da matéria orgânica particulada, sendo a média de 5,6 Mg ha<sup>-1</sup> (Figura 6). Salton *et al.* (2005), encontraram em sistema com lavoura, em Dourados e no mesmo tipo de solo, um estoque de MOP na camada de 0 a 20 cm de 4,1 Mg ha<sup>-1</sup>, enquanto em um sistema de integração lavoura-pecuária o estoque de carbono na MOP foi de 5,2 Mg ha<sup>-1</sup>, o que indica que neste experimento a entrada de carbono na forma de MOP foi semelhante a sistemas com alta entrada de carbono. Os resultados deste trabalho diferem de Bayer *et al.* (2004), onde houve maior sensibilidade do estoque de C da MOP às alterações de manejo, enquanto o C da MOM não foi afetado por sistemas de culturas em diferentes

camadas de solo. Segundo estes autores o estoque de carbono da MOP é um indicador mais sensível às práticas de manejo do solo de curto prazo, como sistemas de culturas, do que o COT ou o Carbono da MOM.

No primeiro e no segundo ano, 88% do carbono estocado no solo estava na forma de MOM quando se considera a média dos tratamentos, porém, no segundo ano, onde houve diferenças nos estoques de carbono, no tratamento com crotalária observou-se a maior proporção de MOM (90%), enquanto no tratamento com ervilhaca observou-se a menor proporção (84%). Nos demais tratamentos as proporções foram intermediárias, sendo 88, 89 e 87% para o consórcio duplo, para o consórcio triplo e para girassol, respectivamente.

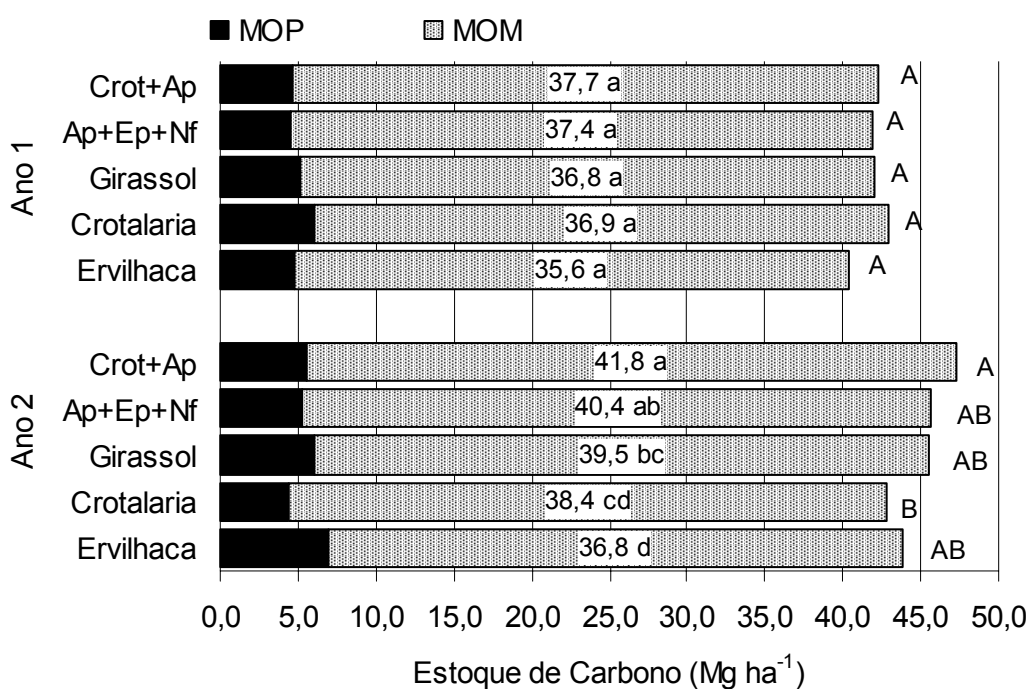


Figura 6. Estoques de carbono no solo (Mg ha<sup>-1</sup>) na camada de 0 a 20 cm, para as cinco culturas antecessoras e nos dois anos avaliados. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ). Dourados, 2007.

Os estoques de carbono do solo para as frações da matéria orgânica e nos dois anos tiveram diferenças significativas entre as camadas de solo (Tabela 5). O estoque de carbono da MOP foi maior na camada de 0 a 5 cm, decaindo com a profundidade, porém, na camada superficial respectivamente para o primeiro e segundo ano, 19 e 23 % do carbono fizeram parte da MOP, enquanto que na camada de 5 a 10 cm apenas 9 e 8%, respectivamente para o primeiro e segundo ano, do carbono fazem parte da MOP.

