

**INSTITUTO AGRONÔMICO**

**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA  
TROPICAL E SUBTROPICAL**

**CONTRIBUIÇÃO DA MICROBIOTA PARA A  
AGREGAÇÃO DO SOLO SOB DIFERENTES USOS**

**LEANDRO DE ALMEIDA AMADO**

**Orientadora: Sueli dos Santos Freitas**

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre** em Agricultura Tropical e Subtropical Área de Concentração em Gestão de Recursos Agroambientais

Campinas, SP

Junho 2009

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

Ficha elaborada pela bibliotecária do Núcleo de Informação e Documentação  
do Instituto Agronômico

A481c Amado, Leandro de Almeida  
Contribuição da microbiota para a agregação do solo sob diferentes usos /  
Leandro de Almeida Amado. Campinas, 2009. 64 fls.

Orientadora: Sueli dos Santos Freitas  
Dissertação (Mestrado em Gestão de Recursos Agroambientais)  
– Instituto Agronômico

1. Fungo dos solos 2. Bactéria dos solos 3. Liberação de CO<sub>2</sub>  
4. Manejo dos solos 5. Macroagregados 6. Microagregados 7. Agregação  
dos solos I Freitas, Sueli dos Santos II. Título

CDD 631.45

Aos meus pais

Aramis e Arlete

**DECICO**

A Mokiti Okada

**OFEREÇO**

## AGRADECIMENTOS

- A DEUS por todas as oportunidades que me ofereceu;
- À minha orientadora, Dr<sup>a</sup> Sueli dos Santos Freitas, pela paciência, apoio e confiança nesses dois anos.
- À Dr<sup>a</sup> Adriana Parada Dias da Silveira, pela atenção e apoio.
- À Dr<sup>a</sup> Sonia Carmela Falci Dechen, pelo apoio e auxílio na realização desse trabalho.
- À minha esposa, Frida Bichler Mastrange de Almeida Amado, pela paciência, confiança e apoio nos momentos difíceis, e por entender as minhas faltas.
- Aos meus pais Aramis e Arlete, por sempre me apoiarem nas minhas escolhas.
- Aos meus irmãos, Leonardo e Lourivane pela amizade, carinho e amor. Sempre me lembro dos seus conselhos.
- Aos colegas e amigos que conquistei nesses dois anos, obrigado pelo companheirismo e pela amizade.
- Às Funcionárias da Pós Graduação. Obrigado pela atenção, paciência e pelos trabalhos prestados.
- À Coordenação do Curso de Pós-Graduação.
- À Fundação Mokiti Okada, pelo apoio financeiro, estímulo, confiança e apoio na minha formação profissional.
- À FAPESP pelo apoio financeiro.
- As técnicas de laboratório de microbiologia e do laboratório de solos, muito obrigado.
- A todas as pessoas que me aconselharam durante minha caminhada, seus conselhos foram essenciais para minha formação pessoal.

“Quando vejo uma folha caída no chão, sinto nela toda a lei da natureza”

**Mokiti Okada**

## SUMÁRIO

RESUMO.....	vi
ABSTRACT.....	vii
1 INTRODUÇÃO.....	<u>1</u>
2 REVISÃO DE LITERATURA .....	2
2.1 Microbiota do Solo .....	2
2.2 Uso do Solo vs Microbiota .....	4
2.3 Formação e Estabilidade dos Agregados vs Microbiota. ....	<u>6</u>
2.3.1 Macroagregados e Microagregados vs Microbiota.....	9
3 MATERIAL E MÉTODOS .....	10
3.1 Tratamentos de Solo .....	10
3.2 Identificação das Parcelas no Campo .....	<u>11</u>
3.3 Épocas de Amostragens.....	12
3.4 Coleta e Preparo das Amostras .....	<u>12</u>
3.4.1 Amostragem de solo .....	<u>12</u>
3.4.2 Separação dos agregados em macroagregados e microagregados.....	13
3.5 Teste Preliminar Para Separação de Fungos e Bactérias.....	13
3.6 Inibição de Fungos e Bactérias nos Macroagregados e Microagregados.....	14
3.7 Liberação de CO <sub>2</sub> .....	15
3.8 Contagem de Microrganismos.....	15
3.9 Análise de Estabilidade de Agregados em água.....	15
3.10 Análises Estatísticas .....	<u>16</u>
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	17
4.1 Efeito do Uso do Solo sobre a Formação e Estabilidade dos Macroagregados e Microagregados do Solo.....	17
4.2 Efeito da Época de Amostragem no DMP dos Macroagregados e Microagregados	<u>19</u>
4.3 Efeito do Uso do Solo sobre a Comunidade Fúngica do Solo.....	23
4.4 Efeito do Uso do Solo sobre a Comunidade Bacteriana do Solo .....	<u>30</u>
4.5 Efeito da Época de Amostragem na Comunidade Microbiana do Solo .....	<u>35</u>
4.6 Efeito da Microbiota do Solo na Estabilidade dos Macroagregados.....	<u>39</u>
4.7 Efeito da Microbiota do Solo na Estabilidade dos Microagregados.....	41
5 CONCLUSÕES .....	<u>47</u>
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	48

AMADO, Leandro de Almeida. **Contribuição da microbiota para a agregação do solo sob diferentes usos.** 2009, 64 fls. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Pós-Graduação – IAC.

## RESUMO

O interesse em sustentabilidade do cultivo agrícola a longo prazo e redução de custos ambientais de ecossistemas agrícolas surgiu no final da revolução verde, quando os solos decaídos e erodidos após anos consecutivos de cultivo agrícola necessitavam ser recuperados. Nesse novo enfoque, a preocupação com microbiota do solo, pela diversidade microbiana e processos bioquímicos envolvidos, assume um importante papel na avaliação dos sistemas de produção. O objetivo deste trabalho foi avaliar a contribuição da microbiota na agregação do solo nos seguintes usos: plantio convencional, plantio com aplicação de lodo de esgoto, plantio perene com seringueira, plantio direto e mata nativa. Para isso foram feitas análises de liberação de CO<sub>2</sub> em separado para fungos e bactérias e contagem de fungos e bactérias, dentro de macroagregados e microagregados, separadamente, e em três épocas diferentes. No solo sob mata houve maior número de fungos e maior liberação de CO<sub>2</sub> por esse grupo microbiano que nos outros sistemas de manejos. Já as bactérias foram encontradas em maior número nas amostras sob plantio direto. Quanto aos microagregados, os fungos cresceram mais no solo sob mata e as bactérias, no solo sob plantio direto. Nos macroagregados, tanto os fungos como as bactérias cresceram mais no plantio convencional e respiraram mais no solo sob mata tanto nos macroagregados como nos microagregados. Quanto à atuação dos fungos e bactérias, separadamente, na estabilidade dos macroagregados e microagregados conclui-se que tanto os fungos como as bactérias têm uma participação na estabilidade dos macroagregados e nos microagregados em todos os manejos de solo e em todas as épocas de amostragem.

**Palavras-chave:** fungo do solo, bactéria do solo, liberação de CO<sub>2</sub>, manejo do solo, macroagregados, microagregados, agregação do solo.



AMADO, Leandro de Almeida. **Contribution of microbiota for soil aggregation in different uses.** 2009, 64 fls Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Pós Graduação - IAC

### **ABSTRACT**

The interest in the sustainability of a long-term crop and in the reduction of environmental costs of agricultural ecosystems appeared at the end of the Green Revolution, when decayed and eroded soils, after successive years of cropping, needed to be recovered. Under that new approach, the preoccupation with soil microbiota, due to the microbial diversity and biochemical processes, plays a decisive role regarding the analysis of production systems. The purpose of the study was to assess the contribution of microbiota on soil aggregation in the following management practices: conventional tillage, sewage sludge tillage, perennial planting with rubber tree, direct planting and native forest. For that purpose analyses of CO<sub>2</sub> release separately for fungi and bacteria and fungi and bacteria count were performed, inside macroaggregate and microaggregates, separately in three different periods. In the native forest soil there was a higher number of fungi and a higher release of CO<sub>2</sub> by that microbial group than in the other management systems. On the other hand, bacteria were found in a major number in samples under the direct planting. Regarding microaggregates, fungi grew more in native forest soil, and bacteria in direct planting soil. Concerning macroaggregates, fungi and bacteria grew more in conventional tillage and breathed more in native forest soil in macroaggregates as well as in microaggregates. Regarding the action of fungi and bacteria, separately, on macroaggregates and microaggregates, it was concluded that fungi or bacterial have a higher participation in the stability of those elements in all soil managements and in all periods of sampling.

**Keywords:** soil fungi, soil bacteria, CO<sub>2</sub> release, soil management, macroaggregates, microaggregates, soil aggregation.

## INTRODUÇÃO

O interesse na sustentabilidade das atividades agrícolas a longo prazo e na redução de custos ambientais de ecossistemas agrícolas surgiu no auge da revolução verde, quando os solos decaídos e erodidos após anos consecutivos de cultivo necessitavam ser recuperados. Observou-se então que o modelo agrícola utilizado não era adequado e que havia carência de informações sobre qual seria o manejo mais adequado do solo, especialmente para climas tropicais. Nesse novo enfoque, a biota do solo, particularmente a microbiota, pela diversidade microbiana e processos bioquímicos envolvidos, assume papel decisivo na avaliação dos sistemas de produção. Ainda hoje, a dinâmica da matéria orgânica do solo (MOS) e as relações entre a microbiota e as propriedades físicas do solo precisam ser mais bem entendidas para serem utilizadas como ferramentas para definir o manejo mais adequado. Tentando compreender melhor essa importante dinâmica, recentes pesquisas têm focalizado a microbiota do solo e suas múltiplas interações. Frequentemente, estudos que tentam entender essa complexidade usam os agregados do solo como referência dessas complexas reações bioquímicas e seu sinergismo com as propriedades físicas e químicas do solo. Agregados protegem não só fisicamente a MOS, mas também influenciam a estrutura da comunidade microbiana, difusão de oxigênio, regulam o fluxo de água, determinam a adsorção nutriente e reduzem a enxurrada e a erosão.

A comunidade microbiana do solo tem efeito fundamental sobre todas as propriedades do solo, porém o conhecimento sobre a atuação da microbiota do solo na agregação do solo em clima tropical ainda é incipiente. Sabe-se que os rizóbios fixam nitrogênio quando em simbiose com leguminosas e que a inoculação dessas bactérias em plantio de leguminosas reduz ou elimina a adubação nitrogenada para essas culturas específicas. Também se sabe que os fungos micorrízicos aumentam a absorção de nutrientes pela maioria dos vegetais. Entretanto, a comunidade microbiana do solo é muito variável e pouco se tem estudado de seu efeito sobre as propriedades físicas e químicas do solo.

O manejo agrícola é determinante na manutenção da diversidade e quantidade da comunidade microbiana do solo. Diversas práticas de manejo, como aração, adubação,

calagem, incorporação de matéria orgânica, irrigação, aplicação de agrotóxicos, etc., podem afetar habitats disponíveis para os microrganismos, pela intervenção em características físicas e químicas ou afetar diretamente as características biológicas do solo. Práticas conservacionistas como plantio direto, preparo mínimo e agricultura sustentável propiciam o aumento da MOS; conseqüentemente, aumentam a disponibilidade de energia para os microrganismos. Já práticas de manejo convencional, como aração profunda e gradagem, aceleram o processo de decomposição da MOS.

Tomando-se como base a informação da literatura de que diferentes grupos microbianos contribuem de forma diversa para a formação de agregados no solo, o objetivo deste trabalho é avaliar a contribuição de fungos e de bactérias sobre a agregação do solo, em diferentes usos do solo.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Microbiota do Solo**

O solo pode ser considerado um organismo vivo com estreita dependência entre suas propriedades físicas, químicas e biológicas. Ocorre um ciclo permanente, dentro do qual sempre um fator depende do outro e provoca, quando alterado, modificações nos demais. A formação do solo depende do clima e, em seguida, da vegetação que se desenvolve sobre a rocha. Os microrganismos dependem desse conjunto de fatores e, por sua vez, influenciam-no. A comunidade microbiana do solo é influenciada pela temperatura, umidade, aeração, disponibilidade de nutrientes e pelos substratos orgânicos. Esses fatores, por sua vez, podem ser modificados pelo sistema de manejo, em razão da forma como os resíduos das culturas anteriores são depositados e do grau de revolvimento do solo (VARGAS & SCHOLLES, 2000).

Rotações de culturas e variações sazonais podem promover alterações quantitativas e qualitativas na comunidade de fungos micorrízicos arbusculares nativos. As rotações das culturas, soja, milho e soja; milho e pastagens, no sistema de produção, aumentam o número de esporos e a diversidade de espécies dos fungos micorrízicos arbusculares nativos no solo (MIRANDA et al., 2005). As hifas dos fungos micorrízicos atuam na agregação do solo, como se fossem teias amarrando as partículas

do solo e aumentando a estabilidade dos agregados, conforme já relatado há muito tempo por TISDALL & OADES (1982) e MOLOPE et al. (1987).

Modificações mensuráveis na biomassa microbiana do solo têm sido observadas em razão das práticas de preparo do solo, do manejo de plantas e da adubação. A matéria orgânica e a biomassa microbiana dos solos podem ser alteradas com maior ou menor intensidade, dependendo do sistema agrícola instalado. MARCHIORI JÚNIOR & MELO (2000), estudando área com plantio de cana-de-açúcar, observaram maiores valores de carbono microbiano que a mata natural. O aumento da biomassa microbiana no solo com cultivo de cana pode ser devido a características intrínsecas à cultura, tais como produtos orgânicos gerados pelas plantas cultivadas, principalmente pelas raízes. Nos ecossistemas naturais, a cobertura vegetal permanente proporciona proteção contínua do solo, além de adicionar grandes quantidades de nutrientes, principalmente através de resíduos. Seus efeitos sobre a comunidade microbiana podem interagir com os efeitos provocados pelas flutuações hídricas e térmicas que ocorrem durante o ano, influenciando em menor ou maior grau os microrganismos, conforme se pode observar pela determinação da atividade e das taxas de crescimento das diversas populações na comunidade microbiana (TSAI et al., 1992). Vários trabalhos da literatura relacionam mudanças na comunidade microbiana do solo e na sua atividade em função do manejo de solo adotado (BOLTON JUNIOR et al., 1985; FRASER et al., 1988; KIRCHNER et al., 1993). Contudo, segundo BOSSIO et al. (1998), os fatores que regulam a composição da comunidade microbiana, e, por conseguinte, seus efeitos na produtividade agrícola, não são, ainda, plenamente conhecidos.

A biomassa microbiana é relacionada significativamente com a estabilidade de agregados em solos argilosos (SPARLING et al., 1992). Porém, DEGENS et al. (1994), estudando a estabilidade de agregados em solos arenosos, observaram que mesmo a presença de hifas não foi suficiente para promover estabilização significativa dos agregados. A biomassa microbiana aumenta em razão da calagem, do plantio de gramíneas ou da adubação com superfosfato (BARROTI & NAHAS, 2000). Em um solo cultivado por dois anos com feijão e milho em monocultura e consórcio, a comunidade de *Azospirillum* spp. foi elevada, enquanto a população de *Rhizobium tropici*, os oxidantes do nitrito e a biomassa microbiana foram favorecidos pela presença do feijoeiro em consórcio ou monocultura (HUNGRIA et al., 2005).

A relação C:N, o estado de agregação do resíduo orgânico e sua composição qualitativa são fatores inerentes à matéria orgânica que também interferem na comunidade microbiana. SCHULTEN & HEMPFLING (1992) observaram que a microbiota do solo é limitada quando sob intenso cultivo e baixa disponibilidade e qualidade de fonte energética. A incorporação ao solo de materiais orgânicos de constituição diferente, como gramíneas e leguminosas, afeta a biomassa microbiana. Em áreas cultivadas com implementos como arado e grade, as taxas de liberação de CO<sub>2</sub> com incorporação de palha de milho foram superiores à taxa obtida quando no plantio direto; conseqüentemente, houve menor retenção de C quando o solo foi revolvido, como observado por CHAN et al. (1992). Basicamente, isso significa que a incorporação do material vegetal feita no plantio convencional estimula a atividade microbiana e libera CO<sub>2</sub> mais rapidamente do que no sistema plantio direto.

Em razão de os microrganismos exercerem diversas atividades no solo, a diversidade microbiana está intrinsecamente associada aos inúmeros processos ecológicos do solo, figurando como um importante indicador da qualidade do solo (ZILLI et al., 2003).

## **2.2 Uso do Solo vs Microbiota**

O solo tropical, pela sua alta taxa de lixiviação, altas temperaturas e por práticas de manejos pouco conservacionistas, tem uma grande perda da matéria orgânica. Utilização de resíduos orgânicos, sejam eles vegetais ou animais, ajudam a promover a manutenção ou incrementam a MOS. O incremento da MOS é imprescindível, uma vez que contribui para melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Dentre uma variedade de resíduos produzidos pela agropecuária e pela atividade humana, existe o lodo de esgoto produzido em diversas estações de tratamentos de efluentes (ETEs) em vários municípios brasileiros. O lodo de esgoto pode ser utilizado na agricultura como fonte de matéria orgânica, já que muitos municípios estão investindo no tratamento do esgoto doméstico. OLIVEIRA et al. (2002), estudando o efeito do lodo de esgoto no carbono orgânico do solo afirmam que, a longo prazo, há aumento crescente nos teores de carbono orgânico do solo se forem feitas aplicações de doses crescentes de lodo de esgoto. É claro que isso depende fundamentalmente da composição do lodo: FLIEßBACH & MÄDER (2000) relatam que a adição de lodo de

esgoto pode tanto estimular a atividade microbiana, em virtude do aumento do carbono orgânico e nutrientes, como inibi-la, devido à presença de metais ou xenobióticos, que inibem a respiração.

Além do efeito sobre a comunidade microbiana, é de interesse o efeito da adição de matéria orgânica, como o lodo de esgoto, sobre a agregação do solo. DE MARIA et al. (2007), estudando o efeito do lodo de esgoto tratado com polieletrólitos incorporado ao solo nas doses de 10 e 20 Mg ha<sup>-1</sup>, observaram que os tratamentos com aplicação de lodo proporcionaram o aumento do teor de matéria orgânica e da estabilidade dos agregados do solo na camada 0-0,10 m após duas aplicações anuais consecutivas. Em doses ainda maiores, há outros relatos de efeito sobre a agregação do solo. TSADILAS et al. (2005), aplicando de 0 a 50 Mg ha<sup>-1</sup> de lodo, verificaram aumento da matéria orgânica e da estabilidade de agregados, além de melhoria de outras propriedades físicas do solo e da influência positiva sobre a produção de algodão. Também, SOUZA et al. (2005) observaram aumento do diâmetro médio dos agregados com aplicação de aproximadamente 50 Mg ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto em cinco anos e em latossolos de textura média e textura argilosa. Mesmo em outras condições de solo a aplicação de lodo tem efeitos sobre a agregação; GARCIA-ORENES et al. (2005) observaram aumento de carbono orgânico e da porcentagem de agregados estáveis com aplicação de lodo de esgoto em solos salinos e não salinos.

Porém, o manejo errado do solo principalmente nas operações de preparo pode interferir negativamente nas propriedades físicas do solo. Há algumas diferenças no preparo do solo para o plantio entre as regiões tropicais e as temperadas. Nos trópicos não há período de inverno rigoroso, com neve ou gelo, não necessitando, portanto, de práticas como aração e gradagem; porém, com o objetivo de tornar o solo mais permeável, esses implementos são utilizados comumente pelos agricultores em todos os solos e todas as culturas. O sistema plantio direto caracteriza-se pela manutenção do solo coberto durante todo o ano, o que faz com que as plantas de cobertura de outono/inverno assumam um papel fundamental nesse sistema de manejo (VARGAS et al., 2004). A cobertura utilizada no plantio direto contribui para o aumento e manutenção da MOS. A MOS é fonte de energia pra a microbiota do solo, um dos fatores que deve contribuir para o aumento da atividade microbiana em solos submetidos ao plantio direto. SALINAS-GARCIA et al. (1997), afirma também que sistema plantio direto há maior disponibilidade de compostos nitrogenados na camada

superficial do solo, contribuindo para uma maior atividade microbiana no solo. Devemos ressaltar também, que no sistema de plantio direto a ausência do revolvimento do solo para o plantio contribui para a manutenção dos agregados do solo. Ao contrário, como comprovado por HILLEL et al. (1980), o preparo convencional do solo reduz os agregados do solo, quando comparados com a mata nativa. SHEPHERD et al. (2001) compararam a estabilidade de agregados de solos cultivados com a de solos de mata e comprovaram um declínio significativo na estabilidade dos agregados quando cultivados convencionalmente. Segundo CARPENEDO & MIELNICZUK (1990), o sistema plantio direto propicia maior estabilidade de agregados em relação ao preparo convencional, no qual se faz aração e gradagem seguidas de gradagem de nivelamento por ocasião do plantio. Porém, a massa do solo nesses dois sistemas de manejo apresentou-se compactada e com predomínio de microporos comparativamente a solos sob pastagem, campo e mato nativo, que se mostraram mais porosos e com predomínio de macroporos. Resultados semelhantes, comparando estabilidade de agregados nos sistemas plantio direto e de plantio convencional, foram encontrados por BEARE et al. (1994). CAMPOS et al. (1995), em trabalho semelhante, concluíram que o sistema plantio direto propicia agregados com diâmetro médio cerca de duas vezes maior do que no sistema de plantio convencional no qual se empregou aração e gradagem. Essa diferença foi associada ao maior teor de carbono orgânico e maior atividade microbiana no sistema plantio direto. Plantio direto é o sistema de lavoura que promove menor degradação de frações orgânicas e de propriedades físicas que outros sistemas de lavoura geralmente usados.

