



DISSERTAÇÃO

**VARIÁVEIS MICROBIOLÓGICAS
COMO INDICADORAS DA QUALIDADE
DO SOLO SOB DIFERENTES USOS**

LUIZA DITZEL FACCI

Campinas, SP
2008

Livros Grátis

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

Milhares de livros grátis para download.

INSTITUTO AGRONÔMICO
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA
TROPICAL E SUBTROPICAL

VARIÁVEIS MICROBIOLÓGICAS
COMO INDICADORAS DA QUALIDADE
DO SOLO SOB DIFERENTES USOS

LUISA DITZEL FACCI

Orientadora: Sueli dos Santos Freitas

Co-orientadora: Isabella Clerici De Maria

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
Abril – 2008

Ao meu pai Mauro e à minha mãe Ana Lúcia,
cujo exemplo, dedicação e amor estimulam
cada passo da minha vida,

DEDICO

Ao meu noivo Rodrigo, às
minhas irmãs Paula e Andréia
por todo carinho, incentivo e
companheirismo,

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

- A Deus;
- À minha orientadora Dra. Sueli dos Santos Freitas, pela orientação, confiança, pelos valiosos conselhos e ensinamentos;
- À Dra. Isabella Clerici De Maria, pelo auxílio na realização deste trabalho, pela atenção e amizade;
- À Dra. Adriana Parada Dias da Silveira, pelos ensinamentos, atenção e companheirismo;
- À minha amiga Flávia Cristina Simões de Barros, pela amizade, companheirismo, ensinamentos e dados experimentais, deixo aqui registrada minha admiração;
- Ao pesquisador Alisson Chiorato, pelos conselhos, pela atenção e orientação nas análises multivariadas;
- À técnica Rosana Gierts Gonçalves pelos valiosos ensinamentos e amizade;
- Aos colegas e amigos de Laboratório Ana Flávia, Núbia, Rafaela, Matheus, Leandro, Carlos, Dona Léó, Luiz Guilherme e as pesquisadoras Vanessa, Valéria e Sara.
- Aos funcionários da Microbiologia e Qualidade do solo (especialmente Nilza e Sandra) pela amizade;
- Aos funcionários e professores da Pós-Graduação do Instituto Agrônomo pela amizade e atenção;
- Aos funcionários da Conservação do Solo do Instituto Agrônomo pelo auxílio com as amostragens;
- Aos meus pais Mauro Oswin Facci e Ana Lúcia Ditzel Facci, por todo o apoio, incentivo e amor, sem eles nada disso seria concreto;
- Às minhas irmãs Paula e Andréia pelo estímulo, companheirismo e carinho;
- À coordenação do Curso de Pós-graduação em Agricultura Tropical e Subtropical pela oportunidade de realização do curso;
- À Flavia, Mariana, Vanessa e Ana Lúcia pelo companheirismo, amizade e conselhos. Essas meninas se tornaram indispensáveis no meu dia-a-dia;
- Aos colegas da Pós-graduação, em especial Carlos, Laura, Juliano, Rafael, Thabata;
- À FAPESP pelo apoio financeiro e pela bolsa de estudo concedida;
- Ao meu noivo Rodrigo Periotto, pelo amor, compreensão carinho e companheirismo, e a seus familiares, por torcerem sempre por nós;
- E a todas as pessoas que participaram ou contribuíram para esse trabalho.

"Quando pensamos que sabemos todas as respostas, vem a vida e muda todas as perguntas."

Desconhecido

“O papel dos infinitamente pequenos é infinitamente grande”.

Louis Pasteur

SUMÁRIO

RESUMO.....	vii'
ABSTRACT.....	viii'
1 INTRODUÇÃO.....	01
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	03
2.1 A Prática Agrícola.....	03
2.2 Qualidade do Solo.....	04
2.3 Indicadores de Qualidade.....	05
2.4 Indicadores de Biológicos.....	07
2.5 Análise Multivariada.....	09
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	12
3.1 Caracterização das Áreas Experimentais.....	12
3.2 Amostragem e Preparo das Amostras.....	13
3.3 Variáveis Microbiológicas Analisadas.....	14
3.3.1 Quantificação de microrganismos amonificadores.....	14
3.3.2 Quantificação de Microrganismos celulolíticos.....	14
3.3.3 Carbono da biomassa microbiana (CBM).....	15
3.3.4 Liberação de CO ₂	15
3.3.5 Quociente metabólico.....	15
3.3.6 Atividade da enzima celulase.....	16
3.3.7 Atividade da enzima protease.....	16
3.3.8 Atividade da enzima urease.....	17
3.4 Análise Estatística.....	18
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	20
4.1 Microbiota.....	20
4.1.1 Quantificação de microrganismos amonificadores.....	20
4.1.2 Quantificação de microrganismos celulolíticos.....	23
4.1.3 Carbono da biomassa microbiana.....	25
4.1.4 Liberação de CO ₂	28
4.1.5 Quociente metabólico.....	31
4.1.6 Atividade da enzima celulase.....	33
4.1.7 Atividade da enzima protease.....	36
4.1.8 Atividade da enzima urease.....	38