Na camada de 10 a 20 cm os valores são ainda menores, sendo 6 e 4%, respectivamente para o primeiro e segundo ano, do carbono fazem parte da MOP (Figura 7). Este efeito é coerente com o fato de que na superfície o material vegetal é menos humificado, pois está depositado a um período de tempo menor, enquanto em profundidade há material mais velho, que já foi incorporado pela fauna ou pelas práticas culturais.

O estoque de carbono da matéria orgânica mineral teve um comportamento diferenciado do estoque de carbono na matéria orgânica particulada. A camada de 5 a 10 cm contém a maior quantidade absoluta de carbono da MOM, sendo seguida da camada de 0 a 5 cm e o menor valor para a camada de 10 a 20 cm. (Figura 7). Por outro lado, considerando a quantidade relativa de MOM dentro de cada camada houve um aumento da MOM com a profundidade, sendo para o primeiro ano nas camadas de 0 a 5 cm, 5 a 10 cm e 10 a 20 cm, respectivos valores de 81, 91 e 94% do carbono como MOM e para o segundo ano nas mesmas camadas valores de 77, 92 e 96% do carbono como MOM.

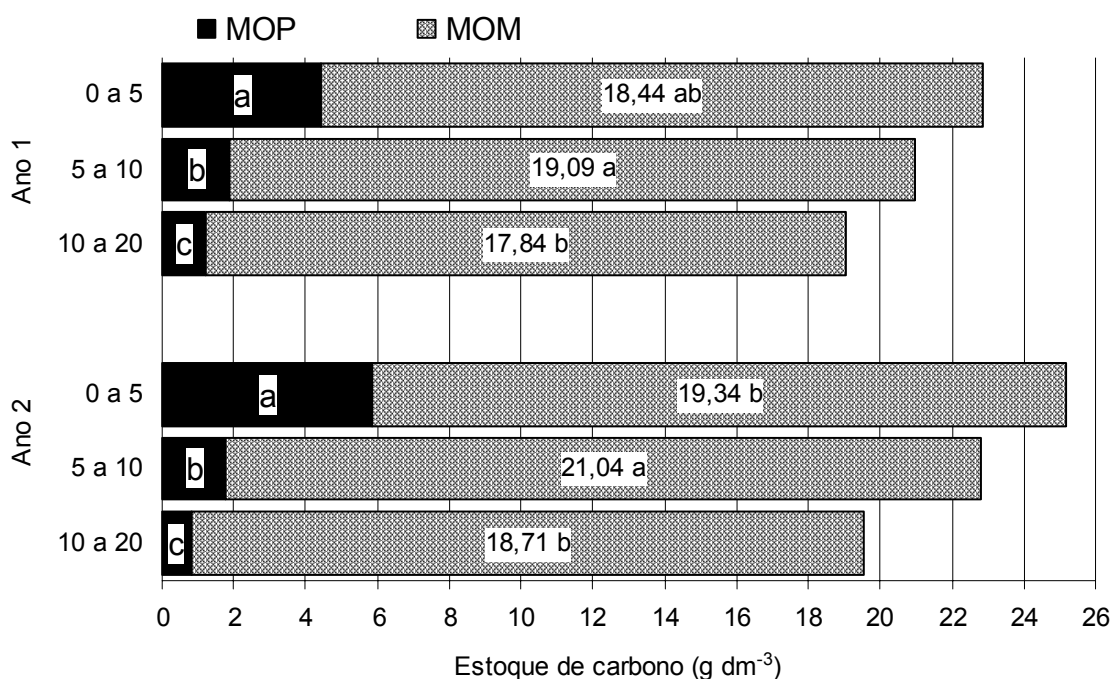


Figura 7. Estoques de carbono no solo (g dm<sup>-3</sup>), para as camadas e nos dois anos avaliados. Dourados, 2007.

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ).

No trabalho de Bayer *et al.* (2004), os estoques de C da MOM representaram na camada de 0 a 20 cm de 85 a 89% do COT. Salton *et al.* (2005), encontraram entre 77 e 93% do carbono do solo como MOM. Segundo estes autores, o fracionamento da matéria orgânica do solo possibilita avaliar a eficiência dos sistemas de manejo em aportar matéria orgânica lábil ao solo (MOP), que posteriormente vai abastecer o compartimento estável da MOS (MOM). Caso o solo não disponha de MO lábil em quantidade suficiente, os processos de oxidação da MO irão resultar em redução do estoque de carbono no solo.