Portanto, manejos de solos que preservem e contribuam para a manutenção da vida do solo tendem a manter sua estrutura por um tempo maior, contribuindo para uma produtividade agrícola sustentável ao longo dos anos.

### **2.3 Formação e Estabilidade dos Agregados vs Microbita**

A formação e a estabilidade dos agregados do solo ocorrem simultaneamente pela atuação de processos físicos, químicos e biológicos. Entre os agentes que contribuem para a estabilização dos agregados estão: argila, sílica coloidal, compostos orgânicos, metais polivalentes, carbonato de cálcio, óxido e hidróxidos de ferro e alumínio, substâncias hidrofóbicas produzidas por raízes de plantas, microrganismos e

hifas de fungos (SILVA & MIELNICZUK, 1998). A estabilidade dos agregados nos solos depende das forças que ligam as partículas e da natureza e magnitude das forças desagregantes aplicadas (BEARE et al., 1994). A manutenção de uma boa estabilidade de agregados é condição primordial para garantir altas produtividades (PERIN et al., 2002).

SHEPHERD et al. (2001), estudando a estabilidade de agregados em vários tipos de solos na Nova Zelândia, observaram que a estabilidade de agregados é maior em solos húmicos e está ligada à presença de substâncias orgânicas de cadeias longas liberadas pela decomposição da matéria orgânica, que estavam aderidas aos agregados. ALVARENGA et al. (1999) observaram que os ecossistemas naturais, com maiores valores de carbono total, também apresentaram maior estabilidade de agregados em água, que está diretamente relacionado com os maiores teores de matéria orgânica no solo. No caso da cultura anual a menor estabilidade de agregados é resultado da intensidade de mecanização, que, além da destruição mecânica dos agregados, intensifica a oxidação da matéria orgânica (NICOU et al., 1993).

Agregados estáveis em água permitem maior infiltração de água e maior resistência à erosão; portanto, o conhecimento da estabilidade de agregados é importante na definição dos indicadores da qualidade do solo. BASTOS et al. (2005), estudando a aplicação de compostos orgânicos com caráter hidrofóbico acentuado, concluíram que os compostos orgânicos tiveram efeito positivo e significativo na melhoria da estabilidade dos agregados em água. Nos sistemas de cultivo de adubos verdes, a gramínea mostra maior ação agregante que as leguminosas. Além desses aspectos, destaca-se o efeito físico das raízes sobre a formação, manutenção e tamanho dos agregados do solo. GOSS & REID (1979) e REID & GOSS (1980) encontraram um aumento na estabilidade de agregados de um solo arenoso após quatro semanas de cultivo com a gramínea azevém (*Lolium perenne*). Tal efeito foi atribuído à liberação de exsudatos radiculares, que atuam na estabilização de forma direta ou indireta através da atividade microbiana.

O modelo clássico e ainda corrente das interações entre solos, raízes e microrganismos na formação e estabilidade de agregados é o proposto por TISDALL & OADES (1982), o qual enfatiza a importância de bactérias, fungos e raízes ligando e estabilizando os agregados do solo, primeiro em microagregados e depois em macroagregados.



GOLCHIN et al. (1997) associaram a decomposição da matéria orgânica e as substâncias orgânicas resultantes dessa decomposição com a estabilidade de agregados do solo. Microrganismos quando decompõem a matéria orgânica liberam mucilagens hidrofóbicas que aglutinam os agregados do solo, tornando-os estáveis em água.

O emaranhado de hifas de fungos é considerado, freqüentemente, como o mais importante na contribuição da formação e estabilização de macroagregados (MOLOPE et al., 1987).

Sabe-se que os polissacarídeos produzidos por bactérias são, em grande parte, géis hidrófobos (GUGGENBERGER et al., 1999) que, quando estão na superfície dos agregados, impedem a infiltração de água nos microporos e a destruição das ligações entre os colóides e a conseqüente destruição dos agregados.

Bactérias e fungos são capazes de unir a fração mineral do solo em agregados estáveis, porém cada grupo microbiano tem uma eficiência específica quando se trata de agregar partículas. GUGGENBERGER et al. (1999) verificaram que o crescimento da comunidade fúngica proporcionado pela adição de fontes de energia levou à aproximação de partículas primárias por enlaces de hifas que formaram agregados. Dados semelhantes foram encontrados por MOLOPE et al. (1987), que também verificaram que, quando a comunidade bacteriana cresce, há decréscimo da comunidade fúngica reduzindo a estabilidade dos macroagregados em água. DEGENS et al. (1994) observaram que a presença de hifas num solo arenoso não foi suficiente para promover estabilização significativa de agregados. A importância dos microrganismos está relacionada com o efeito adesivo de polissacarídeos extracelulares provindos de hifas e de bactérias, que diminuem a destruição de agregados por aumentar sua resistência ao umedecimento (GUGGENBERGER et al., 1999), ou de “colas” provenientes de resíduos orgânicos adsorvidos à fração argila (HART et al., 1988, citados por DEGENS et al., 1994).

O efeito microbiano na estabilidade do agregado é devido à presença de microrganismos (hifas de fungos) e por seus produtos (mucilagem de bactérias), os quais têm ações química e físico-química. Os polissacarídeos são considerados por serem mais eficientes na estabilização dos agregados (MOLOPE et al., 1987).

### 2.3.1 Macroagregados e Microagregados vs Microbiota

Quanto ao estudo da formação dos agregados, os pesquisadores divergem quanto ao tamanho de macroagregados e microagregados. TISDALL et al. (1987) estudando o efeito das micorrizas nos agregados do solo, concluiu que agregados menores de 250  $\mu\text{m}$ , denominados de microagregados são aglomerados por hifas de micorrizas em agregados maiores de 250  $\mu\text{m}$ , denominados de macroagregados. FERREIRA (2008) e CONSENTINO et al. (1998) estudando a atividade microbiana e agregação em latossolo distroférico sob diversos manejos definiram como macroagregado frações de agregados com tamanho entre 9,52 e 2,00 mm. Assim, outros trabalhos definem macroagregados frações de agregados maiores que 250  $\mu\text{m}$  (BOSSUYT et al., 2001; SIX et al., 2004, ELMHOLT et al., 2008). OJEDA et al. (2008) em seu estudo de agregação do solo com uso de vários estados de processamento de lodo de esgoto, definiu como macroagregado frações de agregados entre 3,00 e 5,00 mm. CAVAGNARO et al. (2006) estudando o efeito da comunidade microbiana em agregados de solo na produção de tomate orgânico, definiu como macroagregado frações de agregados maiores que 2,00 mm e de microagregado frações menores que 2,00 mm.

O estudo de agregados separados em macroagregados e microagregados facilita o entendimento de como os microrganismos atuam na estabilidade dos agregados. A separação de comunidades fúngicas e bacterianas já foi utilizada por diversos autores, com outros objetivos. Por exemplo, BAATH & ANDERSON (2003) utilizaram antibióticos para essa separação e conclusões sobre a utilização do método de PFLA em diferentes valores de pH, concluindo que o PFLA é altamente dependente da acidez do solo. HAFEEL et al. (2004), trabalhando também com a separação entre fungos e bactérias, consideraram adequado o uso do fungicida Captan para a inibição de fungos, na definição do próprio método.

Com o objetivo de melhor entender a interação da microbiota do solo com a agregação de solo, alguns estudos já relacionavam a estabilidade de macroagregados com a expansão de hifas de fungos. Segundo MOLOPE et al. (1987) microrganismos iniciam a formação de microagregados com substâncias ligantes produzidas por bactérias, e depois esses microagregados são amarrados em agregados. Essas substâncias ligantes são, em sua maioria, polissacarídeos que atuam como cola nos

microagregados que depois são “amarrados” pelas hifas de fungos (BEARE et al., 1997).

BOSSUYT et al. (2001) testaram a formação e estabilização de agregados em laboratório com diferentes tipos de material orgânico, suprimindo o crescimento de fungo por adição de fungicida e de bactéria com bactericida. Nesse experimento, eles observaram que a supressão dos fungos reduziu a formação de macroagregados e a supressão de bactérias não reduziu a formação de macroagregados. Os mesmos autores concluíram que a formação de macroagregados foi influenciada positivamente por atividade de fungo, mas não foi influenciada significativamente por qualidade de resíduo orgânico ou atividade bacteriana.

A propósito do papel dos fungos na formação de agregados, MILLER & JASTROW (1990) propuseram que hifas de fungos micorrízicos formam e estabilizam agregados de solo em três processos distintos: (i) hifas emaranham partículas primárias de solo fisicamente; (ii) raízes e hifas criam condições que permitem formar microagregados no solo; e (iii) raízes e hifas emaranham e ligam microagregados em pequenos macroagregados menores e em seguida em macroagregados maiores.

Para este estudo, definimos como macroagregados agregados entre 9,52 e 4,0 mm e microagregados agregados entre 4,0 e 2,0 mm.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Tratamentos de Solo

Foram estudados cinco usos de solo em áreas localizadas no Centro Experimental do Instituto Agrônomo, em Campinas (SP). O solo dessas áreas, classificado de acordo como o Sistema Brasileiro de Classificação (EMBRAPA, 2006), é um Latossolo Vermelho Distroférico típico em uma altitude de 600 a 700 m. Os usos do solo foram os seguintes:

**Plantio Convencional (PC)** – Área com declividade de 3%, submetida ao plantio convencional há mais de dez anos e utilizada em um sistema de rotação com amendoim (período de uma safra) e algodão (período de três safras consecutivas). O preparo do solo consistiu de uma passada de grade aradora e aplicação de trifluralina incorporada e diuron em pós-plantio para o controle de ervas daninhas. No plantio foram utilizados

350 kg.ha<sup>-1</sup> de 4-20-20 e cobertura com 40 a 50 kg ha<sup>-1</sup> de N na forma de sulfato de amônio.

**Plantio convencional com aplicação de Lodo de Esgoto (LODO)** – Área com quatro parcelas medindo cada uma 4 X 25 m, apresentando 10% de declividade utilizadas para pesquisas sobre perdas de solo por enxurradas, com uso de lodo de esgoto na dose de 10 t ha<sup>-1</sup> desde o ano agrícola de 2001/2. O preparo de solo, a incorporação do lodo de esgoto e a colheita foram realizadas com o emprego de ferramentas manuais. As parcelas foram cultivadas com milho no período das águas (verão) e mantidas em pousio no período de seca (inverno). O lodo utilizado foi oriundo da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) de Jundiaí, SP. O processo de tratamento de esgoto do qual resulta o lodo é composto por lagoas aeradas de mistura completa seguida de lagoas de decantação, deságue por centrífugas, adição de polieletrólitos e condicionamento físico por 60 a 90 dias, sofrendo revolvimento mecânico em um pátio coberto.

**Plantio Perene (SER)**– Cultura permanente de seringueira. O seringal foi implantado em 1992. O plantio é solteiro e o solo é mantido limpo com capinas e herbicidas: na entrelinha a capina é feita com o uso de roçadeira, enquanto que próximo às plantas é feita aplicação de glifosato (3 L.ha<sup>-1</sup>). A declividade da área é de 10 %.

**Plantio Direto (PD)** – Cultura anual em sistema plantio direto implantado há oito anos. A área, constituída por quatro talhões coletores de perdas de terra e água por erosão com 1.875 m<sup>2</sup> cada um e declividade de 6 %, era manejada com sistema convencional de plantio (aração e gradagens). Antes da implantação do Sistema Plantio Direto a área recebeu uma escarificação, duas gradagens pesadas e uma niveladora. A área vem sendo cultivada com sucessão de soja, milho no verão e sorgo, aveia, triticale ou chícharo no outono-inverno. Para controle do mato é feita a aplicação de 3 L do herbicida glifosato + 0,75 L ha<sup>-1</sup> do herbicida ácido diclorofenoxiacético (2,4 D) e aplicação do herbicida Fomasem + Fluazifone-P-Butílico (1,8 L ha<sup>-1</sup>) em pós-emergência.

**Mata (M)** – Mata nativa classificada como Floresta Tropical Semidecídua, com declividade entre 5 e 10 % na área amostrada.

### **3.2 Identificação das parcelas no campo**

Em todos os tratamentos foram delimitadas quatro parcelas de 4 X 25 m, para que todas as amostragens ocorressem na mesma área em todas as três épocas de amostragens.

### 3.3 Épocas de Amostragens

Foram realizadas três amostragens de solo no intervalo de um ano e meio, nos períodos de inverno de 2007, verão de 2007/8 e inverno de 2008. Os dados climatológicos no mês da amostragem e no dia anterior a ela estão na tabela 1.

**Tabela 1** - Dados climatológicos na época das amostragens.

Época	Temperatura média mês	Temperatura dia anterior	Chuva média mês	Chuva dia anterior
Setembro/2007	22,5°C	32,2°C	0,8 mm	0,0 mm
Maio/2008	22,5°C	20,4°C	147,5 mm	17,4 mm
Agosto/2008	20,7°C	29,6°C	65,4 mm	0,0 mm

Fonte: IAC – CIIAGRO.

No tratamento Plantio Convencional, o solo estava em pousio, após a colheita do algodão. A segunda amostragem foi feita na época da abertura das maçãs do algodão, que havia sido plantado em 3/12/2007. A terceira amostragem ocorreu quando o solo novamente se encontrava em pousio, após a colheita do algodão plantado em 3/12/2007. No tratamento lodo de esgoto, nas três amostragens, o solo estava em pousio. Havia apenas restos de cultura de milho sobre o terreno.

No tratamento plantio perene, nas três amostragens o solo estava coberto com restos de folhas e galhos que caem ao longo do ano, servindo como cobertura morta do solo.

No tratamento plantio direto, na primeira amostragem, o solo estava cultivado com trigo. A segunda amostragem foi realizada logo após a colheita de soja e na terceira amostragem o solo estava sendo cultivado com aveia.

### 3.4 Coleta e Preparo das Amostras

### **3.4.1 Amostragem de solo**

Após a retirada da matéria orgânica superficial (restos de cultura, vegetação espontânea, palhada, folhas, galhos etc.), coletaram-se amostras de solo na camada de 0-20 cm, formando uma amostra composta por cinco subamostras, coletadas em ziguezague em cada área de amostragem. Depois de cada retirada de amostra, o instrumento foi lavado com água e etanol, para evitar contaminação. As amostras foram colocadas em sacos plásticos e armazenadas em caixas térmicas com gelo, para se manter a temperatura em torno de 4°C, até a chegada a um barracão onde se procedeu ao manuseio inicial do solo (GHINI et al., 2006).

### **3.4.2 Separação dos agregados em macroagregados e microagregados**

No barracão, após a coleta do solo, uma parte da amostra foi separada em macroagregados e microagregados e a outra parte ficou secando à sombra. Para a separação das frações de agregados do solo utilizou-se um agitador Produtest durante 10 minutos em potência de 200 Watts e frequência constante a 3600 vpm. As malhas das peneiras utilizadas foram de 9,52 mm, 4,00 mm e 2,00 mm. Os agregados retidos na peneira de 4,00 mm foram denominados de macroagregados e os agregados que passaram na peneira de 4,00 mm e ficaram retidos nas peneiras de 2,0 mm foram denominados de microagregados. Logo após a separação entre macroagregados e microagregados as amostras foram guardadas em geladeira para as análises microbiológicas (GHINI et al., 2006). Outra parte da amostra ficou por mais tempo no barracão, secando à sombra, para a análise de estabilidade dos agregados em água (item 3.9).

### **3.5 Teste Preliminar Para Separação de Fungos e Bactérias**

Para confirmação da técnica de separação de fungos proposta por HAFEEL et al. (2004) e bactérias BÄÄTH & ANDERSON (2003) foram realizados testes preliminares. Para inibição dos fungos, a dose de inibição de 4,0 mg.g<sup>-1</sup> de Captan recomendada pelos autores foi diluída em água e adicionada a 50 g de solo

acondicionados em vidros hermeticamente fechados até atingir 60% da capacidade máxima de retenção de água (CMRA). Os vidros foram mantidos em câmaras de crescimento com temperatura de 26°C por dois dias, conforme metodologia para análise de liberação de CO<sub>2</sub>. Após a incubação, retirou-se uma amostra de 10 g de solo, que foram colocados em 90 mL de solução tampão de MgSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O 0,01mol.L<sup>-1</sup> em frasco de Erlenmeyer e agitados por 10 minutos. Preparam-se diluições a partir de 1 mL da suspensão de solo em 9 mL de MgSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O 0,01mol.L<sup>-1</sup> até a diluição 10<sup>-5</sup>. Alíquotas de 0,1 mL foram transferidas para cinco placas de Petri com meio BDA (batata-dextrose-ágar). As placas foram mantidas em câmara a 26°C por dois dias, onde se observou que a dose de 4,0 mg.g<sup>-1</sup> de Captan via Orthocide500<sup>®</sup> não era suficiente para a inibição dos fungos, pois ocorreu crescimento de fungos. Testes com doses crescentes de Captan foram realizados, da mesma forma descrita acima, até que a dose de 16,0 mg.g<sup>-1</sup> de Captan, via Ortochide 500<sup>®</sup>, mostrou-se eficiente na inibição dos fungos.

Para bactérias a dose indicada no trabalho de Bääth, de 1 a 2 mg.g<sup>-1</sup> de estreptomicina mais 6 a 8 mg.g<sup>-1</sup> cyclohexamida foi aplicada ao solo da mesma forma descrita para fungos com temperatura de 28°C na câmara de crescimento. Foi observado o crescimento de bactérias nas placas, indicando que a quantidade de inibidor era insuficiente para a inibição das bactérias. Testes com doses crescentes de estreptomicina e a troca da cyclohexamida por pentabiótico<sup>®</sup>, que é um antibiótico composto de benzilpenicilina, diidroestreptomicina e estreptomicina foram realizados até que a dose de 4,0 mg.g<sup>-1</sup> de estreptomicina mais 26,0 mg.g<sup>-1</sup> de pentabiótico<sup>®</sup> foram suficientes para a inibição da atividade e crescimento das bactérias.

### **3.6 Inibição de Fungos e Bactérias nos Macroagregados e Microagregados.**

Para inibição dos fungos e bactérias foi adaptado o método de BÄÄTH & ANDERSON (2003) e HAFEEL et al. (2004), conforme descrito no item anterior. Macroagregados e microagregados de cada amostra de solo foram divididos em duas porções de 50 g. Em uma porção foi aplicado Captan na proporção de 16,0 mg.g<sup>-1</sup> de solo via Ortochide 500<sup>®</sup>, para inibição do crescimento e, conseqüentemente, da respiração dos fungos; à outra porção adicionou-se 4,0 mg.g<sup>-1</sup> de estreptomicina e 26,0 mg.g<sup>-1</sup> de pentabiótico<sup>®</sup> que inibiram o crescimento e a respiração das bactérias. Os

inibidores foram diluídos na água que foi adicionada ao solo até se atingir 60% da CMRA. Para todas as amostras as análises foram realizadas em duplicata.

### **3.7 Liberação de CO<sub>2</sub>**

Para a quantificação da liberação de CO<sub>2</sub> pelos fungos e bactérias do solo foi utilizado o método de ALEF (1995). As amostras foram mantidas em frascos herméticos, contendo em seu interior frascos abertos com solução de NaOH em concentração de 0,5N. Para manter os frascos hermeticamente fechados foram utilizados frascos novos, do tipo utilizado na indústria alimentícia. Esse frasco contém na tampa uma borracha que, após fechada, dificulta a troca de gases. Para evitar qualquer perda de CO<sub>2</sub> depois de fechado o frasco, vedou-se a tampa com uma fita de PVC. Esses frascos herméticos foram incubados a 28°C para bactérias e 26°C para fungos por cinco dias. A solução de NaOH reage com o CO<sub>2</sub> liberado da atividade respiratória dos microrganismos do solo, formando Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>. Foi realizada a avaliação da quantidade de CO<sub>2</sub> liberada pela quantidade de NaOH utilizada. Para essa análise, foram adicionados 1 mL de cloreto de bário a 50% e 3 gotas de fenolftaleína a 3% e, em seguida, foi feita a titulação com HCl 0,5 N. Os resultados são expressos em microgramas de CO<sub>2</sub> por grama de solo seco a cada dia ( $\mu\text{g.g solo}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$ ).

### **3.8 Contagem de Microrganismos**

A contagem dos fungos e bactérias foi realizada pelo método de plaqueamento em série. Após a avaliação de liberação de CO<sub>2</sub> retirou-se uma amostra de 10 g de solo dos frascos utilizados na análise de liberação de CO<sub>2</sub>, que foram colocados em 90 mL de solução tampão de MgSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O 0,01 mol L<sup>-1</sup> em frasco de Erlenmeyer e agitados por 10 minutos. Preparam-se diluições a partir de 1 mL da suspensão de solo em 9 mL de MgSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O 0,01 mol L<sup>-1</sup> até a diluição 10<sup>-5</sup>. Alíquotas de 0,1 mL foram transferidas, em duplicata, para placas de Petri com meio batata dextrose ágar (BDA). As placas foram mantidas em câmara com temperatura controlada, sendo 26°C para fungos e 28°C para bactérias por um período de 48 h para o crescimento das colônias. Após esse período as colônias foram contadas.



### 3.9 Análise de Estabilidade de Agregados em Água

O método empregado é o descrito por KEMPER & CHEPIL (1965), com modificações introduzidas pelo Laboratório de Física do Solo do Instituto Agronômico. Para análise dos macroagregados foram utilizadas as peneiras com as seguintes malhas: 7,93 mm; 6,35 mm; 4,00 mm; 2,00 mm; 1,00 mm e 0,50 mm. Para os microagregados, foram utilizadas as peneiras com as seguintes malhas: 2,00 mm; 1,00 mm; 0,50 mm; 0,25 mm e 0,10 mm.