4.2 Índices de Qualidade.....	41
4.2.1 Índices obtidos considerando as épocas de amostragem nas três profundidades avaliadas.....	41
4.2.1.1 Início da cultura de verão.....	41
4.2.1.2 Florescimento da cultura de verão.....	46
4.2.1.3 Início da cultura de inverno.....	52
4.2.1.4 Florescimento da cultura de inverno.....	56
4.2.2 Índices obtidos considerando as profundidades avaliadas.....	61
4.2.2.1 Primeira profundidade.....	61
4.2.2.2 Segunda profundidade.....	63
4.2.2.3 Terceira profundidade.....	64
4.3 Comparação entre os Índices Obtidos nas Análises Estatísticas.....	69
5 CONCLUSÕES.....	73
6 REFERÊNCIAS.....	74
7 ANEXOS.....	84
7.1 Anexo 1.....	84
7.2 Anexo 2.....	85
7.3 Anexo 3.....	86
7.4 Anexo 4.....	87
7.5 Anexo 5.....	88
7.6 Anexo 6.....	89
7.7 Anexo 7.....	90
7.8 Anexo 8.....	91
7.9 Anexo 9.....	92
7.10 Anexo10.....	93
7.11 Anexo 11.....	94
7.12 Anexo 12.....	95

FACCI, Luisa Ditzel. **Variáveis microbiológicas como indicadoras da qualidade do solo sob diferentes usos.** 2008. 95f. Dissertação (Mestrado em Gestão de Recursos Agroambientais) – Pós-graduação – IAC.

RESUMO

A avaliação da qualidade do solo é uma ferramenta importante para monitorar a sua degradação bem como planejar a implantação de práticas sustentáveis de manejo. A natureza dinâmica dos microrganismos faz deles indicadores potencialmente sensíveis nessa avaliação. O objetivo deste estudo foi definir entre as variáveis microbiológicas número de microrganismos amonificadores e celulolíticos, carbono da biomassa microbiana, liberação de CO₂, quociente metabólico ($q\text{CO}_2$), atividade das enzimas celulase, protease e urease, quais as mais adequadas a serem utilizadas como indicadoras de qualidade do solo, a partir da análise de um conjunto de dados coletados durante três anos agrícolas (2002/2003, 2003/2004, 2004/2005). Todos os dados foram provenientes de um experimento em campo instalado num Latossolo Vermelho eutroférico, no Instituto Agronômico, em Campinas - SP. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado. Amostras de solo foram coletadas em três profundidades (0-10, 10-20 e 20-40 cm), em áreas contíguas, sob plantio direto e convencional com culturas de soja, aveia e triticale, e sob mata nativa e seringueira. As amostragens foram feitas nas épocas correspondentes ao início e ao florescimento de cada cultura, com quatro repetições de cada tratamento. Foram totalizadas 12 amostragens. Os dados foram submetidos à análise de variância com médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, considerando três fatores: uso, época de amostragem e profundidade do solo, além dos blocos. Também foi feita a análise dos dados por meio de estatística multivariada de componentes principais, em que foram consideradas as épocas e profundidades de amostragem. Dentre as variáveis microbiológicas estudadas, o carbono da biomassa microbiana, a liberação de CO₂ e as enzimas protease e urease foram as mais sensíveis às alterações no solo, não sendo detectado um índice único capaz de descrever e quantificar a microbiota em todos os usos, épocas e profundidades. Assim, a utilização de um conjunto de variáveis indicadoras mostrou-se promissora na definição da qualidade do solo.

Palavras-chave: biomassa microbiana, manejo de solo, qualidade do solo, análise de componentes principais, enzimas.

FACCI, Luisa Ditzel. **Microbial activity as indicator of soil quality under different uses.** 2008. 95f. Dissertação (Mestrado em Gestão de Recursos Agroambientais) – Pós-graduação – IAC.