Nos dois anos de estudo, os estoques de carbono do solo antes da instalação dos experimentos (estC\_ini), avaliados em março, não tiveram diferenças significativas para os diferentes tratamentos, ou seja, as parcelas com as diferentes culturas apresentavam teores de carbono estatisticamente semelhantes e poderiam ser comparadas quanto a mudanças nos estoques de carbono (Tabela 9). Entre camadas encontraram-se diferenças significativas, devido aos maiores estoques de carbono nas camadas superficiais. Os estoques de carbono total do solo, avaliados no florescimento do milho (estC\_final) apresentaram, no primeiro ano, diferenças significativas para as camadas. No segundo ano, encontraram-se diferenças para as camadas e para as culturas (Tabela 9). Salton *et al.* (2005), trabalhando em Dourados no mesmo tipo de solo não encontraram diferenças nos estoques de carbono do solo quando compararam diferentes sistemas de uso do solo, como pastagem, lavoura e integração lavoura-pastagem.

Quando se avaliam as diferenças entre o estoque de carbono antes da instalação do experimento (estC\_ini) e o estoque de carbono no final do experimento (estC\_final), observa-se que não há diferenças significativas, nem para as camadas, nem para os tratamentos, porém, quando se avaliam os aumentos proporcionais dos estoques de carbono do solo encontram-se diferenças significativas para as camadas (Tabela 9). Portanto, o uso das culturas antecessoras avaliadas não causou aumentos dos estoques de carbono do solo, mas existiram diferenças nos aumentos do estoque de carbono do solo para cada camada. Na camada de 0 a 5 cm os estoques de carbono foram maiores que nas outras camadas (Figura 8).

Tabela 9. Teste F dos efeitos fixos para as variáveis, estoque inicial de carbono total, estoque final de carbono total, ganho absoluto no estoque de carbono total e ganho proporcional no estoque de carbono total. Dourados, 2007.

	Efeitos	GL	Valores de F e Significância			
			estC_ini	estC_final	Ganho_C	Ganho_%
Ano 1	Bloco	2	1,77 ns	0,29 ns	2,35 ns	3,75 *
	Tratamento	4	1,56 ns	1,50 ns	1,06 ns	1,58 ns
	Camada	2	127,09 **	40,16 **	2,05 ns	3,82 *
	Trat*Cam	8	0,95 ns	1,49 ns	1,56 ns	1,25 ns
	Bloco*Cam	4	0,61 ns	2,22 ns	1,41 ns	1,31 ns
Ano 2	Bloco	2	0,84 ns	3,67 *	0,30 ns	0,10 ns
	Tratamento	4	1,99 ns	3,15 *	1,20 ns	1,52 ns
	Camada	2	61,76 **	55,77 **	1,68 ns	13,37 **
	Trat*Cam	8	0,90 ns	1,26 ns	1,95 ns	1,18 ns
	Bloco*Cam	4	3,64 ns	0,61 ns	0,69 ns	0,65 ns

(\*\*), (\*) e (ns): significâncias do teste F ( $p < 0,01$ ), ( $p < 0,05$ ) e não significativo respectivamente.

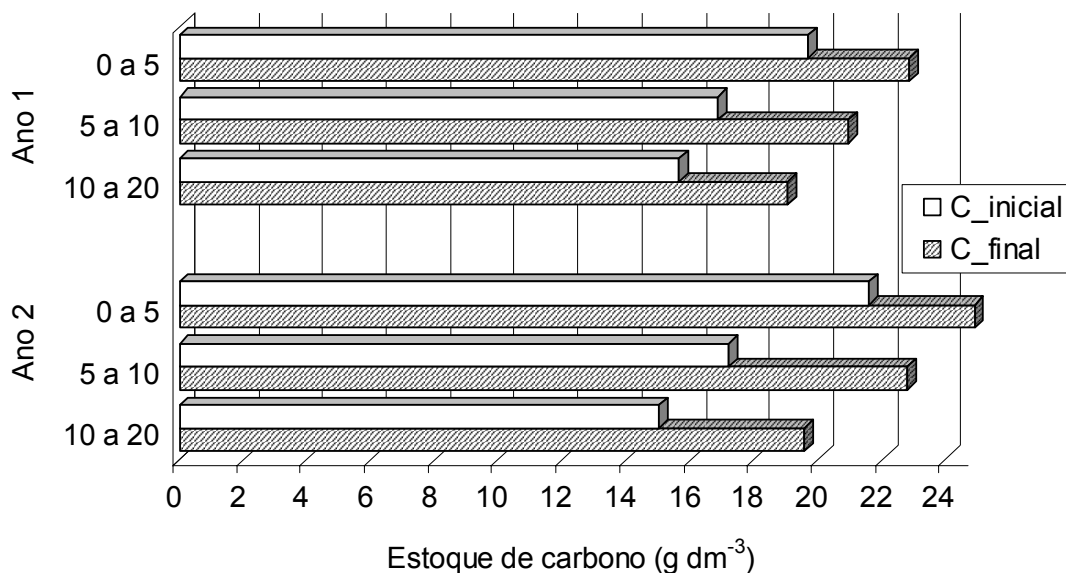


Figura 8. Estoques de carbono inicial e final nos dois anos avaliados. Dourados, 2007.