Os dois jogos de peneiras contendo 50,0 g de amostra de agregados sobre a peneira de malha maior foram submersos em água dentro de cilindros e agitados por um período de 10 minutos com 40 ciclos por minuto. Outra amostra de 50,0 g do mesmo tratamento era também submetida à análise para que no final houvesse resultados em triplicata.

Os agregados retidos em cada peneira foram secos em estufa por 48 horas e pesados. A presença de pedras foi descontada da massa da respectiva porção de agregados retida na peneira. Com a massa das frações retidas em cada peneira calculou-se o diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados para expressar o índice de estabilidade dos agregados, utilizando-se a seguinte equação:

$$DMP = \sum_{i=1}^6 (x_i \times w_i)$$

em que  $w_i$  é a proporção de cada classe em relação ao total e  $x_i$  é o diâmetro médio das classes de agregados (mm).

### 3.10 Análises Estatísticas

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com cinco tratamentos, três épocas de amostragem e quatro repetições. Os dados obtidos para as variáveis estudadas foram submetidos à análise de variância e teste de médias pelo Teste de Tukey a 5%, com utilização do programa estatístico SISVAR distribuído pelo

Departamento de Ciências Exatas da Universidade Federal de Lavras (UFLA), e  
correlação das médias pelo Office Excel.

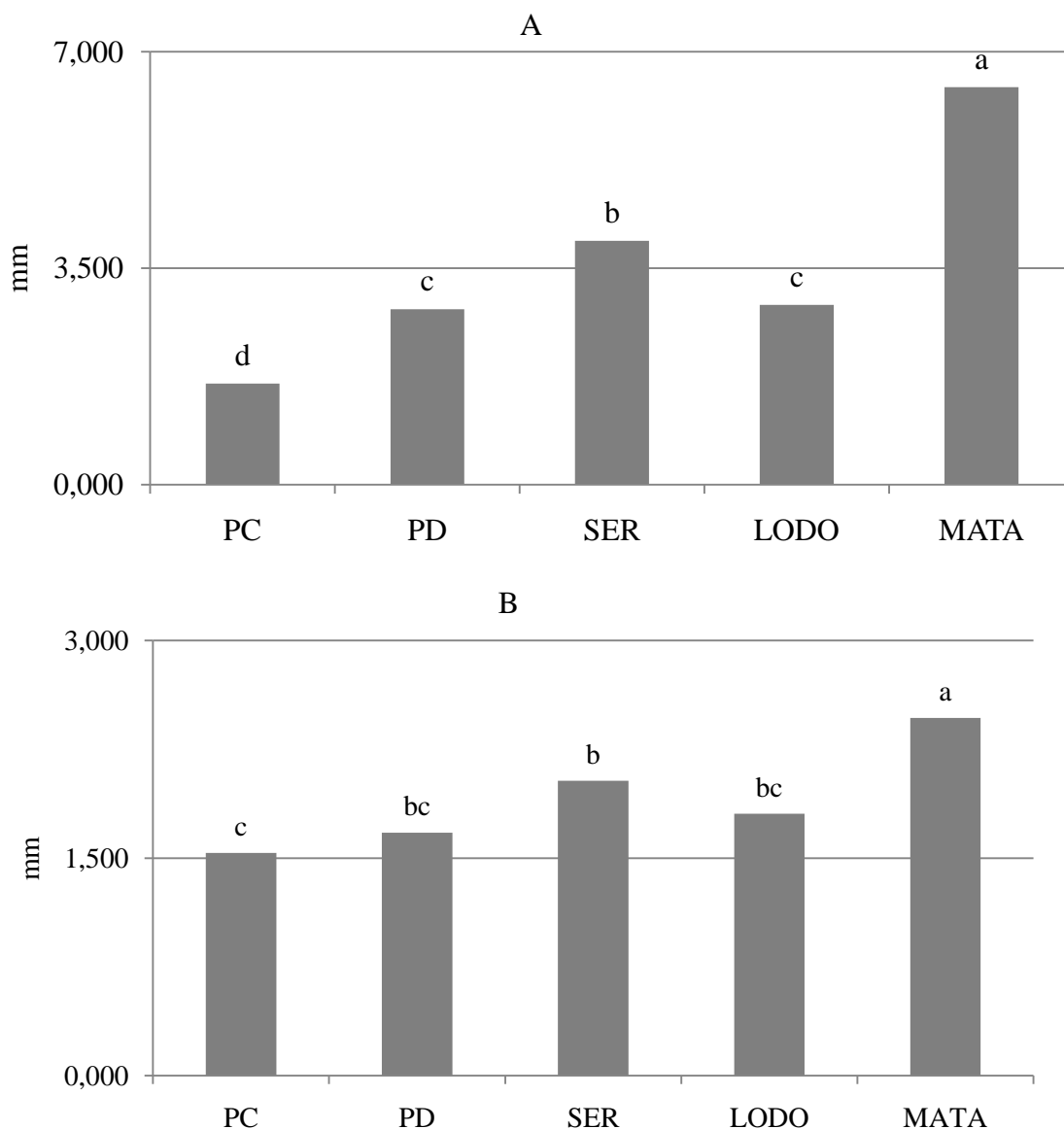
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Efeito do Uso sobre a Estabilidade dos Macroagregados e Microagregados do Solo.

A análise de variância da estabilidade de agregados via úmida mostrou diferenças significativas entre os diferentes usos do solo em todas as épocas de amostragem nos macroagregados e microagregados (Figura 1). Independentemente da época de amostragem, o diâmetro médio ponderado (DMP) foi maior na área com mata nativa, tanto nos macroagregados como nos microagregados. O solo sob mata está constantemente coberto e com incremento de matéria orgânica, aumentando a quantidade de carbono orgânico, que contribui para a estabilidade dos agregados. Esse resultado concorda com outros da literatura, que indicam a matéria orgânica, entre outros, como agente importante na agregação e na estabilização dos agregados no solo (CHANEY & SWIFT, 1984; SILVA & MIELNICZUK, 1998; CASTRO FILHO et al., 1998; ALVARENGA et al., 1999). O uso do solo com plantio de seringueira foi significativamente diferente – e maior –, de maneira geral, do plantio com lodo de esgoto, plantio direto e plantio convencional, sendo que os valores observados para o plantio com lodo de esgoto não diferiram dos valores observados para o plantio direto nos macroagregados. O plantio de seringueira mantém o solo coberto com folhas e galhos, similar à mata nativa, aumentando o teor de carbono do solo. É um cultivo em que o tráfego de máquinas após a implantação da cultura é reduzido – assim como na mata nativa – e não há revolvimento do solo, contribuindo para a estabilidade dos agregados (VARGAS & SCHOLLES, 2000). A diferença básica entre o local com seringueira e o com a mata nativa é que, neste último, há diversidade bem maior na cobertura do solo, com plantas de variados portes e origens. Disso resulta maior diversidade também de nutrientes oferecidos à microbiota do solo sob mata, que pode, por sua vez, sustentar uma comunidade microbiana mais diversificada e com maior potencial de atuar na agregação do solo.

Nos macroagregados, de maneira geral, independentemente das épocas de amostragem, o plantio direto e o plantio com lodo de esgoto apresentaram valores estatisticamente semelhantes para o DMP. Uma hipótese provável para esse resultado

foi que a aplicação do lodo de esgoto forneceu matéria orgânica com efeito similar à depositada pelo plantio direto.



**Figura 1:** Diâmetro médio ponderado (DMP) (média das três amostragens), em milímetros, dos (A) macroagregados e (B) microagregados nos diferentes usos de solo. Letras diferentes indicam significância pelo teste t a 5% de probabilidade. PC: plantio convencional; SER: cultivo de seringueira; PD: plantio direto; LODO: aplicação de 10 Mg.ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto; MATA: solo sob floresta tropical semidecídua.

Os resultados da análise estatística mostraram que no plantio convencional o DMP foi menor em relação a todos os tratamentos nos macroagregados (Figura 1). Isso se deve, provavelmente, ao maior revolvimento do solo (VARGA & SCHOLLES, 2000) e menor teor de matéria orgânica (MO), já que, para a cultura de algodão,

recomenda-se a destruição da soqueira para o controle do bicudo (*Anthonomus grandis*); além disso, o cultivo do algodão produz pouca MO.

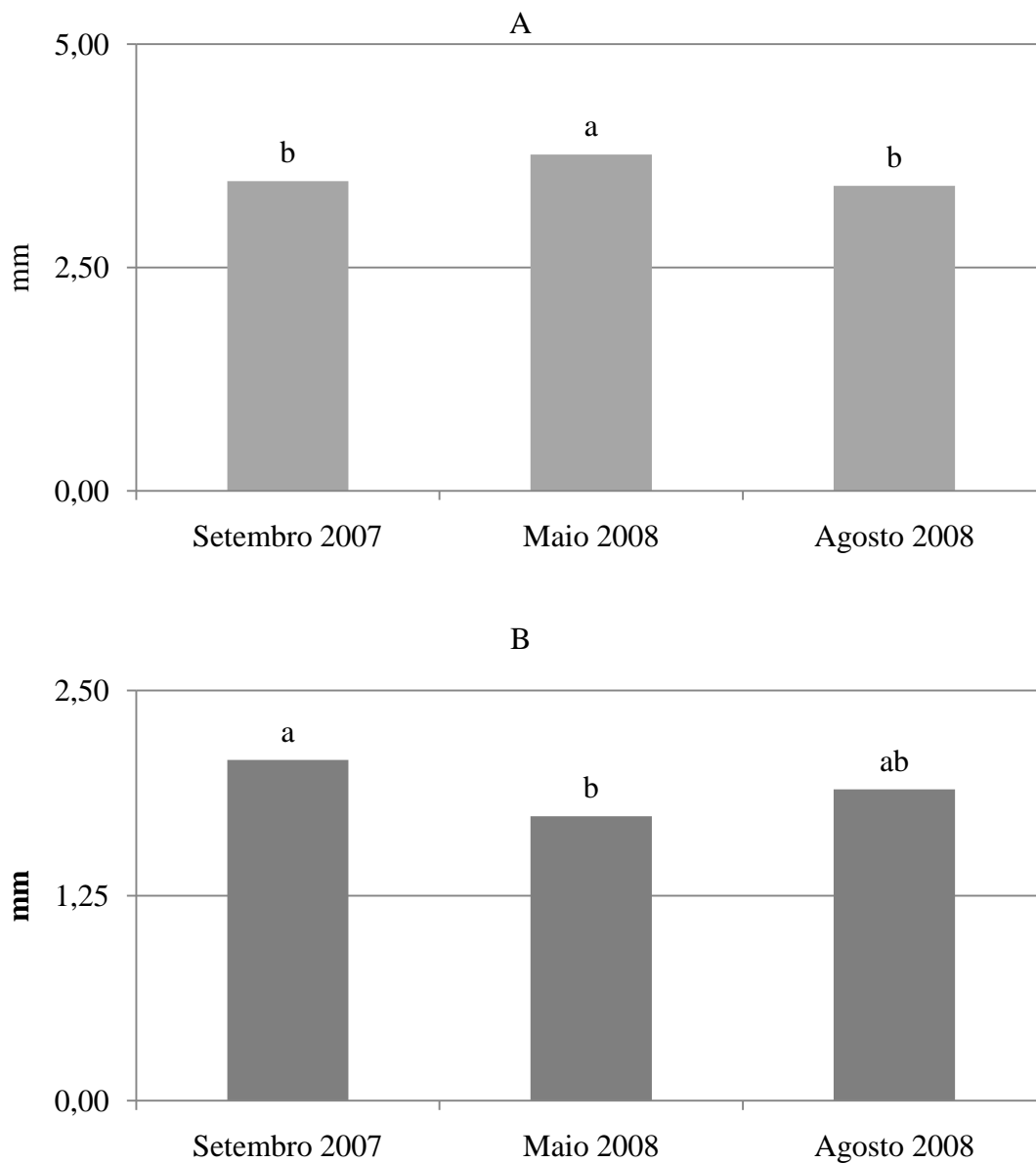
Já para os microagregados as diferenças entre os tratamentos não foram tão marcantes quanto para os macroagregados. No entanto, o solo sob mata foi também o que apresentou maior DMP e o PC, o menor. Isso sugere que a atividade antrópica exerça maior efeito sobre os macroagregados em relação aos microagregados.

#### **4.2 Efeito da Época das Amostragens no DMP dos Macroagregados e Microagregados.**

Os resultados do DMP quando se consideraram apenas as épocas de amostragens, independentemente dos usos do solo, indicam que, na segunda amostragem, os macroagregados foram significativamente maiores em relação às outras duas épocas de amostragens (Figura 2 A). Esse resultado pode ser explicado por fatores climáticos (Tabela 1). No período da segunda amostragem, a umidade do solo estava mais alta em relação às outras duas épocas de amostragem.

Para os microagregados (Figura 2 B) só houve diferença significativa entre a primeira e a segunda amostragem. A terceira amostragem não diferiu da primeira nem da segunda amostragem. Assim como nos macroagregados, fatores climáticos, como a umidade do solo, podem ser a hipótese provável para os resultados obtidos. Assim como na primeira, na terceira amostragem o solo estava seco, com índice pluviométrico de 0 mm no dia anterior à amostragem (Tabela 1).

Quando se consideram as amostragens separadamente, a mata nativa foi o uso do solo em que o DMP foi significativamente maior e o plantio convencional, significativamente menor, em todas as épocas de amostragens (Figura 3), para os macroagregados. O plantio com seringueira foi significativamente menor que a mata e significativamente maior que os outros usos do solo. Não houve diferença significativa entre os usos do solo com aplicação de lodo de esgoto e do plantio convencional, na primeira amostragem. Os valores do DMP dos macroagregados, na segunda amostragem, foram maiores no uso de solo com plantio direto que plantio com lodo de esgoto. Uma hipótese provável para essa diferença pode ter sido a época de aplicação do lodo de esgoto, que é anual e durante o preparo do solo, que ocorreu em setembro do ano anterior a essa amostragem.



**Figura 2:** Diâmetro médio ponderado dos macroagregados (A) e microagregados (B) em todos os usos do solo em cada época de amostragem.

Em áreas sob sistema plantio direto, a perda de solo por erosão é drasticamente reduzida e o estoque de matéria orgânica do solo é mantido. Uma das características marcantes do sistema de plantio direto é o aumento do teor de matéria orgânica do solo tanto na qualidade quanto na quantidade, seja dos resíduos das culturas de interesse econômico em rotação ou sucessão, seja das plantas de cobertura ao longo dos anos,

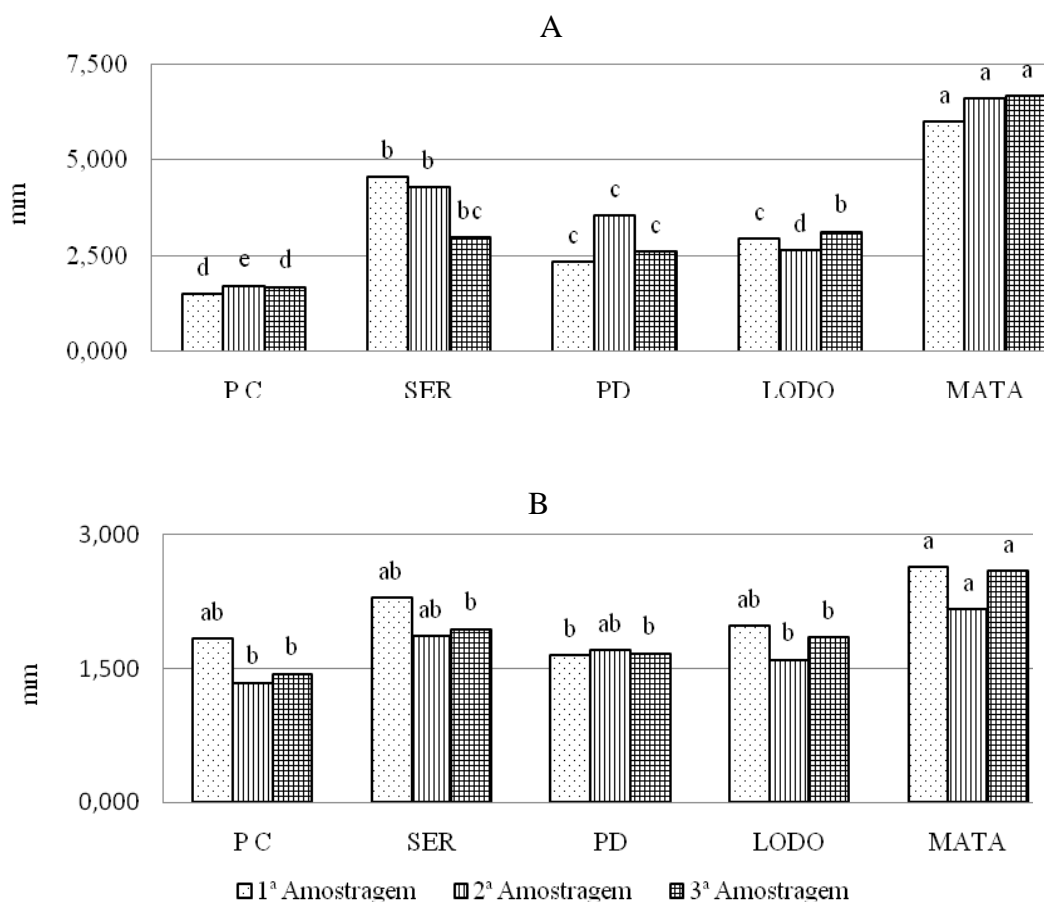
acarretando um aumento gradual da camada de palha na superfície do solo com o decorrer do tempo de implantação desse sistema. Segundo DA ROS et al. (1997), após cinco anos de cultivo o diâmetro médio geométrico dos agregados no tratamento com plantio direto foi estatisticamente equivalente ao do campo nativo, diminuindo com o aumento da intensidade do preparo do solo, com valores 2,96 vezes menores no preparo convencional comparado ao campo nativo.

Na terceira amostragem, o plantio direto e o plantio com lodo de esgoto só diferiram estatisticamente nos macroagregados, sendo que o plantio com lodo de esgoto obteve um DMP maior. Esses resultados concordam com DE MARIA et al. (2007), que observaram aumento no DMP com a aplicação consecutiva de lodo de esgoto no solo. A aplicação contínua e crescente de lodo de esgoto, assim como no plantio direto, aumenta o teor de carbono orgânico do solo (SOARES, 2005). Além da aplicação do lodo de esgoto propriamente dita, o preparo do solo pode ter contribuído para um maior DMP, nos macroagregados na terceira amostragem, uma vez que o preparo do solo para nesse tratamento foi realizado manualmente, o que resulta em menor revolvimento do solo, podendo assim manter por um período maior a sua estrutura física. GARCIA-ORENES et al. (2005) observaram um aumento no carbono orgânico e da porcentagem de agregados estáveis com a aplicação contínua de lodo de esgoto em solos salinos e não salinos. TSADILIS et al. (2005) também obtiveram o mesmo resultado quando aplicaram lodo de esgoto ao solo. A aplicação de  $50 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$  – bem maior do que a utilizada na área aqui estudada – aumentou o diâmetro médio dos agregados em latossolos de textura média e argilosa (SOUZA et al., 2005).

Em áreas desmatadas onde o preparo do solo é realizado convencionalmente, com manejo de grade aradora e niveladora, há uma redução do DMP dos macroagregados e microagregados (CORREA, 2002). O revolvimento do solo tem como consequência o consumo da matéria orgânica pela microbiota do solo; depois de um aumento inicial, ocorre redução da atividade microbiana do solo (WENDLING et al., 2005), que participa do processo de formação e estabilização dos agregados no solo. A estabilidade dos agregados em solos depende das forças que ligam as partículas e da natureza e magnitude das forças desagregantes aplicadas (BEARE et al., 1994).

O plantio direto aumenta a porcentagem de agregados do solo comparado com áreas preparadas convencionalmente, com grade aradora e niveladora (CORREA, 2002). Os resultados deste trabalho concordam com os de WENDLING et al. (2005),

que, estudando o efeito de diferentes manejos de solo na estabilidade dos agregados, concluíram que a mata tem um DMP maior em relação a outros manejos de solo e também que o plantio direto aumenta a estabilidade dos agregados em relação ao plantio convencional. Já em áreas de cultivo, onde há uma maior intensidade de mecanização e, como consequência, consumo mais rápido do carbono do solo, há uma menor estabilidade dos agregados em água (NICOU et al., 1993).



**Figura 3:** Diâmetro médio ponderado (DMP) nas diferentes épocas de amostragens dos (A) macroagregados e (B) microagregados nos diferentes usos de solo. Primeira amostragem, setembro/2007; segunda amostragem, maio/2008; terceira amostragem setembro/2008. Letras diferentes, dentro de cada amostragem, indicam significância pelo teste t a 5% de probabilidade. PC: plantio convencional; SER: cultivo de seringueira; PD: plantio direto; LODO: aplicação de 10 Mg.ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto; MATA: solo sob floresta tropical semidecídua.