Quando se compara os estoques de carbono total do solo com a produção de massa das culturas de cobertura (Tabela 10), verifica-se que, de um modo geral, as parcelas que apresentaram maior estoque de carbono no solo foram aquelas onde as culturas de cobertura deixaram maior quantidade de resíduos na superfície do solo. Como por exemplo, as parcelas como girassol e crotalária no primeiro ano e as parcelas com o consórcio duplo (Crotalária + Aveia preta); com o consórcio triplo (Aveia preta + Ervilhaca peluda + Nabo forrageiro) e com girassol no segundo ano.



Tabela 10. Massa de resíduos de superfície das culturas antecessoras ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) e estoque de carbono do solo ( $\text{g m}^{-2}$ ). Dourados, 2007.

	Culturas Antecessoras	Massa de Cobertura ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	Carbono ( $\text{g m}^{-2}$ )	
Ano 1	Crot + Ap	3.325	4234	A
	Ap+Ep+Nf	3.912	4184	A
	Girassol	5.527	4204	A
	Crotalária	4.015	4292	A
	Ervilhaca	4.587	4038	A
Ano 2	Crot + Ap	4693	4728	A
	Ap+Ep+Nf	4.703	4568	AB
	Girassol	5.882	4550	AB
	Crotalária	2.271	4282	B
	Ervilhaca	3.127	4382	AB

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ )

Os estoques de nitrogênio do solo seguiram a tendência dos estoques de carbono, com valores mais altos nas camadas superficiais e diminuindo com a profundidade (Figura 9). Assim como os estoques de carbono, os estoques de nitrogênio na camada de 0 a 5 são proporcionalmente maiores do que nas camadas inferiores. No primeiro e no segundo ano a proporção do nitrogênio da MOP foi de 15%, 5% e 4% para as camadas de 0 a 5 cm, 5 a 10 cm e 10 a 20 cm respectivamente. Os estoques de nitrogênio na MOM não diferiram entre as camadas 0 a 5 cm e 5 a 10 cm, que diferiram da camada de 10 a 20 cm com os menores valores (Figura 9).

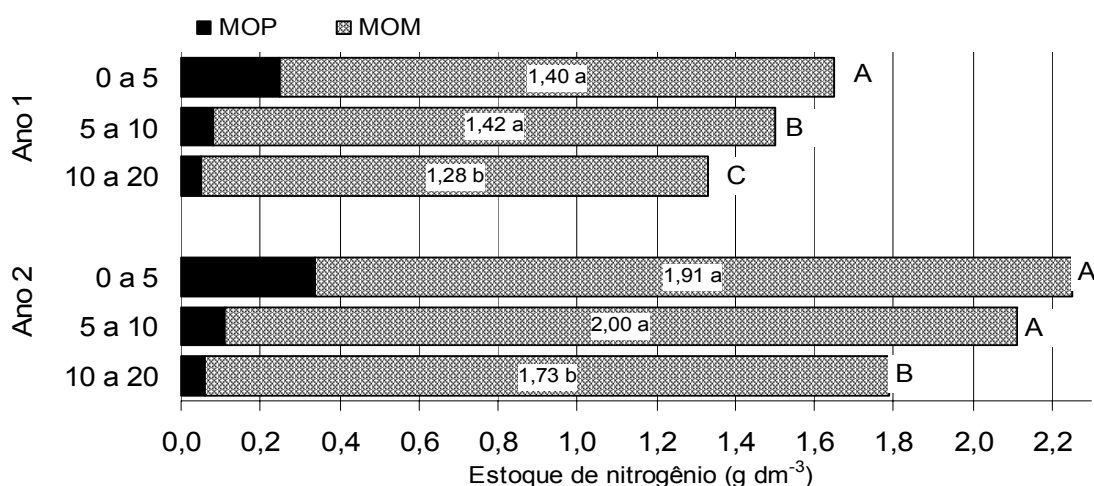


Figura 9. Estoques de nitrogênio no solo ( $\text{g dm}^{-3}$ ), para as camadas e nos dois anos avaliados. Dourados, 2007.

Médias seguidas de mesma letra, dentro de ano, não diferem entre si pelo teste tukey ( $p < 0,05$ ).

Na análise da interação entre tratamentos e camadas para o teor e o estoque de nitrogênio da matéria orgânica particulada, observa-se que as diferenças entre os tratamentos existem apenas na camada de 0 a 5 cm, nos dois anos estudados. Avaliando as camadas, para todos os tratamentos, nos dois anos, a camada de 0 a 5 cm apresentou os maiores valores, enquanto as camadas inferiores não diferiram entre si, tanto para os teores quanto para os estoques (Tabelas 11 e 12). No primeiro ano os maiores teores e os estoques de nitrogênio foram encontrados nos tratamentos com girassol e com crotalária e os menores valores no tratamento com o consórcio triplo. No segundo ano, porém, os maiores valores de teores e estoques foram nos tratamentos com crotalária, ervilhaca e o consórcio triplo, enquanto girassol e o consórcio duplo tiveram os menores valores.

Tabela 11. Médias dos teores de N da matéria orgânica particulada ( $\text{g kg}^{-1}_{\text{solo}}$ ), por cultura antecessora e por camada de solo. Dourados, 2007.

		Crot+Ap	Ap+Ep+Nf	Girassol	Crotalária	Ervilhaca
Ano 1	0 a 5 cm	0,216 A bc	0,179 A c	0,300 A ab	0,355 A a	0,239 A b
	5 a 10 cm	0,064 B a	0,075 B a	0,079 B a	0,079 B a	0,069 B a
	10 a 20 cm	0,042 B a	0,044 B a	0,035 B a	0,044 B a	0,037 B a
Ano 2	0 a 5 cm	0,208 A c	0,282 A ab	0,223 A bc	0,331 A a	0,296 A a
	5 a 10 cm	0,081 B a	0,076 B a	0,074 B a	0,082 B a	0,085 B a
	10 a 20 cm	0,046 B a	0,037 B a	0,041 B a	0,041 B a	0,043 B a

Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ).

Tabela 12. Médias dos estoques de N da matéria orgânica particulada ( $\text{g dm}^{-1}_{\text{solo}}$ ), por cultura antecessora e por camada de solo. Dourados, 2007.

		Crot+Ap	Ap+Ep+Nf	Girassol	Crotalária	Ervilhaca
Ano 1	0 a 5 cm	0,220 A b	0,193 A b	0,270 A ab	0,355 A a	0,231 A b
	5 a 10 cm	0,072 B a	0,086 B a	0,085 B a	0,092 B a	0,077 B a
	10 a 20 cm	0,048 B a	0,050 B a	0,040 B a	0,050 B a	0,042 B a
Ano 2	0 a 5 cm	0,270 A b	0,362 A a	0,273 A b	0,428 A a	0,369 A a
	5 a 10 cm	0,117 B a	0,111 B a	0,106 B a	0,116 B a	0,123 B a
	10 a 20 cm	0,067 B a	0,053 B a	0,058 B a	0,058 B a	0,061 B a

Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ).

A área de estudo vem sendo cultivada em sistema plantio direto desde 1997, portanto, encontrava-se na instalação do experimento em fase de estabilização. Avaliando os estoques de carbono do solo na camada de 0 a 20 cm desde o ano de 1999, pode-se observar que para todos os sistemas de rotação houve acúmulo de carbono, tanto nas parcelas avaliadas no Ano 1 como nas parcelas avaliadas no Ano 2 (Figuras 10

e 11). Comparando-se estes estoques com o histórico de cultivo (Tabelas 1 e 2) observa-se que quando culturas com baixa produção de massa vegetal entraram no sistema, o estoque de carbono do solo diminuiu, como por exemplo, no ano de 2002 nas parcelas A3 e A4, onde foi cultivado feijão, no ano seguinte estas parcelas apresentaram um menor estoque de carbono, porém com o cultivo de milho e de sorgo subsequentes o estoque de carbono voltou a subir. O mesmo fato aconteceu em 2002 na parcela B4.

Considerando os dados do histórico de estoque de carbono no solo, para a profundidade de 0 a 20 cm, o acúmulo de carbono foi na média dos anos sempre positivo e variando de  $20 \text{ g m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$  a  $63 \text{ g m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$  (Figuras 10 e 11), indicando que os sistemas de rotação/sucessão utilizados foram eficientes em acumular carbono ao longo do tempo, o que pode também ter contribuído para que não se encontrassem diferenças entre os tratamentos.