Para microagregados (Figura 3 B), os resultados da análise estatística mostraram que na primeira amostragem somente o uso com mata nativa e o plantio direto foram



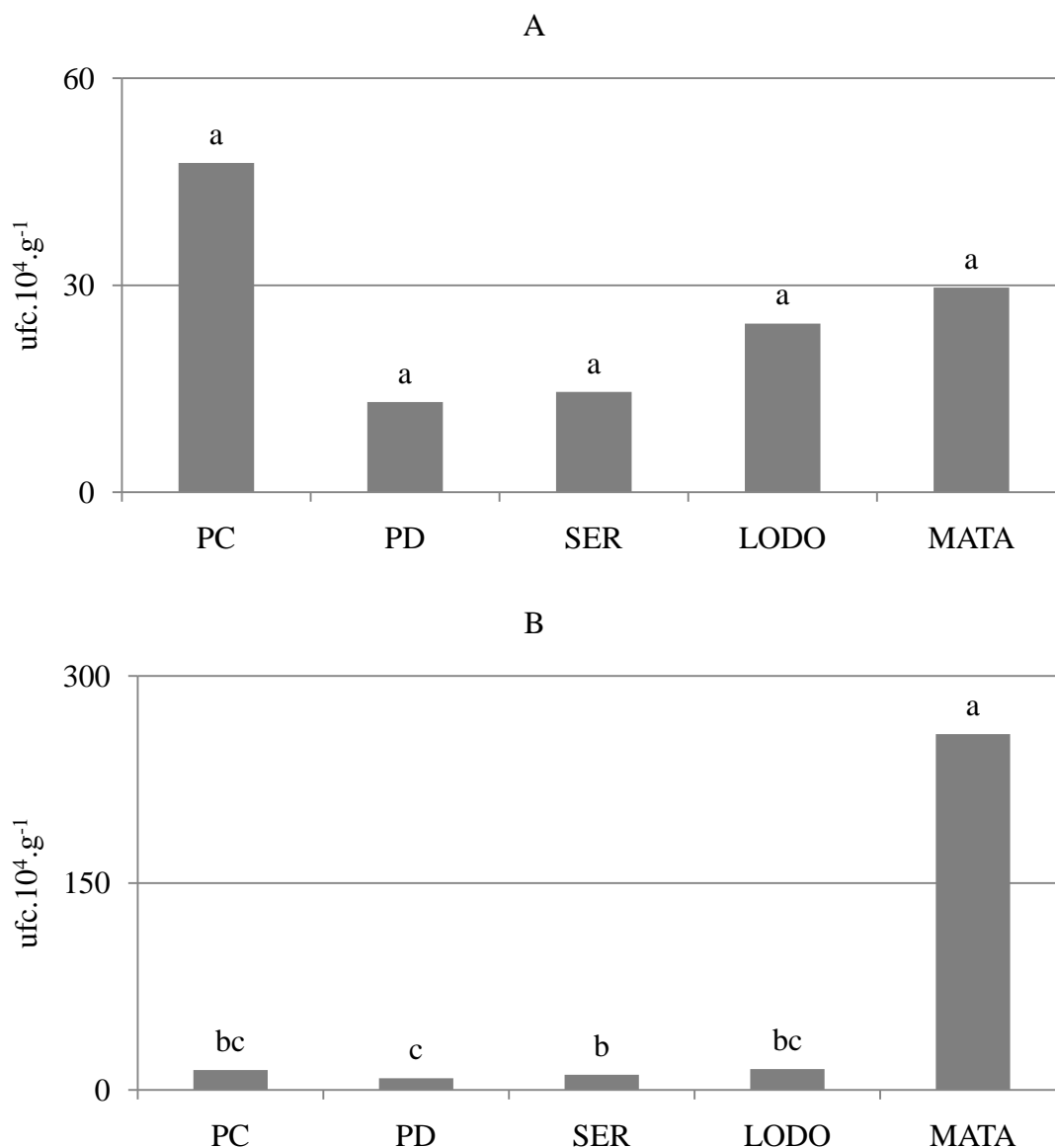
diferentes significativamente. Os outros tratamentos não diferiram entre si e também não diferiram da mata nativa e do plantio direto. Na segunda amostragem, ocorreu diferença entre a mata nativa e o plantio com lodo de esgoto e na terceira amostragem a mata nativa obteve um DMP maior que todos os outros tratamentos, que não diferiram entre si. SHEPHERD et al. (2001) comprovaram em seu estudo que há um declínio significativo na estabilidade dos agregados quando solos nativos são cultivados convencionalmente.

### **4.3 Efeito do Uso do Solo sobre a Comunidade Fúngica do Solo**

Conforme já comentado no item 3.4, o experimento preliminar para a confirmação do método de inibição de fungos e de bactérias, que permitiu a separação das duas comunidades microbianas e a execução do trabalho como proposto, resultou na informação de que as concentrações de antibióticos sugeridas no trabalho de BÄÄTH & ANDERSON (2003) não foram suficientes para a inibição de bactérias nem a concentração de fungicida recomendada por HAFEEL et al. (2004) inibiu os fungos. Isso levanta a questão de se realmente esses autores avaliaram as comunidades que pretendiam, uma vez que não há informação nos respectivos trabalhos de que tenham sido feitos testes como o que se executou neste. As concentrações consideradas adequadas por BAATH & ANDERSON (2003), para inibição de bactérias, e por HAFEEL et al. (2004), para a inibição de fungos, não inibiram as comunidades microbianas que se esperava que inibissem. Na verificação feita neste trabalho e descrita no item 3.4, observou-se claramente que fungos e bactérias precisaram de concentrações maiores dos respectivos inibidores para que se constatar que seu crescimento não ocorreu. Talvez se devam levar em conta as condições climáticas prevalentes nos ambientes em que se deram as amostragens de solo nos dois artigos mencionados acima: em locais de clima temperado, a microbiota que se desenvolve nos solos é, seguramente, diferente da que se desenvolve nos solos de locais de clima tropical. Isso pode resultar no fato de que concentrações de antibióticos inibidoras em um ambiente podem não agir como tal em outros ambientes.

A média do número de unidades formadoras de colônias (ufcs) dos fungos nos macroagregados não diferiu entre os usos do solo na média das épocas de amostragens

(Figura 4 A). Já para os microagregados, a média do número de ufc's dos fungos, variou de acordo com o uso do solo.



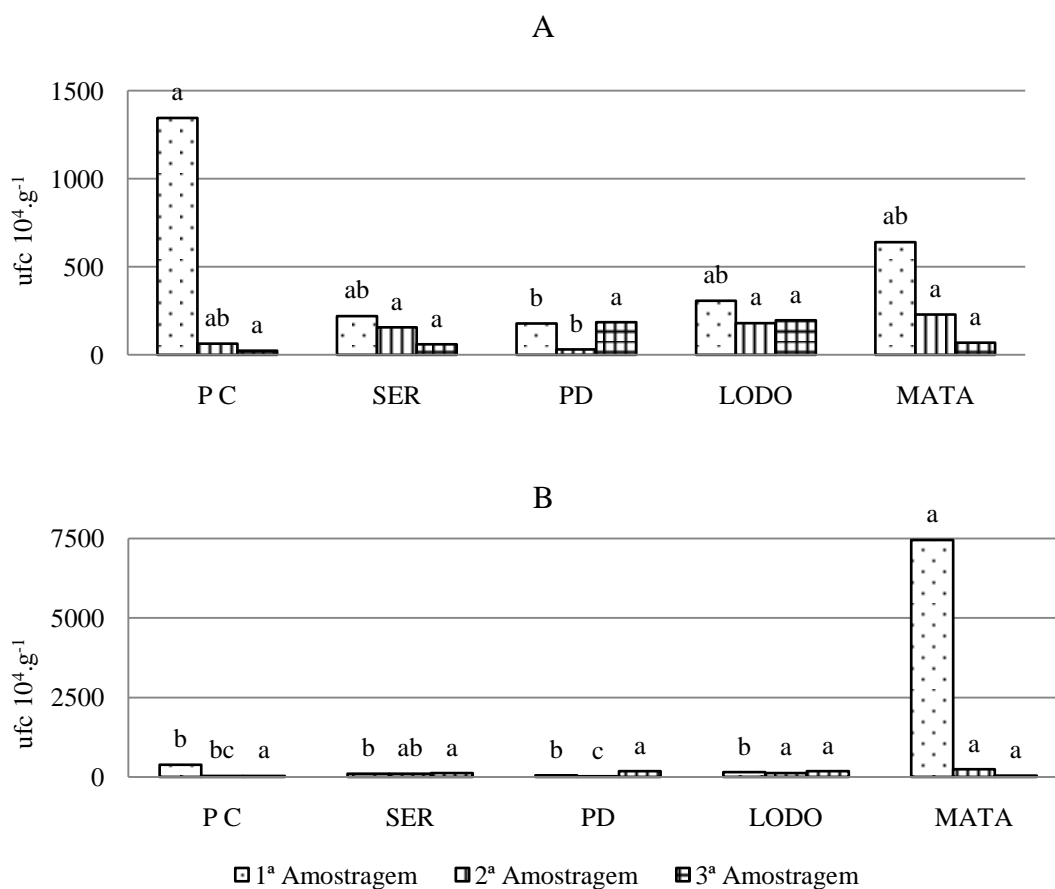
**Figura 4:** Número de unidades formadoras de colônias (ufcs) (médias das três amostragens) dos fungos nos (A) macroagregados e (B) microagregados nos diferentes usos de solo nas três épocas de amostragens. Letras diferentes, dentro de cada amostragem, indicam significância pelo teste t a 5% de probabilidade, dados originais, transformados em log x para a análise de variância. PC: plantio convencional; SER: cultivo de seringueira; PD: plantio direto; LODO: aplicação de 10 Mg.ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto; MATA: solo sob floresta tropical semidecídua.

No uso do solo com mata nativa, o número de ufc's dos fungos foi maior em relação aos outros usos do solo. Houve diferença significativa entre o uso com plantio de seringueira e plantio direto, porém sem diferir significativamente dos outros usos do

solo. Aqui, diferentemente do que se comentou acima para a estabilidade de agregados, a influência antrópica foi mais sentida entre os microagregados. Isto é: o número ufc's de fungos nos microagregados foi influenciado pelo uso do solo, mas não nos macroagregados. Há uma série de possibilidades a questionar – como, por exemplo, as espécies fúngicas presentes em um e outro grupo de agregados –, mas cuja comprovação depende de mais estudos.

Quando se consideram as amostragens, separadamente, para os macroagregados, na primeira amostragem (Figura 5 A) o uso do solo com plantio convencional foi aquele em que o número de ufc's dos fungos foi significativamente maior em relação ao plantio direto, sem diferir significativamente em relação aos outros usos do solo. Na segunda amostragem, somente o plantio direto diferiu dos outros usos do solo, tendo sido significativamente menor, e na terceira amostragem não houve diferença significativa entre os usos do solo.

Nos microagregados (Figura 5 B), na primeira amostragem, a mata nativa foi significativamente diferente dos outros manejos, e não houve diferença significativa entre os outros manejos de solo. Na segunda amostragem, os usos do solo com mata nativa, aplicação de lodo de esgoto e o plantio com seringueira não diferiram entre si. O uso com plantio direto não diferiu do plantio convencional. Na terceira amostragem, não houve diferença significativa entre os usos do solo. Como mencionado no início desta discussão, os testes prévios para a análise do número de ufc's dos fungos tiveram, como consequência não prevista, a definição da concentração dos antibióticos para a separação dos microrganismos, mas os resultados para esta variável não permitem inferências confiáveis, conforme se verá adiante.

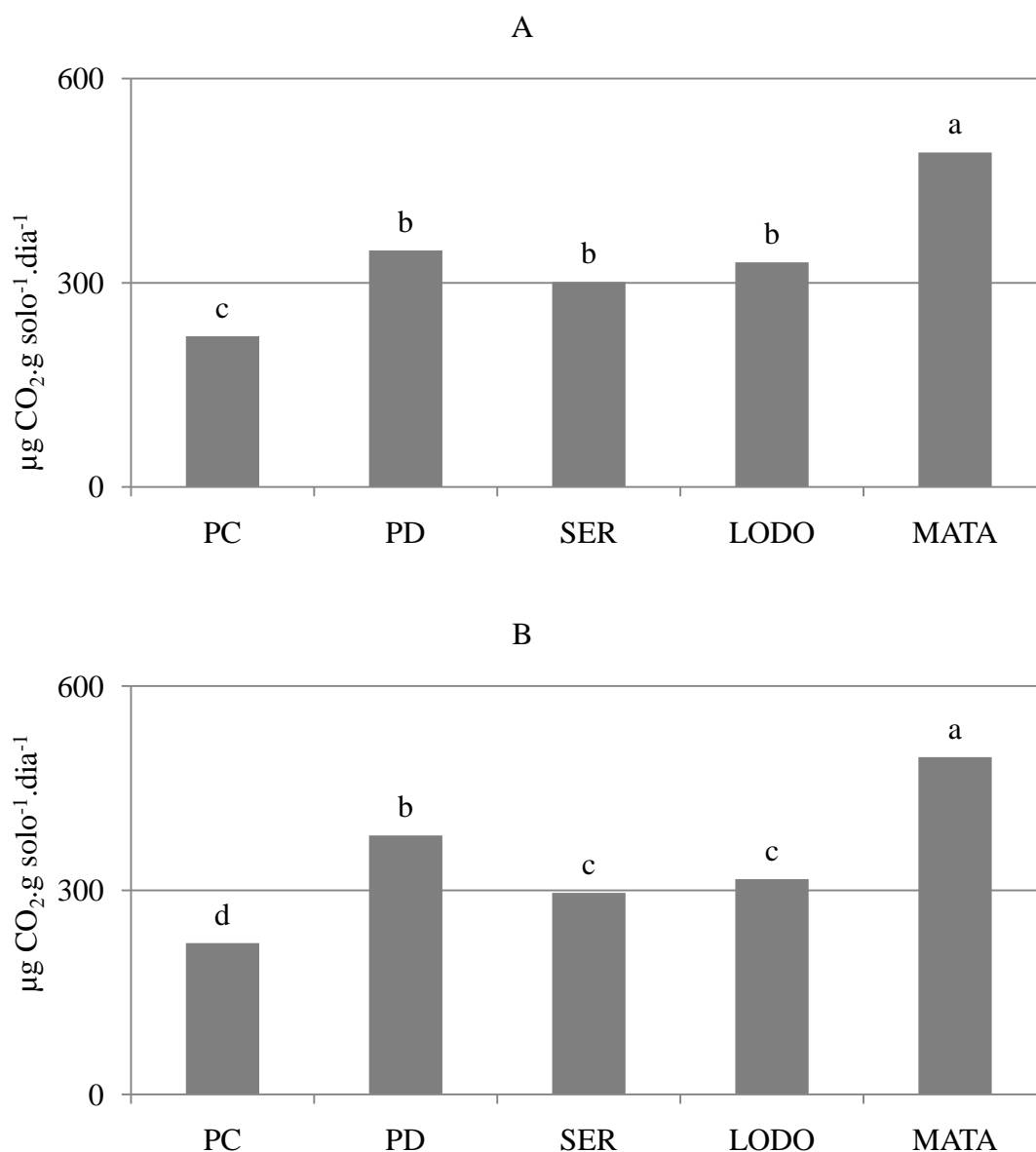


**Figura 5:** Número de unidades formadoras de colônias (ufcs) dos fungos nas diferentes épocas de amostragens nos (A) macroagregados e (B) microagregados nos diferentes usos de solo. Primeira amostragem, setembro/2007; segunda, maio/2008; terceira, setembro/2008. Letras diferentes, dentro de cada amostragem, indicam significância pelo teste t a 5% de probabilidade. Dados originais, transformados em  $\log x$  para a análise de variância. PC: plantio convencional; SER: cultivo de seringueira; PD: plantio direto; LODO: aplicação de  $10 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$  de lodo de esgoto; MATA: solo sob floresta tropical semidecídua.

A atividade dos fungos nos macroagregados e microagregados, medida pela liberação de  $\text{CO}_2$  (Figura 6), de maneira geral, foi maior na mata, em todas as amostragens, e menor no plantio convencional. Nos macroagregados, não houve diferença significativa entre os outros tratamentos (Figura 6 A), diferente do que ocorreu nos microagregados, onde o uso do solo com plantio direto diferiu significativamente dos usos com aplicação de lodo de esgoto e plantio de seringueira.

Num trabalho diferente deste – mas parcialmente comparável – MARCHIORI JÚNIOR & MELO (2000) observaram maiores valores de carbono microbiano em solo

sob cultivo de cana de açúcar que sob mata. Ainda que sejam variáveis diferentes – liberação de CO<sub>2</sub> e carbono da biomassa microbiana (CBM) –, são frequentemente ligadas, uma vez que a respiração é resultado da atividade de grande parte da biomassa microbiana aeróbia (CRITTER et al., 2002; 2001).



**Figura 6:** Liberação de CO<sub>2</sub> dos fungos (média das três amostragens) nos (A) macroagregados e (B) microagregados (média das três amostragens). Letras diferentes indicam significância pelo teste t a 5% de probabilidade. PC: plantio convencional; SER: cultivo de seringueira; PD: plantio direto; LODO: aplicação de 10 Mg.ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto; MATA: solo sob floresta tropical semidecídua.

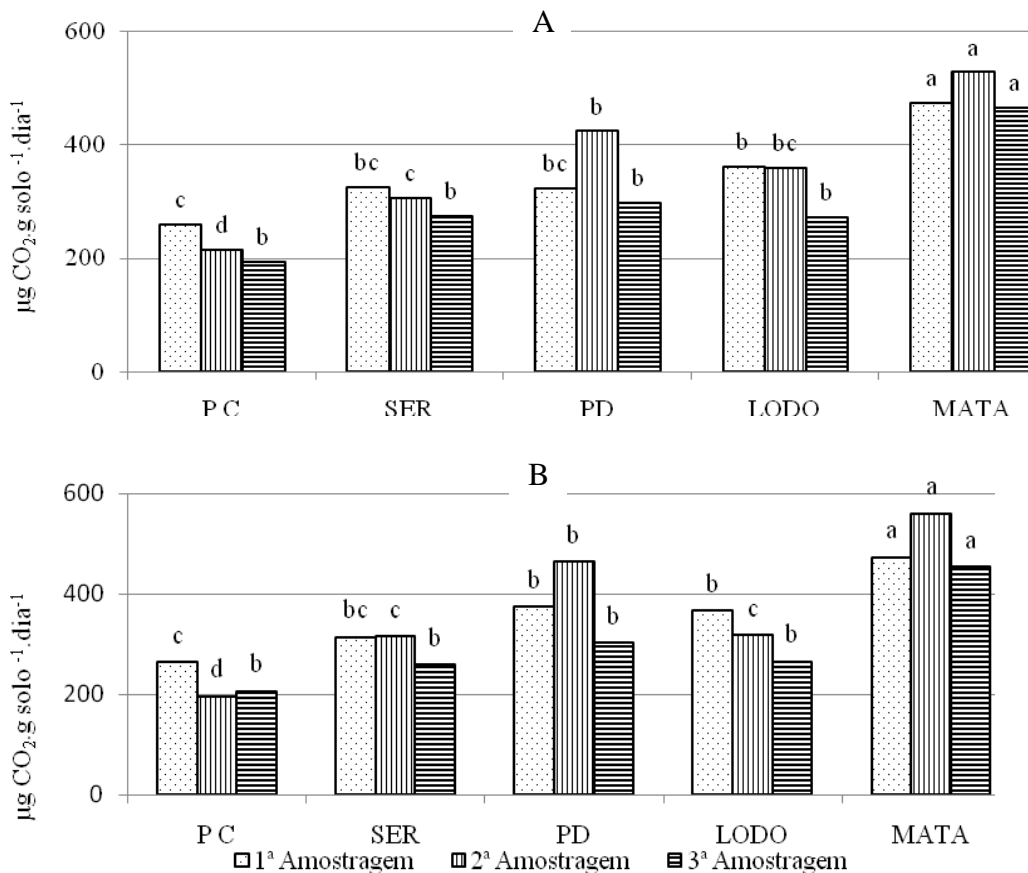
Se se considerar que haja uma relação positiva entre liberação de CO<sub>2</sub>, que foi medido neste trabalho, e CBM, medido por MARCHIORI JÚNIOR & MELO (2000),

conclui-se que os dados obtidos neste trabalho diferem dos desses últimos autores, uma vez, para eles, que a mata não resultou em maiores valores. Uma hipótese possível para essa diferença é o fato de que o plantio de cana pode ter fornecido mais produtos orgânicos que a mata, contribuindo assim para maior atividade da comunidade fúngica – mais numerosa no solo – que a mata, apesar da menor diversidade de material orgânico no solo sob cana. O plantio convencional foi o tratamento em que a atividade respiratória dos fungos foi menor quando comparada com os outros usos do solo. No revolvimento do solo no momento do preparo há um consumo rápido da matéria orgânica do solo, pela aeração e aumento rápido da microbiota do solo. Após o consumo da matéria orgânica a microbiota do solo reduz-se significativamente.

Quanto se consideram as amostragens separadamente, nos macroagregados, conforme já comentado, a liberação de CO<sub>2</sub> pelos fungos foi maior na mata comparada com os outros usos do solo em todas as amostragens. Na primeira amostragem, o plantio com lodo de esgoto foi maior que o plantio convencional, que obteve a menor média (Figura 7 A). O revolvimento reduz a matéria orgânica do solo, reduzindo a fonte de energia para a microbiota. Não houve diferença estatística entre o plantio direto, uso de lodo de esgoto e plantio de seringueira. Na segunda amostragem ocorreu uma variação maior nos resultados. O plantio direto e o uso do lodo de esgoto não diferiram entre si, mostrando que a matéria orgânica depositada pelo plantio direto e o lodo de esgoto foram suficientes para manter a atividade respiratória da comunidade de fungos do solo. Já a seringueira, nessa época do ano não forneceu matéria orgânica suficiente para a manutenção da atividade fúngica. O plantio convencional resultou na menor média na liberação de CO<sub>2</sub> de fungos de todos os usos de solo. Na terceira amostragem não houve diferença entre os outros usos do solo em comparação com a mata.

Nos microagregados, a liberação de CO<sub>2</sub> dos fungos foi significativamente maior na mata comparada com os outros usos do solo em todas as amostragens, seguindo a mesma tendência dos macroagregados (Figura 7 B). Na primeira amostragem, o plantio com lodo, plantio direto e o plantio com seringueira não diferiram significativamente. O plantio de seringueira não diferiu do plantio convencional. Na segunda amostragem o plantio direto diferiu estatisticamente dos outros tratamentos; o plantio com lodo de esgoto e o plantio com seringueira não diferiram entre si, e o plantio convencional foi onde se obteve a menor atividade dos fungos. Na terceira amostragem não houve diferença entre os tratamentos, exceto para a mata, onde os fungos respiraram mais.