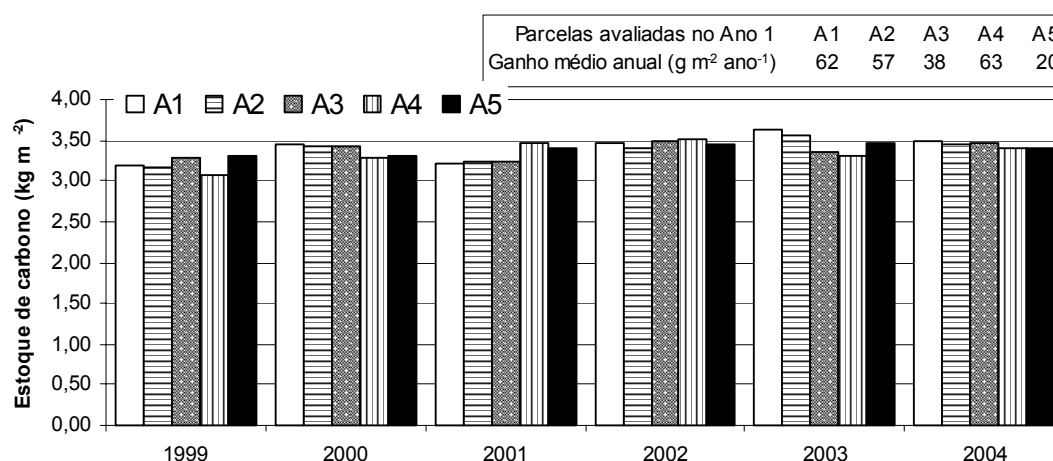


Figura 10. Histórico anual do estoque de carbono do solo ( $\text{kg m}^{-2}$ ) na camada de 0 a 20 cm, nas parcelas avaliadas no Ano 1. Dourados, 2007.

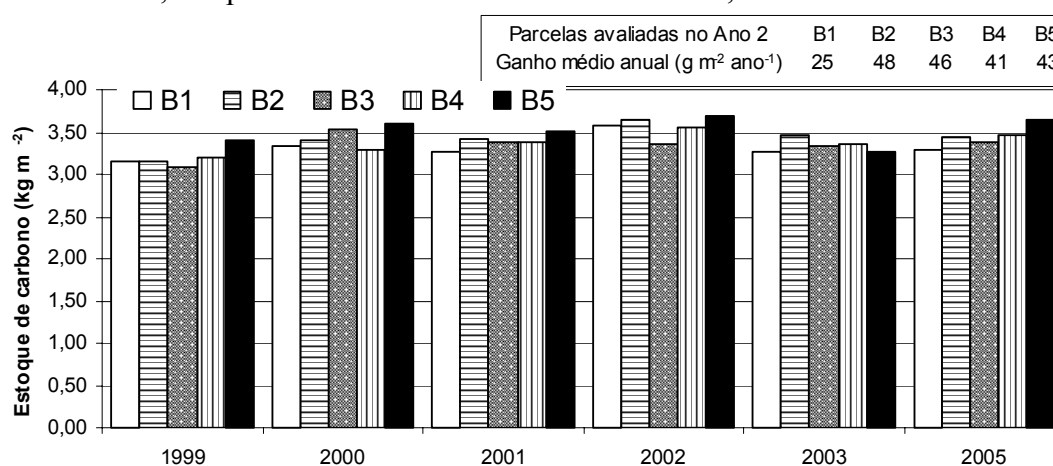


Figura 11. Histórico anual do estoque de carbono do solo ( $\text{kg m}^{-2}$ ) na camada de 0 a 20 cm, nas parcelas avaliadas no Ano 2. Dourados, 2007.

## 2.4. CONCLUSÕES

- A cultura antecessora promove alterações nos teores de carbono no solo;
- Os estoques de carbono e de nitrogênio do solo não apresentam diferenças com o cultivo das culturas antecessoras estudadas;
- Os teores e os estoques de carbono do solo são maiores nas camadas superficiais, assim como os teores e estoques de nitrogênio;
- A MOM compõe a maior parte da matéria orgânica do solo, sendo que a proporção cresce em profundidade.

## 2.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, C. V.; TORRES, R. A.; COSTA, C. N.; TORRES FILHO, R. A.; ARAÚJO, S. I.; LOPES, P. S.; REGAZZI, A. J.; PEREIRA, C. A.; COBUCCI, J. A.; SARMENTO, J. L. R. Uso de funções ortogonais para descrever a produção de leite no dia de controle por meio de modelos de regressão aleatória. **R. Bras. Zootec.**, **35** (3): 967-974, 2006.

BAYER, C.; MARTIN NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um latossolo vermelho sob plantio direto. **Pesq. Agropec. Bras.**, **39** (7): 677-683, 2004.