Segundo VARGAS & SCHOLLES (2000), o grau de revolvimento do solo e a forma como os resíduos vegetais são depositados no solo influenciam a atividade da comunidade microbiana do solo. Esses mesmos autores concluíram que resíduos vegetais com baixa relação C:N favorecem o aumento da comunidade fúngica do solo. MIRANDA et al. (2005), estudando o efeito da rotação de culturas na produção agrícola, observaram que a rotação de milho e pastagem aumentou o número e a diversidade de espécies de fungos micorrízicos, indicando que resíduos vegetais de baixa relação C:N propiciam condições favoráveis à atividade de fungos micorrízicos no solo.



**Figura 7:** Liberação de CO<sub>2</sub> pelos fungos nas diferentes épocas de amostragens nos (A) macroagregados e (B) microagregados nos diferentes usos de solo. Primeira amostragem, setembro/2007; segunda, maio/2008; terceira, setembro/2008. Letras diferentes, dentro de cada amostragem, indicam significância pelo teste t a 5% de probabilidade. PC: plantio convencional; SER: cultivo de seringueira; PD: plantio direto; LODO: aplicação de 10 Mg.ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto; MATA: solo sob floresta tropical semidecídua.

#### **4.4 Efeito do Uso do Solo sobre a Comunidade Bacteriana do Solo.**

O número unidades formadoras de colônias (ufcs) de bactérias, nos macroagregados, na média das três amostragens, diferiu significativamente no uso do solo com aplicação do lodo, no qual o número de ufcs das bactérias foi menor em relação a todos os outros usos do solo, porém sem diferença significativa com o plantio convencional (Figura 8 A). Nos microagregados, houve uma variação maior nos resultados, em função do uso do solo (Figura 8 B). Os usos do solo com plantio direto e o plantio com seringueira resultaram em maior número de ufcs de bactérias, e o plantio com lodo de esgoto e plantio convencional, em menor número de ufcs de bactérias. Uma hipótese para que as ufcs de bactérias estivessem em menor número no uso do solo com adição de lodo de esgoto é a possível presença/acumulação de substâncias xenobióticas no lodo de esgoto (Anexo 1), que podem ter inibido o desenvolvimento e o crescimento das bactérias.

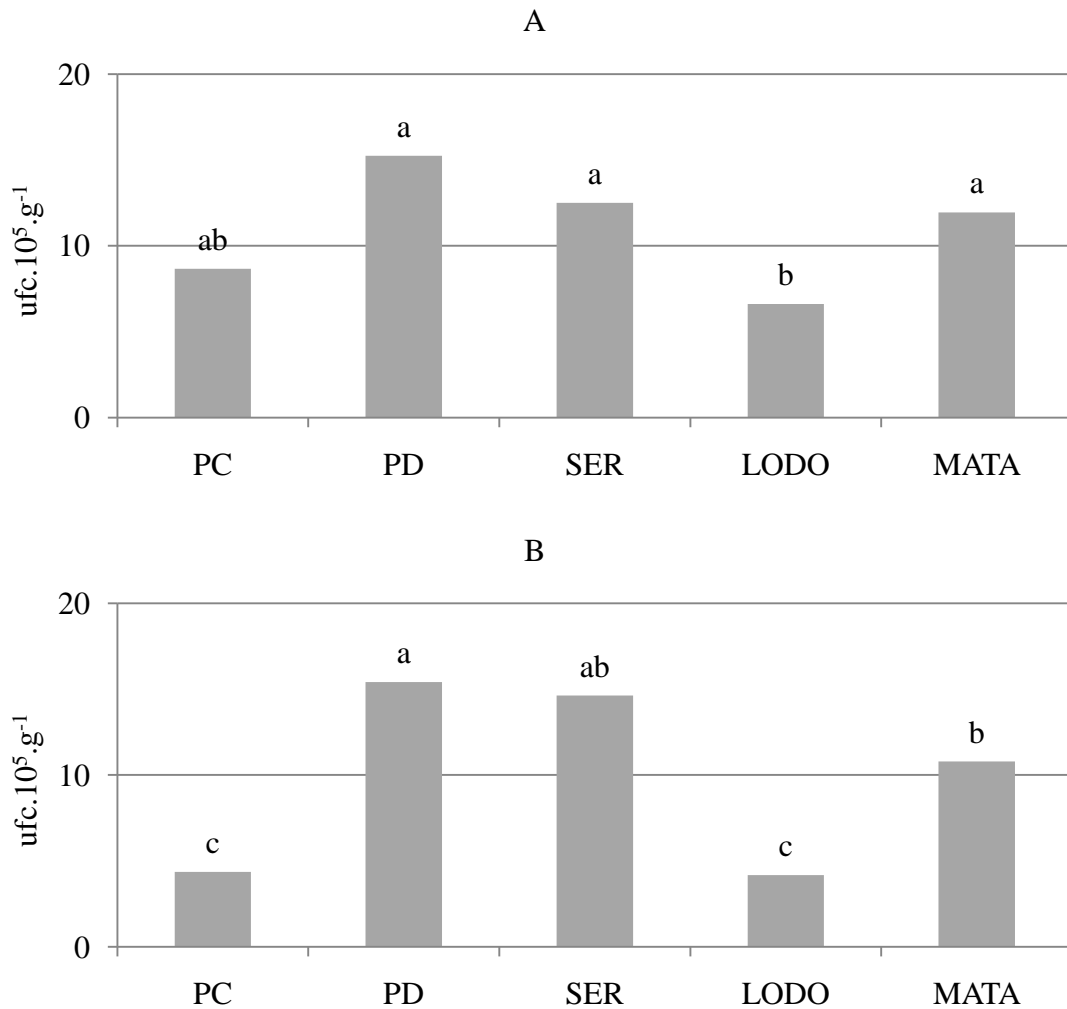
O número de ufcs de bactérias, nos macroagregados, na primeira amostragem foi maior no plantio convencional e não diferiu significativamente do plantio de seringueira e do plantio direto (Figura 9 A). Os tratamentos com mata, plantio convencional e plantio com seringueira não diferiram entre si. O uso do solo com plantio com lodo de esgoto e com mata nativa foram os usos de solo onde o número de bactérias foi menor. Na segunda amostragem, exceto as amostras com plantio de seringueira, os números de bactérias não diferiram entre os usos do solo. Na terceira amostragem não houve diferença significativa entre os usos do solo quanto ao número de bactérias.

Nos microagregados o número das bactérias foi significativamente maior no plantio direto e no plantio com seringueira, que não foi diferente do uso com mata nativa e do plantio convencional (figura 9 B). Não houve diferença significativa entre os outros tratamentos. Na segunda amostragem o número das bactérias foi significativamente maior no plantio com seringueira, plantio direto e na mata nativa, que não diferiu dos outros usos do solo. Na terceira amostragem, a mata nativa, o plantio com seringueira e o plantio direto não diferiram entre si. Os outros usos do solo não diferiram entre si e entre o uso com plantio direto e o plantio com seringueira.

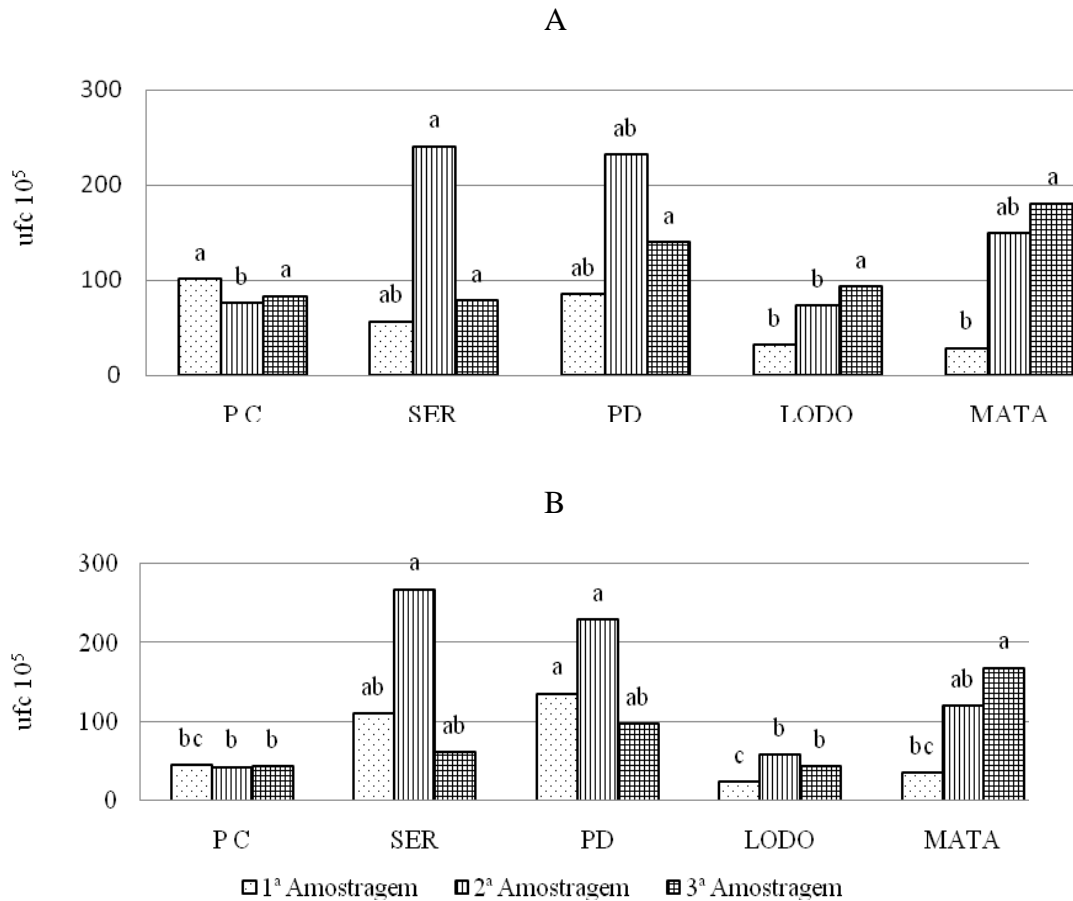
Como citado no item 4.3, também aqui o teste para definir os inibidores e permitir a obtenção do número de ufcs das bactérias foi importante para separar os



microrganismos,mas a contagem em si não deu resultados que permitissem inferência confiáveis.

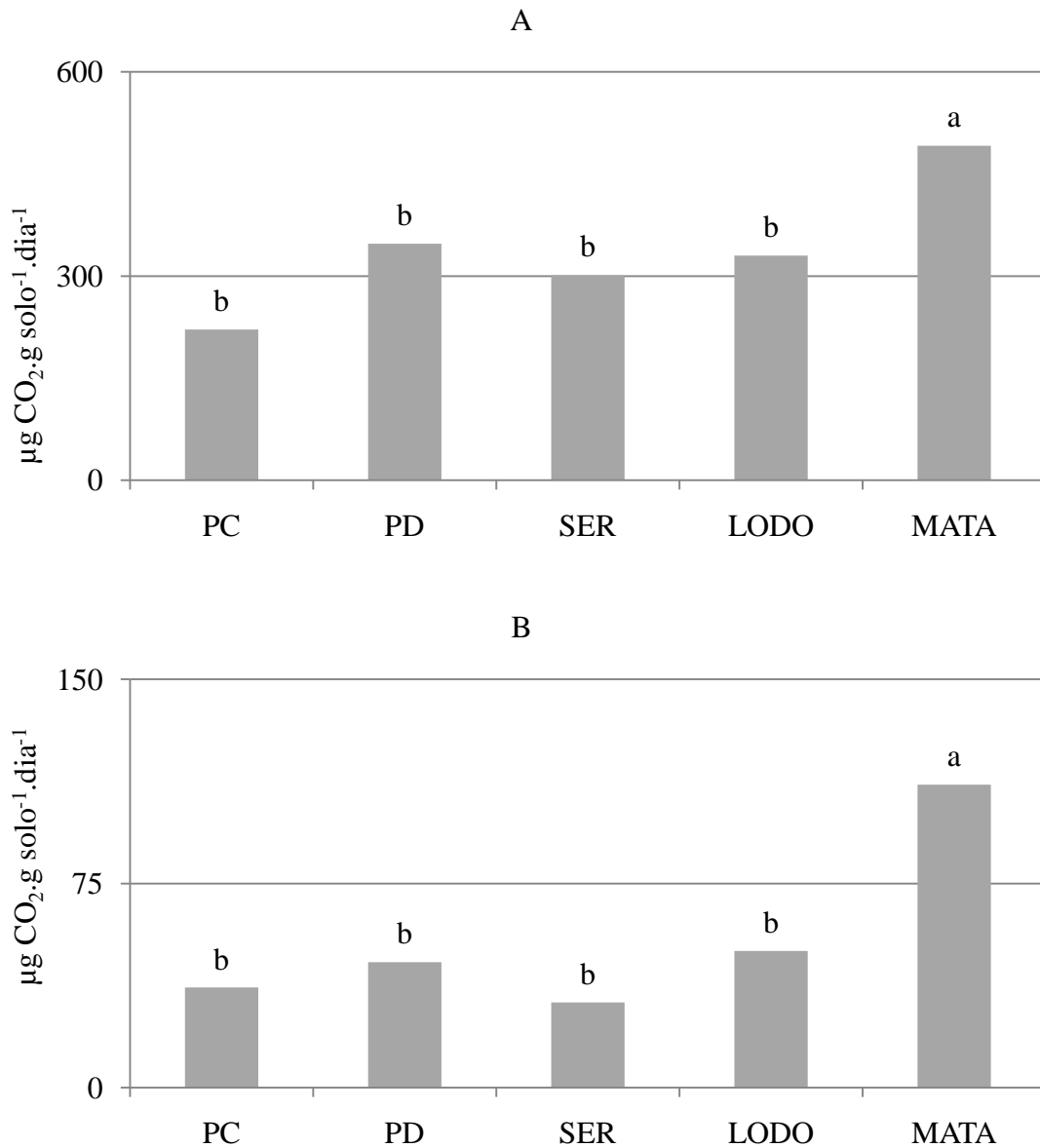


**Figura 8:** Número de unidades formadoras de colônias (ufcs) das bactérias (médias das três amostragens) nos (A) macroagregados e (B) microagregados nos diferentes usos de solo. Letras diferentes indicam significância pelo teste t a 5% de probabilidade. Dados originais, transformados em log x para a análise de variância. PC: plantio convencional; SER: cultivo de seringueira; PD: plantio direto; LODO: aplicação de 10 Mg.ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto; MATA: solo sob floresta tropical semidecídua.



**Figura 9:** Número de unidades formadoras de colônias (ufcs) das bactérias nas diferentes épocas de amostragens nos (A) macroagregados e (B) microagregados nos diferentes usos de solo. Primeira amostragem, setembro/2007; segunda, maio/2008; terceira, setembro/2008. Letras diferentes, dentro de cada amostragem, indicam significância pelo teste t a 5% de probabilidade. Dados originais, transformados em log x para a análise de variância. PC: plantio convencional; SER: cultivo de seringueira; PD: plantio direto; LODO: aplicação de 10 Mg.ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto; MATA: solo sob floresta tropical semidecídua.

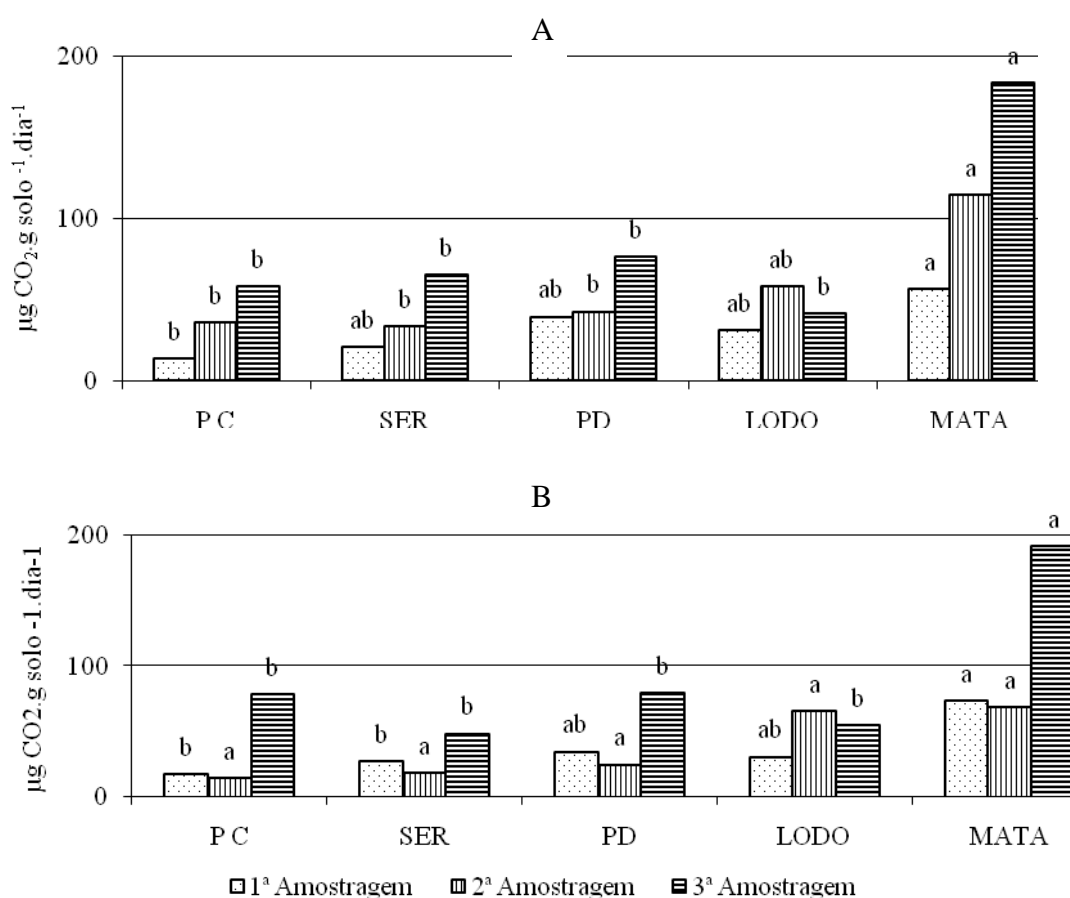
Quanto à atividade respiratória das bactérias, avaliada pela liberação de CO<sub>2</sub> (Figura 10), observou-se que somente o uso do solo com mata nativa foi significativamente diferente em relação aos outros usos, tanto nos macroagregados como nos microagregados.



**Figura 10:** Liberação de CO<sub>2</sub> pelas bactérias (média das três amostragens), nos diferentes usos do solo. Letras diferentes indicam significância pelo teste t a 5% de probabilidade. PC: plantio convencional; SER: cultivo de seringueira; PD: plantio direto; LODO: aplicação de 10 Mg.ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto; MATA: solo sob floresta tropical semidecídua.

Nos macroagregados, na primeira amostragem (Figura 11 A), ocorreu diferença significativa entre o uso do solo com mata nativa e o plantio convencional, os outros usos do solo não diferiram entre si e não diferiram dos dois primeiros. Na segunda e na terceira amostragens a mata foi o uso do solo em que as bactérias respiraram mais em relação aos outros usos, que não diferiram entre si.

Nos microagregados (Figura 11 B), a respiração das bactérias na primeira amostragem foi maior na mata que não foi diferente estatisticamente dos tratamentos com lodo de esgoto e plantio direto. Os outros tratamentos não diferiram entre si. Na segunda amostragem não houve diferença estatística entre os tratamentos. Na terceira amostragem as bactérias respiraram mais na mata e não houve diferença estatística entre os outros tratamentos. FLIEßBACH & MÄDER (2000), estudando o efeito da adição de lodo de esgoto ao solo, observaram que esse tratamento pode estimular, através de aumento de carbono orgânico e nutriente, como também inibir, pela presença de substâncias xenobióticas a atividade microbiana no solo.



**Figura 11:** Liberação de CO<sub>2</sub> pelas bactérias nas diferentes épocas de amostragens nos (A) macroagregados e (B) microagregados nos diferentes usos de solo. Primeira amostragem, setembro/2007; segunda, maio/2008; terceira, setembro/2008. Letras diferentes, dentro de cada amostragem, indicam significância pelo teste t a 5% de probabilidade. PC: plantio convencional; SER: cultivo de seringueira; PD: plantio direto; LODO: aplicação de 10 Mg.ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto; MATA: solo sob floresta tropical semidecídua.

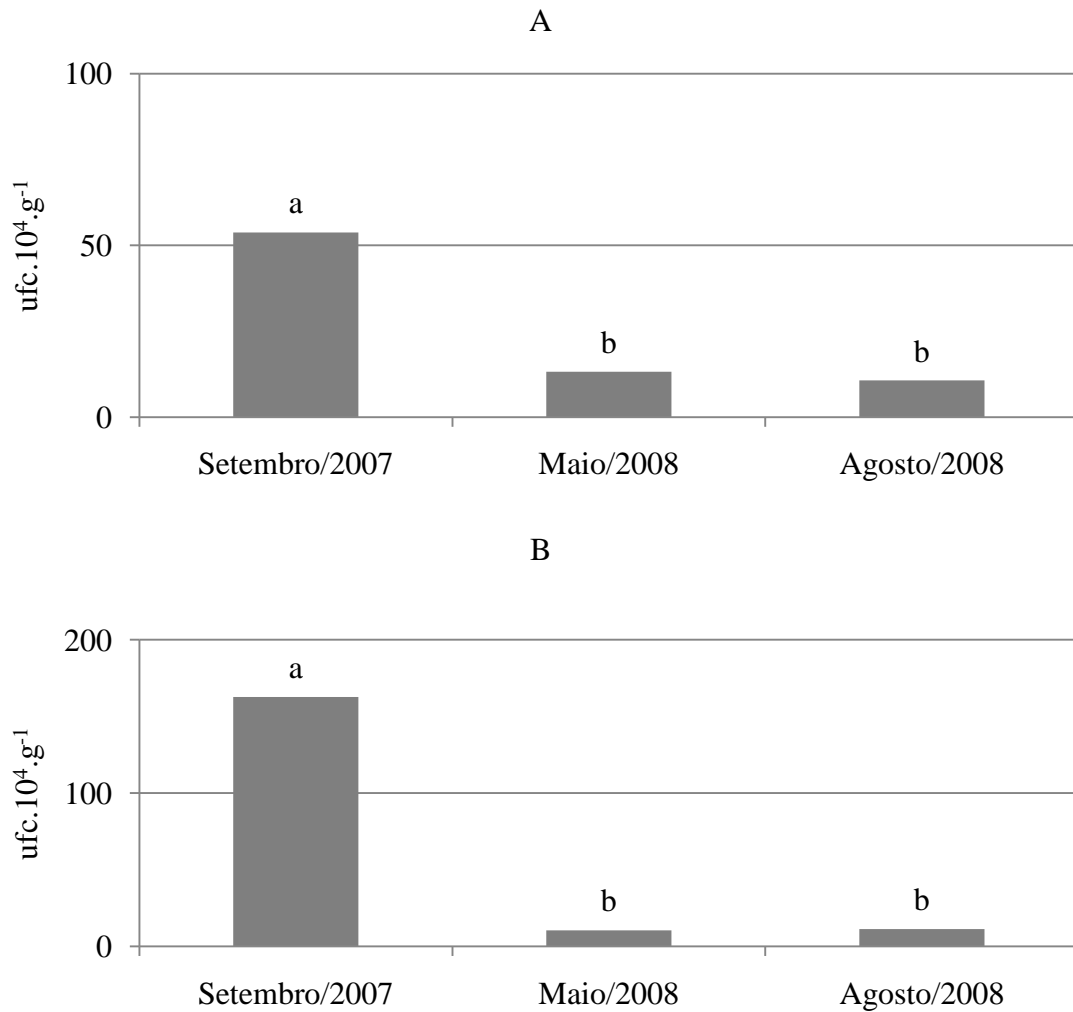
O que se observou neste trabalho foi que não houve marcante aumento de respiração nas amostras de solo que sofreu adição de lodo de esgoto em relação aos outros tratamentos, tanto para fungos quanto para bactérias. Ainda há controvérsias do efeito da aplicação do lodo de esgoto no solo em diversos trabalhos. MELO et al. (1994) afirmam que os efeitos da adição de lodo de esgoto no solo podem ser temporários em solos tropicais.

Já OLIVEIRA et al. (2002) concluíram que, ao longo do tempo, aplicação de doses crescentes de lodo de esgoto aumenta o teor de carbono orgânico no solo, contribuindo para o crescimento e a atividade da microbiota do solo.

Segundo SCHULTEN & HEMPFLING (1992) a microbiota do solo é reduzida em solos onde há um cultivo intenso, com uso de arado e grade, que facilitam o rápido consumo da matéria orgânica do solo, justamente pelos microrganismos. CHAN et al. (1992) observaram que em solos revolvidos por arado e grade há uma intensa atividade da microbiota do solo; depois de consumir a matéria orgânica há uma diminuição de microrganismos.

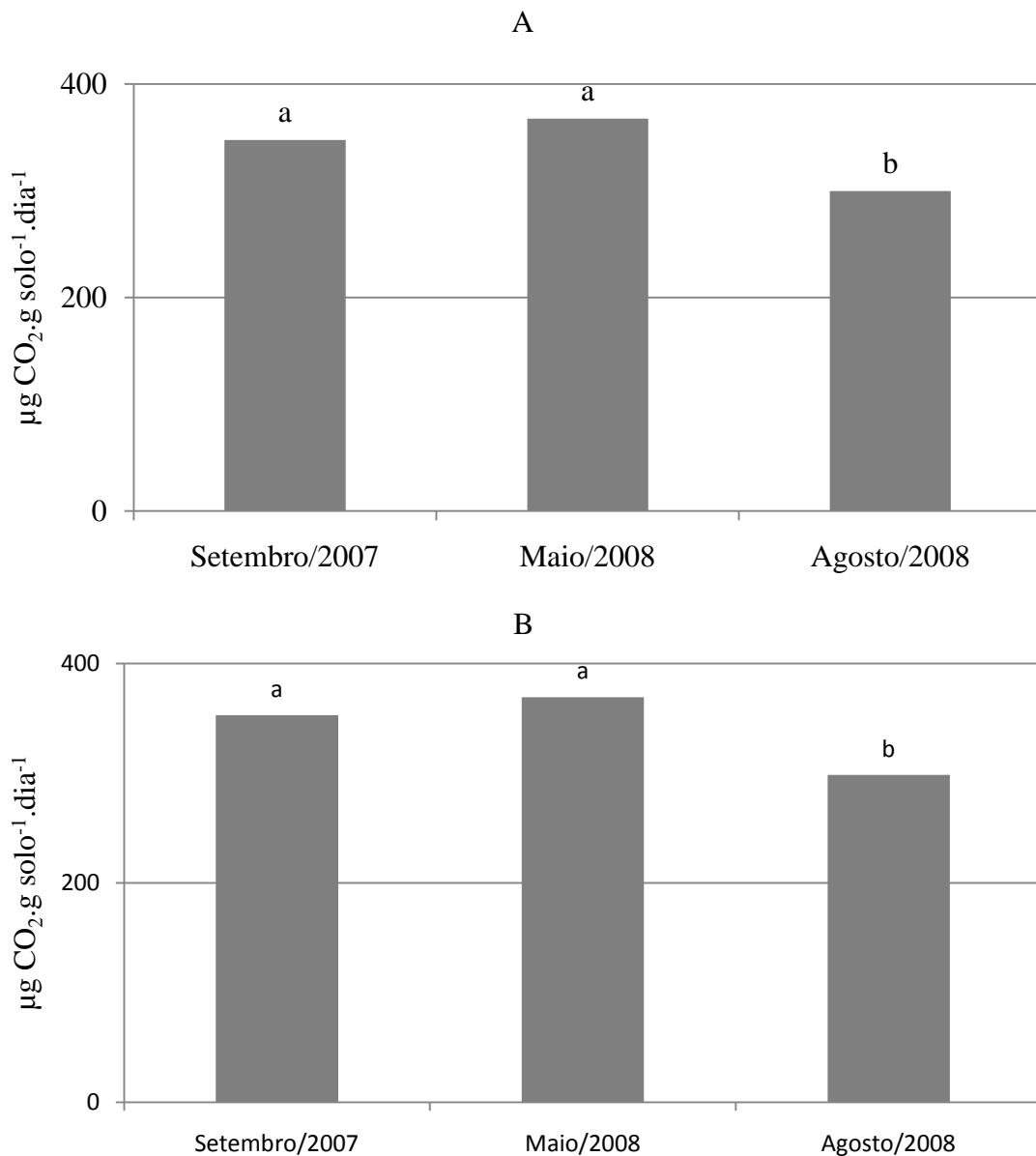
#### **4.5 Efeito da Época da Amostragem na Comunidade Microbiana do Solo.**

A análise das médias do número de ufc's dos fungos em todos os usos do solo mostrou que na primeira amostragem o número dos fungos foi significativamente maior em relação às outras duas épocas de amostragem, tanto nos macroagregados como nos microagregados (Figura 12). É uma condição difícil de explicar, particularmente quando se consulta a tabela 1, em que são apresentados alguns dados climatológicos prevalentes nas épocas das amostragens. Antes da primeira amostragem houve um período de seca de mais de 30 dias. Na segunda e na terceira amostragem o acúmulo de chuva 30 dias antes da amostragem foi de 147,5 e 65,4 mm respectivamente. Portanto, nas duas últimas amostragens o solo estava mais úmido em relação à primeira.



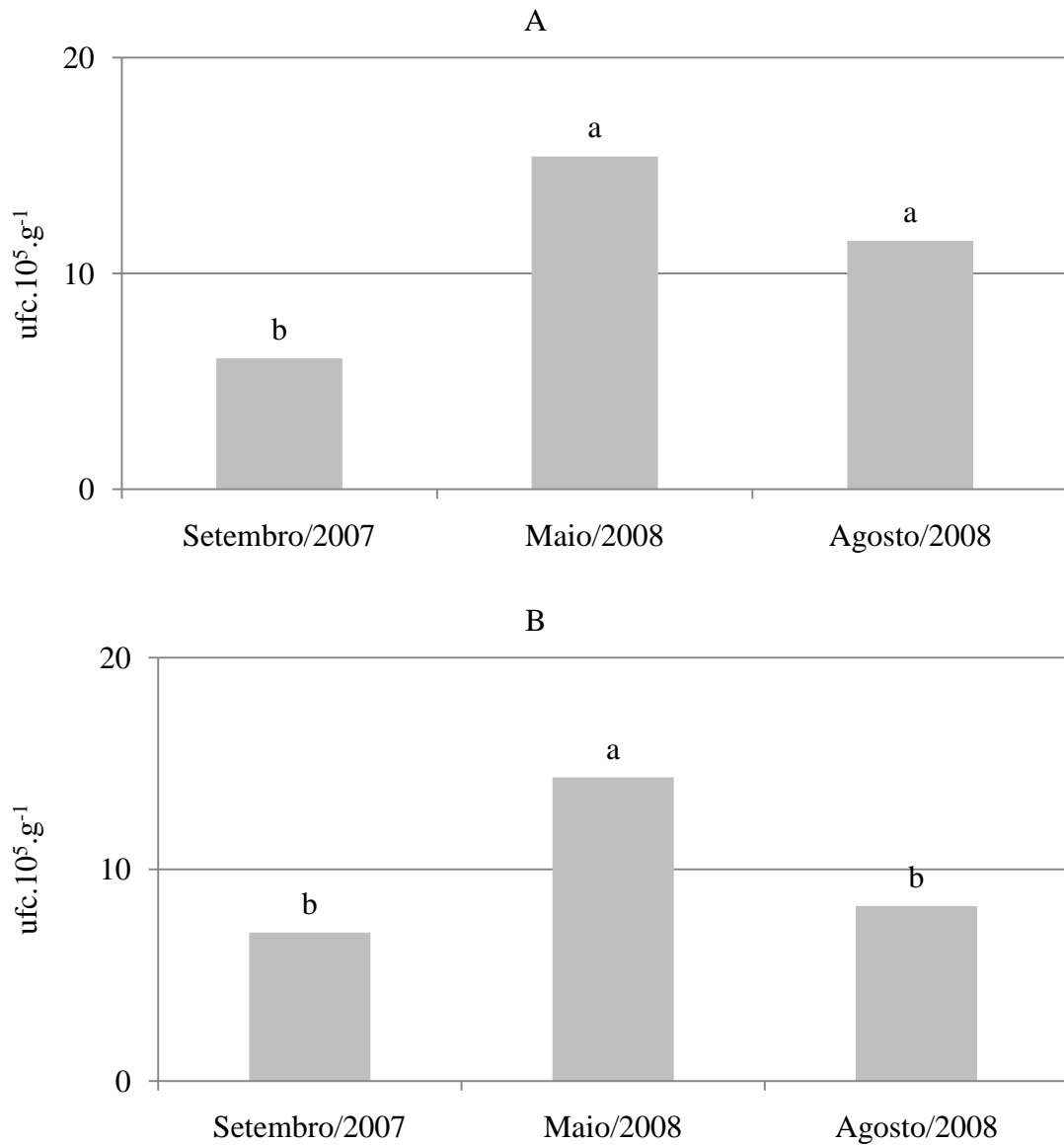
**Figura 12:** Unidades formadoras de colônias (ufcs) dos fungos em cada época de amostragem em todos os usos do solo. Letras diferentes indicam significância pelo teste t a 5% de probabilidade. Dados originais, transformados em  $\log x$  para a análise de variância.

Porém, quando se analisa a média da liberação de  $\text{CO}_2$  dos fungos, em cada época de amostragem observa-se que não houve diferença significativa entre a primeira e a segunda amostragem, em que houve respiração significativamente maior em relação à terceira amostragem, tanto nos macroagregados como nos microagregados (Figura 13). Portanto, em que pese o número significativamente menor de fungos na segunda amostragem em relação à primeira, a atividade respiratória desses fungos não diferiu entre essas duas amostragens.



**Figura 13:** Liberação de CO<sub>2</sub> pelos fungos em cada época de amostragem em todos os usos do solo. Letras diferentes indicam significância pelo teste t a 5% de probabilidade.

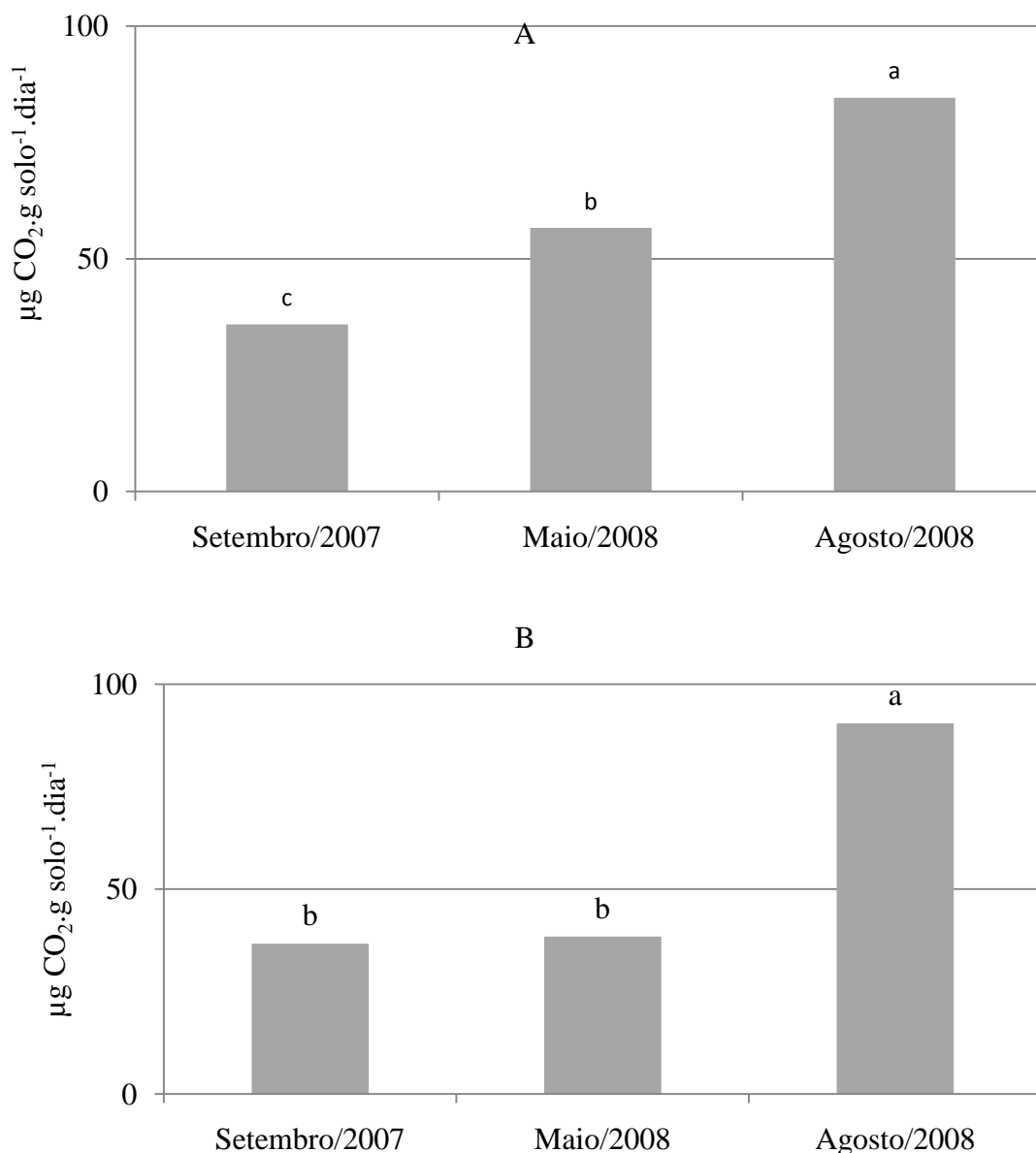
A média do número de bactérias no solo, nos macroagregados – mas não nos microagregados – em cada época de amostragem em todos os usos do solo, mostrou que na segunda e terceira amostragem o número de bactérias foi maior em relação à primeira (Figura 14 A). Diferentemente do caso dos fungos, a umidade do solo no momento da amostragem e o acúmulo de chuva no mês anterior à amostragem pode ter desfavorecido o crescimento das bactérias no solo.



**Figura 14:** Unidades formadoras de colônia (ufcs) das bactérias em cada época de amostragem, em todos os usos do solo. Letras diferentes indicam significância pelo teste t a 5% de probabilidade. Dados originais, transformados em  $\log x$  para a análise de variância.

Quando se avalia a liberação de  $CO_2$  pelas bactérias, em cada época de amostragem, observa-se que na terceira amostragem, a atividade bacterianas foi significativamente maior, nos macroagregados e nos microagregados separadamente (Figura 15).





**Figura 15:** Liberação de CO<sub>2</sub> pelas bactérias em cada época de amostragem, em todos os usos do solo. Letras diferentes indicam significância pelo teste t a 5% de probabilidade.

#### 4.6 Efeito da Microbiota do Solo na Estabilidade dos Macroagregados

A atividade respiratória fúngica correlacionou-se positivamente com os macroagregados em todas as épocas de amostragem, sendo responsável por até 80,6% da formação e estabilidade dos macroagregados (Tabela 3). BOSSUYT et al. (2001),

estudando a influência da microbiota do solo e a qualidade de resíduos orgânicos na estabilidade de agregados, concluíram que a formação dos macroagregados foi influenciada positivamente pela atividade de fungos, mas não foi influenciado significativamente pela qualidade de resíduo orgânico ou atividade bacteriana. Com seu crescimento, os fungos envolvem com as hifas as partículas maiores do solo, iniciando a formação dos macroagregados, já que o micélio forma uma espécie de emaranhado entre as partículas do solo (MOLOPE et al., 1987; OADES, 1993; TISDALL et al., 1997). Assim como neste trabalho, a adição de fungicida reduziu a formação de macroagregados, independentemente da fonte e da relação C/N da matéria orgânica, de acordo com o que foi relatado por BOSSUYT et al. (2001). Há outros resultados de pesquisa que confirmam que fungos têm uma influência grande sobre a estabilidade de macroagregados (TISDALL & OADES, 1982; BEARE et al., 1997, BOSSUYT et al., 2001). No entanto, o número de fungos não mostrou qualquer correlação com o DMP, indicando que a melhor forma de se avaliar a participação desse grupo microbiano na agregação do solo é a liberação de CO<sub>2</sub>.

Com relação às bactérias, sua respiração também se correlacionou positivamente – à exceção de uma amostragem – com o DMP dos macroagregados. Aliás, é interessante notar que, para macroagregados, o número de bactérias correlacionou-se negativamente com o DMP na primeira amostragem e positivamente na terceira. Na verdade, só não se correlacionou com a agregação do solo na segunda avaliação feita para macroagregados. Esses resultados são comparáveis com os encontrados por BOSSUYT et al. (2001), que, estudando a formação e estabilização de agregados em laboratório, concluíram que a supressão de bactérias com oxytetracyclina reduziu a formação e estabilização de macroagregados em água. Outros trabalhos sugerem que polissacarídeos produzidos por bactérias são também importantes na estabilização de macroagregados (BURNS & DAVIES, 1986; BEARE et al., 1997). TISDALL et al. (1997) testando a hipótese de fungos poderem estabilizar agregados compararam a formação e a estabilidade de agregados entre fungos micorrízicos, *Rhizoctonia solani* e *Hyalodendron sp*. Nesse trabalho ele comprovou que as hifas de *Rhizoctonia* atuam na formação e estabilização de macroagregados do solo.

**Tabela 3** - Correlação entre a respiração e os números de fungos e de bactérias e o diâmetro médio ponderado dos macroagregados e microagregados.

Variável	Diâmetro Médio Ponderado (DMP)			
	Média das amostragens	1ª amostragem	2ª amostragem	3ª amostragem
Macroagregados				
Respiração fungos	0,771*	0,798*	0,782*	0,806*
Número fungos	-0,109	-0,222	0,209	-0,059
Respiração bactéria	0,521*	0,375	0,525*	0,789*
Número bactérias	0,163	-0,594*	0,236	0,560*
Microagregados				
Respiração fungos	0,575*	0,508*	0,728*	0,795*
Número fungos	0,449*	0,675*	0,627*	-0,145
Respiração bactérias	0,420*	0,548*	0,344*	0,659*
Número bactérias	0,049	-0,309	0,248	0,520*

\* Correlação significativa a 5%.

#### 4.7 Efeito da Microbiota do Solo na Estabilidade dos Microagregados

Nos microagregados, tanto a atividade respiratória fúngica quanto a bacteriana no solo tiveram correlação positiva com o DMP em todas as amostragens (Tabela 3). O número dos fungos do solo mostrou correlação positiva na primeira e segunda amostragem, porém na terceira amostragem não houve efeito do número de fungos na formação e estabilidade dos agregados. Quanto ao número de bactérias, ocorreu o inverso, havendo correlação significativa apenas na terceira amostragem.

HARRIS et al. (1963) sugerem que bactérias estabilizam microagregados que podem ser subsequentemente aglutinados em macroagregados pelo emaranhado de hifas de fungos. Parte do aumento da estabilidade de agregados pode ser ligada à produção de polissacarídeos pelas bactérias, que estabilizam os microagregados do solo.