CAMBARDELLA, C. A. & ELLIOTT, E. T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, **56**: 777-783, 1992.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **R. Bras. Ci. Solo**, **22**: 527-538, 1998.

CERRI, E. P. C.; SPAROVEK, G.; BERNOUX, M.; EASTERLING, W. E.; MELILLO, J. M.; CERRI, C. C. Tropical agriculture and global warming: impacts and mitigations options. **Sci. Agric.**, **64** (1): 83-99, 2007.

COLLINS, H. P.; RASMUSSEN, P. E.; DOUGLAS JR, C. L. Crop rotation and residue management effects on soil carbon and microbial dynamics. **Soil Sci Soc. Am J.**, **56**: 783-788, 1992.

DUFRANC, G.; DECHEN, S. C. F.; FREITAS, S. S.; CAMARGO, O. A. Atributos físicos, químicos e biológicos relacionados com a estabilidade de agregados de dois Latossolos em plantio direto no estados de São Paulo. **R. Bras. Ci. Solo**, **28**: 505-517, 2004.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212 p.

GRIGAL, D. F. & OHMANN, L. F. Carbon storage in upland forest of the Lake States. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, **56**: 935-943, 1992.

JANTALIA, C. P.; SANTOS, H. P.; DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Influência de rotações de culturas no estoque de carbono e nitrogênio do solo sob plantio direto e preparo convencional. **Agronomia**, **37** (2): 91-97, 2003.

KENWARD, M. G. & ROGER, J. H. Small sample inference for fixed effects from restricted maximum likelihood. **Biometrics**, **53**: 983-997, 1997.

KUSHWAHA, C. P.; TRIPATHI, S. K.; SINGH, K. P. Soil organic matter and water-stable aggregates under different tillage and residue conditions in tropical dryland agroecosystem. **Applied Soil Ecology**, **16**: 129-241, 2001.

LITTELL, R. C.; HENRY, P. R.; AMMERMAN, C. B. Statistical analysis of repeated measures data using SAS procedures. **Journal of Animal Science**, **76**: 1216-1231, 1998.

LOVATO, T.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F. Adição de carbono e nitrogênio e sua relação com os estoques no solo e com o rendimento do milho em sistemas de manejo. **R. Bras. Ci. Solo**, **28**: 175-187, 2004.

PASQUALETTO, A. & COSTA, L. M. Influência de sucessão de culturas sobre características agronômicas do milho (*Zea mays* L.) em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, **31** (1): 61-64, 2001.

PIEPHO, H. P.; BÜCHSE, A.; RICHTER, C. A mixed modelling approach for experiments with repeated measures. **J. Agronomy & Crop Science**, **190**: 230-247, 2004.

ROSA, M. E. C.; OLSZEWSKI, N.; MENDONÇA, E. S.; COSTA, L. M.; CORREIA, J. R. Formas de carbono em Latossolo Vermelho Eutroférico sob plantio direto no sistema biogeográfico do cerrado. **R. Bras. Ci. Solo**, **27**: 911-923, 2003.

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

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; FABRICIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L.; BOENI, M.; CONEIJÃO, P. C. **Matéria orgânica do solo na integração lavoura-pecuária em Mato Grosso do Sul**. Dourados: Embrapa Agropec. Oeste, 2005. 58 p.

SANTORO, K. R.; BARBOSA, S. B. P.; SANTOS, E. S.; BRASIL, L. H. A. Uso de funções de covariância na descrição do crescimento de bovinos nelore criados no estado de Pernambuco. In: **R. Bras. Zootec.**, **34** (6): 2290-2297, 2005.

SAS Institute Inc. **SAS OnLine Doc**, version eight. Cary, NC: SAS Institute Inc., 1999.

WENDLING, B; JUCKSCH, I; MENDONÇA, E. S.; NEVES, J. C. L. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. **Pesq. Agropec. Bras.**, **40** (5): 487-494, 2005.

## 2.6. ANEXOS

Anexo 1. Critério de Informação de Akaike (AIC) para as variáveis do fracionamento da matéria orgânica do solo no ano 1 .