A comunidade bacteriana age tanto mecanicamente, pelo aumento do número de indivíduos em microporos do solo, que ligam a fração mineral, aproximando-a e reorganizando-a de maneira a formar agregados, como quimicamente, pela produção de polissacarídeos (FOSTER, 1978, citado por DUFRANC et al., 2004). Polissacarídeos

são na sua maioria substâncias hidrofóbicas, resultando em estabilidade em água. Esses polissacarídeos atuam como “cola” nas partículas do solo, formando os microagregados, que posteriormente são aglutinados em macroagregados.

Os resultados apresentados mostram que há uma correlação entre a atividade de fungos e a atividade das bactérias com o DMP dos agregados, macroagregados e microagregados (Tabela 3). Em todos os usos do solo a liberação de CO<sub>2</sub> de fungos foi maior que liberação de CO<sub>2</sub> das bactérias. Na mata, onde o DMP ponderado foi maior que todos os outros usos do solo e em todas as épocas, também a respiração de fungos foi maior que das bactérias, indicando uma maior atividade dos fungos na estabilidade dos agregados e macroagregados. Esses resultados concordam com SPARLING et al. (1992) que relacionaram o aumento da biomassa microbiana com o aumento da estabilidade de agregados em solos argilosos. Neste trabalho não se avaliou a quantidade de carbono da biomassa microbiana (CBM), mas é possível imaginar que, de maneira geral, ao aumento da atividade respiratória corresponda aumento no CBM, uma vez que a atividade microbiana direciona-se, em termos gerais, a sua multiplicação e consequente aumento do CBM (CRITTER et al., 2002.).

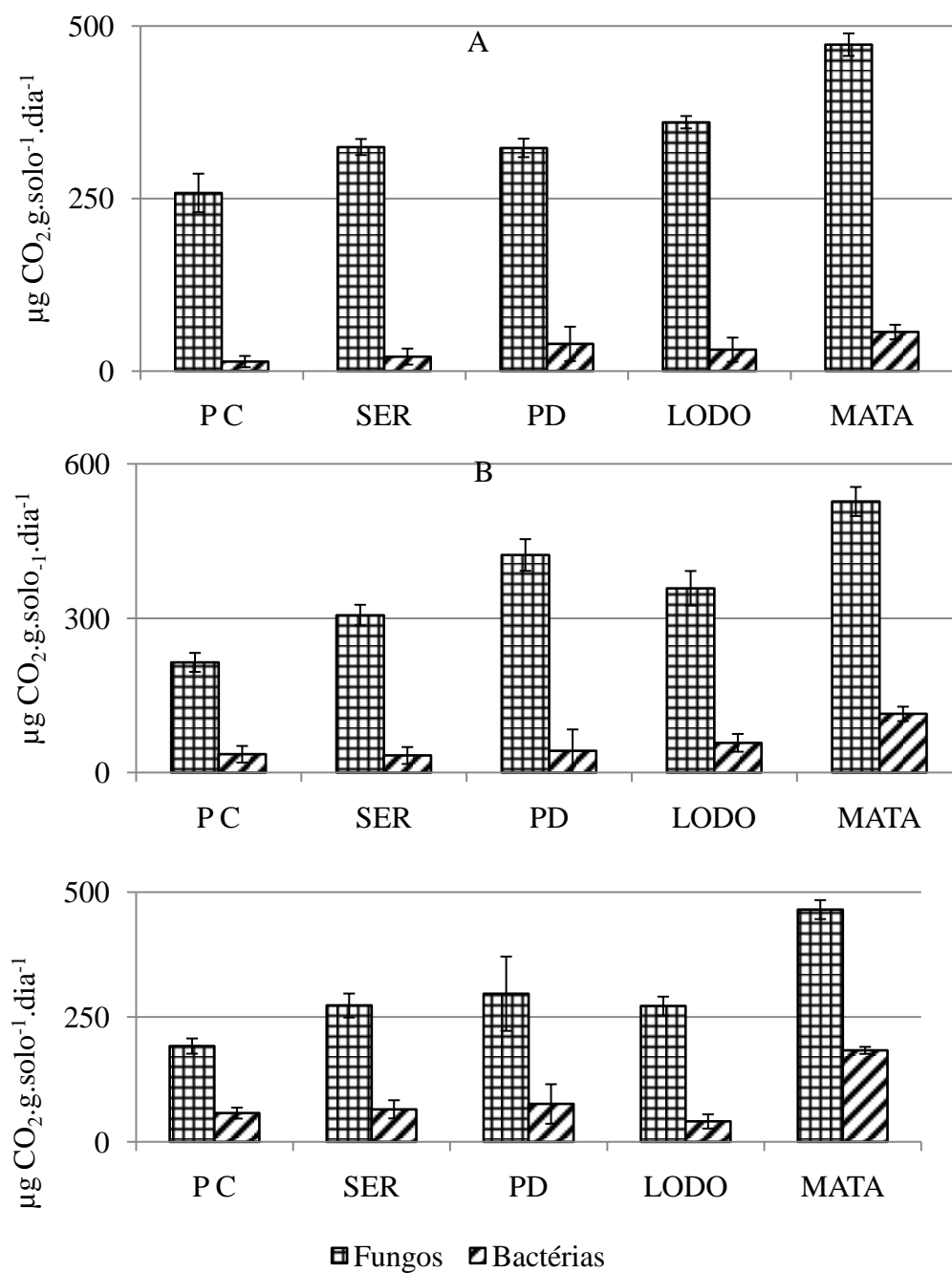
Nesse estudo não se avaliou a formação dos agregados e sim a sua estabilidade via úmida, e se pôde observar que os fungos foram importantes na estabilidade dos agregados. Esse resultado concorda com outros da literatura que citam que os fungos, como os micorrízicos e outros saprófitas, são os microrganismos que mais atuam na estabilidade de agregados no solo. Como exemplo pode-se citar o trabalho de DORIOZ et al. (1993), que verificaram por imagem de microscópio que fungos saprofitos crescidos em argila apresentavam hifas que compactaram e reorientaram as partículas de argila de forma que eram paralelas à superfície de cada hifa. Também há o trabalho clássico de TISDALL & OADES (1982), que concluíram que as hifas dos fungos micorrízicos atuam na agregação do solo, como se fossem teias amarrando as partículas do solo e aumentando a estabilidade dos agregados.

BOSSUYT et al. (2001) testaram em laboratório a formação e estabilidade de agregados nos quais era suprimida a atividade de fungos e bactérias e chegaram a resultados semelhantes. No experimento os autores utilizaram fungicida e bactericida no solo para inibir a atividade de fungos e bactérias e duas fontes de matéria orgânica, uma com alta C:N e outra com baixa C:N, e colocaram o solo dentro de cilindros por um período de 14 dias. Os autores concluíram que nos tratamentos com fungicida os

agregados não eram estáveis na água, sendo rapidamente destruídos enquanto que nos tratamentos com bactericida os agregados eram estáveis em água.

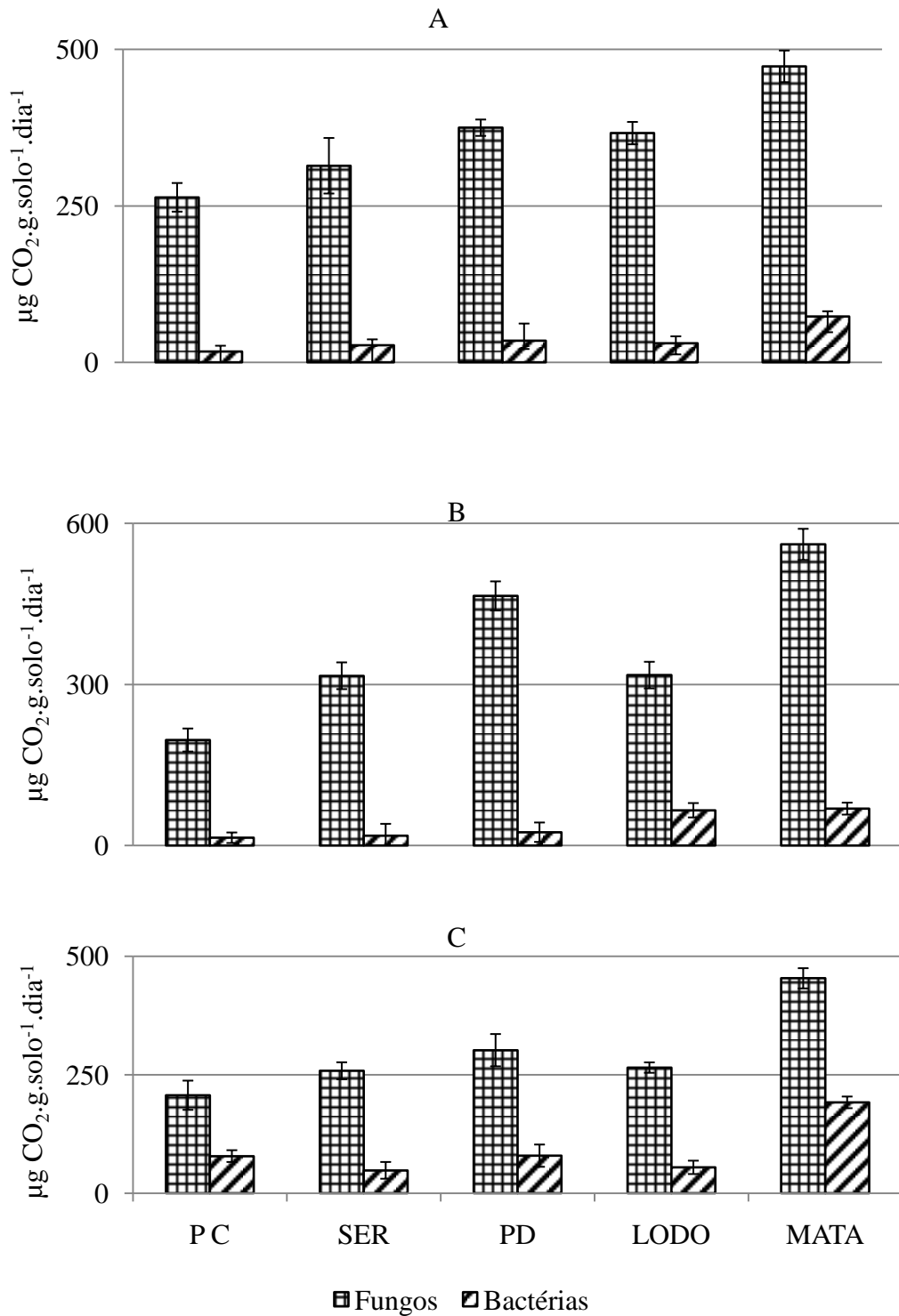
GUGGENBERGER et al. (1999) também chegaram à conclusão em seu estudo que emaranhados de hifas de fungos atuam na estabilidade de agregados. Os agregados estáveis em água são aglutinados por substâncias ligantes, parecidas com cola que unem as partículas do solo. Geralmente essas substâncias são produzidas por microrganismos na decomposição da matéria orgânica. Neste estudo, esse fenômeno pode ter acontecido, pois os resultados mostram que dentro dos agregados estáveis houve uma maior atividade dos fungos em relação à atividade das bactérias.

Nos macroagregados a atividade dos fungos foi maior que a atividade das bactérias em todas as épocas de amostragens e em todos os tratamentos (Figura 16), mostrando que os fungos têm uma atividade mais expressiva na estabilidade dos macroagregados. Resultados semelhantes foram encontrados por BOSSUYT et al. (2001), conforme comentado acima. As hifas de fungos enlaçam as partículas primárias e secundárias do solo, formando e estabilizando os macroagregados do solo (TISDAL & OADES, 1982; GUGGENBERGER et al., 1999). Já DUFRANC et al. (2004) encontraram resultados opostos ao deste trabalho, concluindo que as bactérias são os principais agentes microbiano na estabilidade dos agregados. Em seu estudo, os autores avaliaram os números de ufc's de fungos e bactérias, utilizando meios específicos para cada comunidade de microrganismos, pelo método da diluição e plaqueamento, sem avaliar, contudo, a atividade desses grupos microbianos. Como mostrado na tabela 3, o número de bactérias também se correlaciona com o DMP dos agregados na primeira e na terceira amostragem; porém quando comparamos a atividade medida pela liberação de CO<sub>2</sub> verificamos que os fungos têm uma atividade maior, sendo o principal agente microbiano na estabilidade dos agregados.



**Figura 16** - Liberação de CO<sub>2</sub> pelos fungos e bactérias nos macroagregados na (A) primeira amostragem, em setembro de 2007; (B) segunda amostragem, em maio de 2008 e a (C) terceira, em setembro de 2008. Barras de erros indicam probabilidade a 1%. PC: plantio convencional; SER: cultivo de seringueira; PD: plantio direto; LODO: aplicação de 10 Mg.ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto; MATA: solo sob floresta tropical semidecídua.

Nos microagregados os fungos também tiveram uma atividade maior que as bactérias (Figura 17). Esse resultado difere da maioria dos resultados encontrados em literatura. Segundo o BOSSUYT et al. (2001) as bactérias têm uma atuação maior na estabilidade de microagregados, porém, diferente deste estudo, os microagregados estudados por BOSSUYT et al. (2001) eram menores que 250  $\mu\text{m}$ , enquanto que o tamanho dos microagregados estudados neste trabalho eram de 2.000 a 4.000  $\mu\text{m}$ . Essa diferença de tamanho dos agregados em relação aos estudados por BOSSUYT et al. (2001) pode ser a razão de os fungos terem atividade maior que as bactérias nos microagregados.



**Figura 17** - Liberação de  $\text{CO}_2$  por fungos e bactérias nos microagregados na (A) primeira amostragem, realizada em setembro de 2007; (B) segunda amostragem, em maio de 2008 e a (C) terceira, em setembro de 2008. Barras de erros indicam probabilidade a 1%. PC: plantio convencional; SER: cultivo de seringueira; PD: plantio direto; LODO: aplicação de  $10 \text{ Mg.ha}^{-1}$  de lodo de esgoto; MATA: solo sob floresta tropical semidecídua.



## 5 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos permitem concluir que:

- a) Tanto a atividade fúngica quanto a atividade bacteriana têm participação na estabilidade dos macroagregados e microagregados do solo, sendo a atividade fúngica mais expressiva.
- b) Os diferentes usos do solo influenciam o diâmetro médio ponderado dos macroagregados, sendo que de maneira geral os macroagregados têm um DMP maior em solos de mata em relação ao uso com plantio convencional.
- c) O número de microrganismos avaliado pelo método da diluição e plaqueamento não permite inferências confiáveis sobre participação da microbiota na agregação do solo
- d) Adicionalmente, num aspecto não previsto nos objetivos deste trabalho, concluiu-se pela importância da verificação da eficiência dos inibidores de fungos e de bactérias antes da conclusão de que essas comunidades microbianas não estão realmente presentes nas amostras de solo avaliadas

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEF, K. Soil respiration. In: **Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry**. ALEF, K.; NANNIPIERI, P. (eds.). Academic Press, p.214-218, 1995.

ALVARENGA M. I. N.; SIQUEIRA J.O.; VIDE A. C. Teor de carbono, biomassa microbiana, agregação e micorriza em solos de cerrado com diferentes manejos. **Ciência Agrotecnologia**, Lavras, v.23, n.3, p.617-625, 1999.

BÄÄTH, E.; ANDERSON, T.H. Comparison of soil fungal/bacterial ratios in a pH gradient using physiological and PLFA-based techniques. **Soil & Biochemistry** 35 955 – 963, 2003.

BARROTI, G.; NAHAS, E. População microbiana total e solubilizadora de fosfato em solo submetido a diferentes sistemas de cultivo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.10, p.2043-2050, out. 2000.

BASTOS, R.S.; MENDONÇA, E.S.; ALVAREZ V, V. H.; CORRÊA, M.M.; COSTA, L.M. Formação e estabilização de agregados do solo influenciados por ciclos de umedecimento e secagem após adição de compostos orgânicos com diferentes características hidrofóbicas . **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 29:21-31, 2005.

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

BEARE, M.H.; HU, S.; COLEMAN, D.C.; HENDRIX, P.F. Influences of mycelial fungi on soil aggregation and organic matter storage in conventional and no-tillage soils. **Applied Soil Ecology**, 5, 211–219, 1997.

BOLTON JUNIOR, H.; ELLIOTT, L.F.; PAPENDICK, R.I.; BEZDICEK, D.F. Soil microbial biomass and selected soil enzyme activities: effect of fertilization and cropping practices. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v.17, n.3, p.297-302, 1985.

BOSSIO, D.A.; SCOW, K.M.; GUNAPALA, N.; GRAHAM, K.J. Determinants of soil microbial communities: effects of agricultural management, season, and soil type on phospholipid fatty acid profiles. **Microbial Ecology**, New York, v.36, n.1, p.1-12, 1998.

BOSSUYT, H; DENEFF K.; SIX J.; FREY S.D.; MERCKX R.; PAUSTIAN K. Influence of microbial populations and residue quality on aggregate stability. **Applied Soil Ecology** 16 195–208. 2001.

BURNS, R.G.; DAVIES, J.A. The microbiology of soil structure. In: Lopez-Real, J.M., Hodges, R.D. (Eds.), **The Role of Microorganisms in a Sustainable Agriculture**. A.B. Academic Publishers, Berkhamstead, UK, pp. 9–27, 1986.

CAMPOS, B.C.; REINERT, D.J.; NICOLODI, R.; RUEDELL, J.; PETRERE, C. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.19, n.1, p.121-126, 1995.

CAVAGNARO, T.R.; JACKSON, L.E.; SIX, J.; FERRIS, H.; GOYAL,S.; ASAMI, D.; SCOW, K.M. Arbuscular mycorrhizas, microbial communities, nutrient availability, and soil aggregates in organic tomato production. **Plant and Soil**. v. 282, p. 209–225; 2006.

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

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 de amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 22:527-538, 1998.

CHAN, K.Y.; ROBERTS, W.P.; HEENAN, D.P. Organic carbon and associated soil properties of a Red Earth after 10 years of Rotation under different stubble and tillage practices. **Australian Journal of Soil Research**, v.30, p.71-83, 1992.

CHANEY, K.; SWIFT, R.S. The influence of organic matter on the stability of some British soils. **Joural Soil Scienc**, V. 35, p. 223- 230, 1984.

CORREA, J. C. Efeito de sistemas de cultivo na estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho-Amarelo em Querência, MT. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v. 37, n. 2, p. 203-209, fev. 2002.

CRITTER, S.A.M.; FREITAS, S.S.; AIROLDI, C. Calorimetry versus respirometry for the monitoring of microbial activity in a tropical soil. **Applied Soil Ecology**, v. 18, p. 217-227, 2001.

CRITTER, S.A.M.; FREITAS, S.S.; AIROLDI, C. Microbial biomass and microcalorimetric methods in tropical soils. **Thermochimica Acta**, v. 394, p. 145-154, 2002.

DA ROS, C.O.; SECCO D.; FIORIN, J. E.; PETRERE, C.; CADORE, M.A.; PARA, L. Manejo do solo a partir do campo nativo: efeito sobre a forma e estabilidade da estrutura ao final de cinco anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21 n. 2, 241-247. 1997.

DEGENS, B.P.; SPARLING, G.P.; ABBOTT, L.K. The contribution from hyphae, roots and organic C involved in the macro-aggregation of a sandy loam soil under long-term clover-based or grass pastures. **European Journal of Soil Science** v.45, 459-468, 1994.

DE MARIA, I.C.; KOCSSI, M.A.; DECHEN, S. C. F. Agregação do solo em área que recebeu lodo de esgoto. **Bragantia**, Campinas, v.66, n.2, p.291-298, 2007

DORIOZ, J.M.; ROBERT, M.; CHENU, C. The role of roots, fungi and bacteria on clay particle organisation. An experimental approach. **Geoderma** 56, 179 -94, 1993.

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 estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 28: 505-517, 2004.

ELMHOLT, S.; SCHOJØNNING, P.; MUNKHOLM, L.J.; DEBOSZ, K. Soil management effects on aggregate stability and biological binding. **Geoderma**. v.144, p. 455–467; 2008.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISAS AGROPECUÁRIA - EMBRAPA . Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2ª.ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2006, 306 p.

FERREIRA, D.F. Análises estatísticas por meio do SISVAR (Sistema para análise de variância) para Windows versão 4.0. **In: Reunião Anual da Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria**, 45., São Carlos, 2000. Anais. São Carlos, Universidade de São Carlos. Resumos, p.255-258.

FERREIRA, G.M. **Atividade microbiana e agregação de um Latossolo Vermelho Distroférico em Campinas, SP, sob usos e manejos distintos**. 2008. 70 f. Dissertação (Mestrado em Gestão de Recursos Agroambientais) – Pós-Graduação– IAC.

FLIEßBACH, A.; MÄDER, P. Microbial biomass and size-density fractions differ between soils of organic and conventional agricultural systems. **Soil Biology and Biochemistry**, v.32, p.757-768, 2000.

FRASER, D.G.; DORAN, J.W.; SAHS, W.W.; LESOING, G.W. Soil microbial population and activities under conventional and organic management. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.17, p.585-590, 1988.

GARCIA-ORENES. F.; GUERRERO, C.; MATAIX-SOLERA, J.; NAVARRO-PEDRENO, J.; GOMEZ, I.; MATAIX-BENEYTO, J. Factors controlling the aggregate stability and bulk density in two different degraded soils amended with biosolids. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.82, n.1, p.65-76, 2005.

GHINI, R.; FREITAS, S.S.; OLIVEIRA, A.R. Amostragem de solo para análises microbiológicas. In: FILIZOLA, H.F.; GOMES, M.A.F.; SOUZA, M.D.(eds.). **Manual de procedimentos de coleta de amostras em áreas agrícolas para análise da qualidade ambiental: solo, água e sedimento**. Cap. 06. Embrapa meio ambiente. Jaguariúna. 1ª ed. 2006. 169 p

GOLCHIN, A.; BALDOCK, J.A.; OADES J.M. A model linking organic carbon decomposition, chemistry, and aggregate dynamics. In R Lal, JM Kimble, RF Follet, BA Stewart: **Soil processes and the carbon cycle**. Advances in Soil Science Ch. 17, pp. 245–266. 1997.

GOSS, M.J.; REID, J.B. Influence of perennial ryegrass roots on aggregate stability. **Agricultural Research Council Letcombe Laboratory Annual Report**, p.24-25, 1979.

GUGGENBERGER, G.; ELLIOTT, E.T.; FREY, S.D.; SIX, J.; PAUSTIAN, K. Microbial contributions to the aggregation of a cultivated grassland soil amended with starch. **Soil Biology and Biochemistry**, 31:407-419, 1999.

HARRIS, R. F.; ALLEN, O.N.; CHESTERS, G.; ATTOE, O. J. Evaluation of microbial activity in soil aggregate stabilization and degradation by the use of artificial aggregates. **Soil Science Society American**. 27, 542-5, 1963.

HILLEL, D. **Fundamentals of soil physics**. New York, Academic Press, 1980. 413p.

HUNGRIA, M.; ANDRADE, D.; COLOZZI-FILHO, A. Interação entre microrganismos do solo, feijoeiro e milho em monocultura ou consórcio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília. v.41, n.10, p.1005-1014, out. 2005.

HAFEEL, K.; RATE A.W.; ABBOTT L. Calibration of the substrate induced respiration and selective inhibition techniques for fungal bacterial ratios in Western Australian soils. **Australian New Zealand Soils Conference**, 5 – 9 December 2004, University of Sydney, Australia. 2004.

KEMPER, W.D.; CHEPIL, W.S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C.A.; EVANS, D.D.; WHITE, J.L.; ENSMINGER, L.E. & CLARK, F.E. (Eds.). **Methods of soil analysis – Physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling**. Madison, American Society of Agronomy, 1965.

KIRCHNER, M.J.; WOLLUM, A.G.; KING, L.D. Soil microbial populations and activities in reduced chemical input agroecosystems. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.57, n.5, p.1289-1295, 1993.

MARCHIORI JÚNIOR, M.; DE MELO, W. J. Alterações na matéria orgânica e na biomassa microbiana em solo de mata natural submetido a diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.6, p.1177-1182, jun. 2000.

MILLER, R. M.; JASTROW, J. D. Hierarchy of root and mycorrhizal fungal interactions with soil aggregation. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 22, n. 5, p. 579-584, 1990.

MELO, W.J.; MARQUES, M.O.; SANTIAGO, G.; CHELLI, R.A.; LEITE, S.A.S. Efeito de doses crescentes de lodo de esgoto sobre frações de matéria orgânica e CTC de um latossolo cultivado com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.18, p.449-455, 1994.

MIRANDA, J. C. C.; VILELA, L.; MIRANDA, L. N. Dinâmica e contribuição da micorriza arbuscular em sistemas de produção com rotação de culturas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, n.10, p.1005-1014, out. 2005

MOLOPE, M.B.; GRIEVE, I.C.; PAGE, E.R. Contributions by fungi and bacteria to aggregate stability of cultivated soils. **Journal Soil Science**, 38:71-77, 1987.

NICOU, R.; CHARREAU, C.; CHOPART, J. I. Tillage and soil physical properties in semi-arid West Africa. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.27, p. 125-147, 1993.

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

OJEDA, G.; ALCANÍS, J.M; BISSONNAIS, Y.L. Differences in aggregate stability due to various sewage sludge treatments on a Mediterranean calcareous soil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**. v.125 48-56, 2008.

OLIVEIRA, F.C.; MATTIAZZO, M.E.; MARCIANO, C.R.; ROSSETO, R. Efeitos de aplicações sucessivas de lodo de esgoto em um Latossolo Amarelo distrófico cultivado com cana-de-açúcar: carbono orgânico, condutividade elétrica, pH e CTC. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.26, p.505-519, 2002.

PERIN, A.; GUERRA, J.G.M.; TEIXEIRA, M.G.; PEREIRA, M.G.; FONTANA, A. Efeito da cobertura viva com leguminosas herbáceas perenes na agregação de um argissolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.713-720, 2002.

REID, J.B.; GOSS, M.J. Changes in the aggregate stability of a sandy loam effected by growing roots of perennial ryegrass (*Lolium perenne*). **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.31, p.325-328, 1980.

SALINAS-GARCIA, J.R.; HONS, F.M.; MATOCHA, J.E. Longterm effects of tillage and fertilization on soil organic matter dynamics. **Soil Science Society of America Journal**, v.61, p.152-159, 1997.

SCHULTEN, H.; HEMPFLING, R. Influence of agricultural soil management on humus composition and dynamics: classical and modern analytical techniques. **Plant and Soil**, v.142, p.259-271, 1992.

SHEPHERD, T.G.; SAGGAR S.; NEWMAN R. H.; ROS C.W.; DANDO J. L. Tillage-induced changes to soil structure and organic carbon fractions in New Zealand soils. **Australian Journal Soil Research**. v. 39, p.465–489 2001.

SILVA, I.F.; MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 22:113-117, 1998.

SOARES, E.M.B. **Impacto de aplicações sucessivas de lodo de esgoto sobre os compartimentos de carbono orgânico em latossolo cultivado com milho**. 82 p. Tese (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas). Faculdade de Agronomia, Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2005.

SOUZA, Z. M.; BEUTLER, A.N.; MELO, V.P.; MELO, W.J. Estabilidade de agregados e resistência à penetração em Latossolos adubados por cinco anos com biossólido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, n.1, p.117-123, 2005.

SPARLING, G.P.; SHEPHERD, T.G.; KETTLES, H.A. Changes in soil organic C, microbial biomass and aggregate stability under continuous maize and cereal cropping,



and after restoration to pasture in soils from the Manawatu region, New Zealand. **Soil and Tillage Research**, 24, 225–241, 1992.

TSADILAS, C.D.; MITSIOS, I.K.; GOLIA, E. Influence of biosolids application on some soil physical properties **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Oslo, v.36, n.4-6, p.709-716, 2005.

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

TISDALL, J.M. Possible role of soil microorganisms in aggregation in soils. **Plant and Soil** 159, 115–121, 1994.

TISDALL, J.M.; SMITH, S.E.; RENGASAMY, P. Aggregation of soil fungal hyphae. **Australian Journal Soil Research**. v 35, 55–60, 1997.

TSAI, S.M.; BARAIBAR, A.V.L.; ROMANI, V.L.M. Efeito de fatores do solo. In: Cardoso, E.J.B.N.; Tsai, S.M.; Neves, M.C.P. (Eds.). **Microbiologia do solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992. p.59-72.

VARGAS, L.K.; SCHOLLES, D. Biomassa microbiana e produção de C-CO<sub>2</sub> e N mineral de um solo Podzólico Vermelho-Escuro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. V 24, p. 35 – 42. 2000.

VARGAS, L. K., SELBACH, P. A.; SACCOL DE SÁ, E. L. Alterações microbianas no Solo durante o ciclo do milho nos sistemas plantio direto e convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.8, p.749-755, ago. 2004.

WENDLING, B.; JUCKSCH, I.; SÁ MENDONÇA, E.; NEVES, J.C.L. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, n.5, p.487-494, maio 2005.

YODER, R.E. A direct method of aggregate analysis of soil and a study of the physical nature of erosion losses. **Journal of America Society of Agronomy**, v. 28, p. 337-351, 1936.

ZILLI, J.E.; RUMJANEK, N.G.; XAVIER, G.R.; COUTINHO, H.L.C.; NEVES, M.C.P.N. Diversidade microbiana como indicador da qualidade do solo. **Cadernos de Ciência e Tecnologia**, Brasília, v. 20, n.3, p. 391-411, 2003.

## ANEXOS

### Anexo 1 - Composição média do lodo de esgoto aplicado.

<b>Características<sup>1</sup></b>	<b>Concentração</b>
Fósforo (g.kg <sup>-1</sup> )	6,9
Potássio (g.kg <sup>-1</sup> )	1,25
Sódio (g.kg <sup>-1</sup> )	1,3
Cálcio (g.kg <sup>-1</sup> )	11,05
Magnésio (g.kg <sup>-1</sup> )	1,9
Cromo total (g.kg <sup>-1</sup> )	168,9
Arsênio (g.kg <sup>-1</sup> )	<0,1
Cádmio (g.kg <sup>-1</sup> )	6,2
Chumbo (mg.kg <sup>-1</sup> )	244,85
Cobre (mg.kg <sup>-1</sup> )	574,45
Mercúrio (mg.kg <sup>-1</sup> )	<0,1
Molibdênio (mg.kg <sup>-1</sup> )	<0,1
Níquel (mg.kg <sup>-1</sup> )	38,65
Selênio (mg.kg <sup>-1</sup> )	<0,1
Zinco (mg.kg <sup>-1</sup> )	1551,45
Boro (mg.kg <sup>-1</sup> )	12
Carbono orgânico (g.kg <sup>-1</sup> )	311,95
pH (CaCl <sub>2</sub> )	6,05
Umidade (%)	66,95
Sólidos voláteis (%)	56,05
Nitrogênio Kjeldahl (mg.kg <sup>-1</sup> ) <sup>(2)</sup>	27,65
Nitrogênio amoniacal (mg.kg <sup>-1</sup> ) <sup>(2)</sup>	507,8
Nitrogênio nitrato nitrito (mg.kg <sup>-1</sup> )	87,95
Enxofre (mg.kg <sup>-1</sup> )	26,45
Manganês (mg.kg <sup>-1</sup> )	685,05
Ferro (mg.kg <sup>-1</sup> )	25,05
Alumínio (mg.kg <sup>-1</sup> )	17,6

<sup>(1)</sup> Os valores de concentração total são dados com base na matéria seca.

<sup>(2)</sup> Os valores de concentração de N na forma amoniacal e de nitrato foram determinados na amostra nas condições originais.

**Anexo 2:** Diâmetro médio ponderado (DMP), em milímetros, dos macroagregados (Macro) e microagregados (Micro) na primeira amostragem (amostra 1) realizadas em setembro de 2007, segunda amostragem (amostra 2) realizada em maio de 2008 e na terceira amostragem (amostra 3) realizada em setembro de 2008.

Época	Tratamentos									
	PC		PD		SER		LODO		MATA	
	Macro	Micro	Macro	Micro	Macro	Micro	Macro	Micro	Macro	Micro
1	1,50 e A	1,83 bc A	2,34 d B	1,65 c A	4,55 b A	2,30 ab A	2,95 c A	1,97 bc A	6,00 a B	2,64 a A
2	1,72 e A	1,34 b A	3,56 c A	1,71 ab A	4,30 b A	1,86 ab A	2,64 d A	1,60 ab A	6,61 a A	2,17 a A
3	1,68 c A	1,44 b A	2,60 b B	1,67 b A	2,98 b B	1,94 b A	3,13 b A	1,85 b A	6,67 a A	2,59 a A
Média	1,63 d	1,54 c	2,83 c	1,67 bc	3,94 b	2,03 b	2,90 c	1,81 bc	6,43 a	2,47 a

\*Letras diferentes indicam significância a 5% pelo teste de Tukey. Letras minúsculas comparam nas linhas e letras maiúsculas comparam nas colunas.

**Anexo 3:** Diâmetro médio ponderado (DMP), em milímetros. Média dos macroagregados e microagregados na primeira amostragem (amostra 1) realizadas em setembro/2007, segunda (amostra 2) maio/2008 e na terceira (amostra 3) setembro/2008.

Amostra	Tratamentos													
	PC		PD		SER		LODO		MATA					
	Média		Média		Média		Média		Média					
1	1,67	a A	1,99	b B	3,42	b A	2,46	b AB	4,32	a A				
2	1,53	d A	2,63	b A	3,08	c A	2,12	c B	4,39	a A				
3	1,56	c A	2,14	b B	2,46	b B	2,49	b A	4,63	a A				

\*Letras diferentes indicam significância a 5% pelo teste de Tukey. Letras minúsculas comparam nas linhas e letras maiúsculas comparam nas colunas.

**Anexo 4:** Liberação de CO<sub>2</sub> de fungos em, em microgramas de CO<sub>2</sub> por grama de solo seco a cada dia, nos macroagregados (Macro) e microagregados (Micro), na primeira amostragem (amostra 1) realizadas em setembro de 2007, segunda amostragem (amostra 2) realizada em maio de 2008 e na terceira amostragem (amostra 3) em setembro de 2008.

Amostra	Tratamentos									
	PC		PD		SER		LODO		MATA	
	Macro	Micro	Macro	Micro	Macro	Micro	Macro	Micro	Macro	Micro
1	257,8 c A	263,6 c A	323,1 bc B	374,8 b B	324,4 bc A	314,0 bc A	360,4 b A	366,2 b A	472,7 a A	472,8 a A
2	214,2 d A	196,3 d A	422,9 b A	464,5 b A	306,1 c A	315,9 c A	358,4 bc A	317,2 c AB	537,0 a A	560,4 a A
3	191,9 c A	206,7 c A	296,8 b B	301,9 b C	273,1 b A	258,4 bc A	272,0 bc B	265,1 bc B	465,2 a A	453,6 a A
Média	221,3 c	222,2 d	347,6 b	380,4 b	301,2 b	296,1 c	330,2 b	316,2 c	491,6 a	495,6 a

\*Letras diferentes indicam significância a 5% pelo teste de Tukey. Letras minúsculas comparam nas linhas e letras maiúsculas comparam nas colunas.

**Anexo 5:** Média da liberação de CO<sub>2</sub> de fungos em, em microgramas de CO<sub>2</sub> por grama de solo seco a cada dia, nos macroagregados e microagregados, na primeira amostragem (amostra 1) realizadas em setembro de 2007, segunda amostragem (amostra 2) realizada em maio de 2008 e na terceira amostragem (amostra 3) realizada em setembro de 2008.

Amostra	Tratamentos									
	PC		PD		SER		LODO		MATA	
	Média		Média		Média		Média		Média	
1	260,7	a A	349,0	b B	319,2	b A	363,3	b A	472,8	a B
2	205,2	d B	443,7	b A	311,0	c AB	337,8	c A	548,7	a A
3	199,3	c B	299,3	b C	265,8	b B	268,5	b B	459,4	a B
Média	221,7	d	364,0	b	298,7	c	323,2	bc	493,6	a

\*Letras diferentes indicam significância a 5% pelo teste de Tukey. Letras minúsculas comparam nas linhas e letras maiúsculas comparam nas colunas.

**Anexo 6:** Liberação de CO<sub>2</sub> de bactérias em, em microgramas de CO<sub>2</sub> por grama de solo seco a cada dia, nos macroagregados (Macro) e microagregados (Micro), na primeira amostra de amostragem (amostra 1), realizadas em setembro de 2007, segunda amostragem (amostra 2), realizada em maio de 2008 e na terceira amostragem (amostra 3) realizada em setembro de 2008.

Amostra	Tratamentos																			
	PC		PD		SER		LODO		MATA											
	Macro	Micro	Macro	Micro	Macro	Micro	Macro	Micro	Macro	Micro										
1	13,6	b A	17,4	b A	39,2	ab A	34,4	ab B	20,8	b A	27,4	ab B	30,8	ab A	30,5	ab A	75,2	a B	73,3	a B
2	35,7	b A	14,5	b A	42,3	b A	24,8	ab B	33,2	b A	18,3	ab B	57,9	b A	65,6	ab A	114,1	a B	68,7	a B
3	57,7	b A	78,3	b B	75,9	b A	79,2	b A	65,2	b A	48,2	b A	41,0	b A	54,5	b A	183,3	a A	191,7	a A
Média	35,7	b	36,7	b	52,5	b	46,1	b	39,7	b	31,3	b	43,2	b	50,2	b	124,2	a	111,2	a

\*Letras diferentes indicam significância a 5% pelo teste de Tukey. Letras minúsculas comparam nas linhas e letras maiúsculas comparam nas colunas.

**Anexo 7:** Média da liberação de CO<sub>2</sub> das bactérias em, em microgramas de CO<sub>2</sub> por grama de solo seco a cada dia, nos macroagregados e microagregados, na primeira amostragem (amostra 1), realizadas em setembro de 2007, segunda amostragem (amostra 2), realizada em maio de 2008 e na terceira amostragem (amostra 3) realizada em setembro de 2008.

Amostra	Tratamentos									
	PC		PD		SER		LODO		MATA	
	Média		Média		Média		Média		Média	
1	15,5	b B	36,8	b B	24,1	b B	30,7	b A	74,2	a B
2	25,1	b B	33,5	b B	25,8	b AB	61,7	ab A	91,4	a B
3	68,0	b A	77,6	b A	56,7	b B	47,8	b A	187,5	a A

\*Letras diferentes indicam significância a 5% pelo teste de Tukey. Letras minúsculas comparam nas linhas e letras maiúsculas comparam nas colunas.

**Anexo 8:** Número de unidades formadoras de colônias (ufcs.10<sup>4</sup>) de bactérias nos macroagregados (Macro) e microagregados (Micro), na primeira amostragem (amostra 1), realizadas em setembro de 2007, segunda amostragem (amostra 2), realizada em maio de 2008 e na terceira amostragem (amostra 3) realizada em setembro de 2008.

Amostra	Tratamentos																			
	PC		PD		SER		LODO		MATA											
	Macro	Micro	Macro	Micro	Macro	Micro	Macro	Micro	Macro	Micro										
1	134,5	a A	37,8	b A	17,7	b A	5,2	b B	22,0	ab A	10,4	b A	30,8	ab A	14,8	b A	64,0	ab A	745,0	a A
2	6,4	ab B	2,9	bc B	3,0	b B	2,3	c AB	15,6	ab AB	10,1	abc A	22,9	a A	12,5	ab A	18,1	a AB	24,5	a B
3	2,3	b B	2,9	a B	18,4	ab A	18,2	a A	6,0	ab B	12,2	a A	19,7	a A	18,4	a A	6,9	ab A	4,3	a C
Média	47,7	a	14,5	bc	13,1	a	8,5	c	14,5	a	10,9	bc	24,4	a	15,2	bc	29,6	a	257,9	a

\*Letras diferentes indicam significância a 5% pelo teste de Tukey. Letras minúsculas comparam nas linhas e letras maiúsculas comparam nas colunas.

**Anexo 9:** Média do número de unidades formadoras de colônias (ufcs.10<sup>5</sup>) de fungos nos macroagregados e microagregados, na primeira amostragem (Amostra 1) realizadas em setembro de 2007, segunda amostragem (Amostra 2) realizada em maio de 2008 e na terceira amostragem (amostra 3) realizada em setembro de 2008.

Amostra	Tratamentos														
	PC			PC			SER			LODO			MATA		
	Média			Média			Média			Média			Média		
1	86,1	bc	A	11,4	c	A	16,2	bc	A	22,8	bc	A	404,5	a	A
2	4,6	bc	B	2,7	c	B	12,9	ab	A	17,7	a	A	21,3	a	B
3	2,6	b	B	18,3	b	A	9,1	ab	A	19,0	b	A	5,6	a	C

\*Letras diferentes indicam significância a 5% pelo teste de Tukey. Letras minúsculas comparam nas linhas e letras maiúsculas comparam nas colunas.

**Anexo 10:** Média do número de unidades formadoras de colônias ( $ufcs.10^4$ ) de bactérias nos macroagregados e microagregados, na primeira amostra de amostragem (Amostra 1) realizadas em setembro de 2007, segunda amostragem (Amostra 2) realizada em maio de 2008 e na terceira amostragem (amostra 3) realizada em setembro de 2008.

Amostra	Tratamentos																			
	PC		PD		SER		LODO		MATA											
	Macro	Micro	Macro	Micro	Macro	Micro	Macro	Micro	Macro	Micro										
1	10,1	a A	4,5	bc A	8,5	ab A	13,6	a A	5,6	ab B	11,1	ab AB	3,2	b B	2,4	c A	2,9	b B	3,6	bc B
2	7,6	b A	4,3	b A	23,2	ab A	23,0	a A	24,1	a B	26,8	a A	7,3	ab AB	5,8	b A	14,9	ab A	12,0	ab A
3	8,3	a A	4,4	b A	14,0	a A	9,7	ab A	7,8	a AB	6,1	ab B	9,3	a B	4,3	b A	18,1	a A	16,8	a A
Média	8,7	ab	4,4	c	15,2	a	15,4	a	12,5	a	14,6	ab	6,6	b	4,2	c	12,0	a	10,8	b

\*Letras diferentes indicam significância a 5% pelo teste de Tukey. Letras minúsculas comparam nas linhas e letras maiúsculas comparam nas colunas.

**Anexo 11:** Média do número de unidades formadoras de colônias ( $ufcs.10^4$ ) da bactérias nos macroagregados e microagregados, na primeira amostragem (amostra 1), realizadas em setembro de 2007, segunda amostragem (amostra 2), realizada em maio de 2008 e na terceira amostragem (amostra 3) realizada em setembro de 2008.

Amostra	Tratamentos									
	PC		PD		SER		LODO		MATA	
	Média		Média		Média		Média		Média	
1	7,3	ab A	11,0	a A	8,4	ab B	2,8	c A	3,2	bc B
2	5,9	c A	23,1	a A	25,4	a A	6,5	bc B	13,5	ab A
3	6,4	b A	11,9	ab A	7,0	ab B	6,8	b B	17,4	ab A

\*Letras diferentes indicam significância a 5% pelo teste de Tukey. Letras minúsculas comparam nas linhas e letras maiúsculas comparam nas colunas.



# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)