	Estruturas da matriz de covariâncias						
	CS	HF	VC	AR(1)	ARH(1)	TOEP	TOEPH
Teor Carbono do Solo	49,8	51,5	<b>49,0</b>	49,3	50,0	50,1	50,8
Estoque de Carbono	50,9	52,8	<b>50,0</b>	50,4	52,0	51,1	52,8
Teor C da MOM	42,7	42,7	<b>41,7</b>	42,7	42,9	43,6	43,9
Estoque C da MOM	43,4	43,3	<b>42,6</b>	43,6	43,9	44,4	44,6
Teor C da MOP	30,6	26,6	30,4	30,3	<b>23,7</b>	31,3	24,7
Estoque C da MOP	31,2	27,9	31,1	31,0	<b>25,9</b>	32,0	26,9
Nitrogênio Total	14,0	13,6	14,3	14,7	14,0	13,7	<b>13,1</b>
Estoque de N Total	10,2	8,8	10,7	10,8	9,4	10,0	<b>8,5</b>
Teor de N da MOM	18,8	17,7	19,4	19,1	18,2	18,1	<b>17,2</b>
Estoque N da MOM	14,2	12,5	14,9	14,6	13,2	13,6	<b>12,2</b>
Teor de N da MOP	41,0	45,3	41,9	41,3	49,4	<b>40,3</b>	48,6
Estoque N da MOP	41,4	46,4	42,3	41,7	48,2	<b>40,8</b>	47,5
Relação C/N total	38,3	39,1	<b>37,5</b>	38,4	39,3	38,6	39,3
Relação C/N da MOM	38,5	40,3	<b>37,5</b>	38,3	39,7	38,9	40,3
Relação C/N da MOP	78,1	<b>75,7</b>	77,2	77,9	75,8	78,8	76,5

CS: Simetria Composta, HF: Huynh-Feldt, VC: Componentes de Variância, AR(1): Autorregressiva de primeira ordem, ARH(1): Autorregressiva de primeira ordem heterogênea, TOEP: Toeplitz, TOEPH: Toeplitz heterogênea.

Anexo 2. Critério de Informação de Akaike (AIC) para as variáveis do fracionamento da matéria orgânica do solo no ano 2.

	Estruturas da matriz de covariâncias						
	CS	HF	VC	AR(1)	ARH(1)	TOEP	TOEPH
Teor Carbono total do solo	46,1	47,3	<b>45,6</b>	46,0	47,7	46,9	48,6
Estoque de Carbono Total	56,7	57,2	<b>55,7</b>	56,4	57,8	57,2	58,6
Teor C da MOM	45,7	<b>45,4</b>	46,5	46,4	47,3	46,4	47,0
Estoque C da MOM	52,3	53,2	52,4	<b>52,0</b>	53,7	52,8	54,4
Teor C da MOP	31,1	22,2	30,4	31,0	<b>15,7</b>	32,0	15,8
Estoque C da MOP	40,4	30,6	39,7	40,4	24,5	41,3	<b>24,4</b>
Nitrogênio Total	1,7	<b>0,8</b>	1,2	1,3	1,3	2,0	2,0
Estoque de Nitro Total	9,5	8,6	8,5	9,5	<b>8,2</b>	10,4	9,1
Teor de N da MOM	0,8	<b>0,2</b>	0,3	0,5	0,5	1,2	1,4
Estoque N da MOM	8,8	8,1	7,8	8,8	<b>7,6</b>	9,8	8,6
Teor de N da MOP	46,0	51,5	46,9	45,9	56,3	<b>45,0</b>	55,6
Estoque N da MOP	42,0	50,8	43,0	42,1	53,1	<b>41,1</b>	52,2
Relação C/N total	46,9	48,0	47,0	<b>46,4</b>	46,9	47,3	47,8
Relação C/N da MOM	48,7	49,8	48,3	<b>48,0</b>	48,3	48,7	48,8
Relação C/N da MOP	78,9	<b>77,5</b>	79,4	79,3	80,1	79,9	80,7

CS: Simetria Composta, HF: Huynh-Feldt, VC: Componentes de Variância, AR(1): Autorregressiva de primeira ordem, ARH(1): Autorregressiva de primeira ordem heterogênea, TOEP: Toeplitz, TOEPH: Toeplitz heterogênea.



Anexo 3. Comandos usados no programa SAS para dados tomados em camadas de solo (medidas repetidas):

```
title '<nome do titulo>';
data <nome conjunto de dados>;
input bloco trat cam <nome da variável>;
datalines;

<conjunto de dados>
;

proc mixed;
class bloco trat cam;
model <variável> = bloco trat cam trat*cam bloco*cam / ddfm=kr;
repeated cam / subject=bloco*trat type=hf ;
lsmeans trat cam / adjust= tukey;
run;
```

Anexo 4. Comandos usados no programa SAS para dados tomados somente em parcelas

```
title '<nome do titulo>';
data <nome do conjunto de dados>;
input bloco trat <variáveis>;
datalines;

<conjunto de dados>
;

proc anova;
class bloco trat;
model <variáveis> = bloco trat;
means trat;
run;
```