ABSTRACT

The evaluation of the quality of the soil is an important tool to track their degradation as well as planning the implementation of sustainable management practices. The dynamic nature of microorganisms makes them potentially sensitive indicators in this evaluation. The objective of this study was to define between microbiological variables numbers of amonifiers and cellulolitycs microorganisms, microbial biomass carbon, CO₂ release, metabolic quotient, activity of the enzymes cellulase, protease and urease, which are the most appropriate to be used as indicators of quality of soil, from the analysis of a data set collected during three years (2002/2003, 2003/2004, 2004/2005). All data were from a field experiment installed in a eutroferric Red Latosol in the Agronomic Institute, in Campinas, SP. The experimental delineation was a randomized complete block. Soil samples were collected at three depths (0-10, 10-20 and 20-40 cm), in the contiguous areas, under direct and conventional tillage with crops of soybeans, oats and triticale, and under native vegetation and rubber tree. The samples were taken in times corresponding to the beginning and the blossoming of each culture, with four replicates of each treatment. Twelve samples had been totalized. The data had been submitted to the analysis of variance with averages compared for the test of Tukey 5% of probability, considering three factors: use, time of sampling and depth, beyond the blocks. Also the analyses of the data was done through multivariate statistic of principal components, in which of them were considered the times and the depth of sampling. Among the microbiological variables studied, the microbial carbon, the CO₂ release and the protease and urease enzymes were the most sensitive to changes in the soil, not being detected an unique index capable to describe and quantify the microbial biomass in all the uses, times and depths. Thus, the use of a set of variables indicators proved to be promising in the definition of soil quality.

Key-words: microbial biomass, soil management, quality indices, main component analysis, enzymes.

1 INTRODUÇÃO

Mundialmente, o efeito das atividades agrícolas na degradação dos recursos naturais, como aqueles causados pelo desmatamento, erosão do solo e uso de agroquímicos, é bastante evidente, devendo ser evitado ou, pelo menos, monitorado e combatido.

A garantia do não esgotamento do solo requer a implantação de um modelo de desenvolvimento que seja sustentável. Depara-se, então, com o desafio de se viabilizar um sistema de produção com uso racional dos recursos naturais, criando novos paradigmas na agricultura baseados na sustentabilidade.

A agricultura sustentável engloba várias correntes de idéias, bem como procedimentos, e tem como objetivo permanente a proteção dos recursos naturais, a manutenção e o aumento da produtividade, a redução dos riscos e a promoção econômica e social, garantindo boa qualidade de vida para o presente e o futuro.

Para que se viabilize uma agricultura sustentável, há necessidade de se satisfazer o produtor com demonstrações de custos/benefícios ao longo do tempo: diminuição dos altos riscos decorrentes da irregularidade do clima, produções mais estáveis, menos gastos por tonelada produzida, conservação do solo e da água. O exemplo mais marcante tem sido o sistema plantio direto, cuja significativa expansão nos últimos anos, decorrente do efeito demonstrativo dos custos/benefícios de sua prática, faz dele o melhor exemplo de agricultura sustentável no Brasil.

Nessa forma de manejo, o solo é perturbado o mínimo possível em sua estrutura física e características biológicas, em oposição ao plantio convencional, caracterizado por processos que acabam por acelerar a degradação dos solos.

A qualidade do solo é o resultado de contínuos processos de degradação e conservação e representa a contínua capacidade do solo de funcionar como um ecossistema vital. Um balanço único de componentes químicos, físicos e biológicos (incluindo microrganismos) contribui para a manutenção da qualidade do solo (NILSEN & WINDING, 2002).

Os microrganismos do solo e suas comunidades estão continuamente mudando e se adaptando às alterações ambientais. A dinâmica natural desse grupo faz deles indicadores potencialmente sensíveis para se avaliar as mudanças no solo resultantes de diferentes práticas e sistemas de manejo.

O desafio é identificar parâmetros do solo mensuráveis que possam ser usados para avaliar as práticas de manejo do solo para um dado local. Como o número possível de indicadores microbiológicos é amplo, a análise multivariada surge como importante alternativa em estudos dessa natureza.

Entender e conhecer a qualidade do solo possibilita manejá-lo de maneira responsável, de modo a otimizar seu uso no presente, sem comprometê-lo no futuro. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar as variáveis liberação de CO₂, carbono da biomassa microbiana, quociente metabólico, número de microrganismos celulolíticos e amonificadores, atividade das enzimas celulase, protease e urease de modo a definir quais dessas variáveis são mais adequadas a serem utilizadas como indicadoras de qualidade do solo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Em seu estado natural, o solo encontra-se coberto pela vegetação, que o protege da erosão e contribui para manter o equilíbrio entre os fatores de sua formação e aqueles que provocam sua degradação. O rompimento dessa relação provoca alterações físicas, químicas e biológicas, as quais se não forem adequadamente monitoradas e controladas, levam à queda de produtividade e à degradação do ecossistema (SIQUEIRA et al., 1994).

2.1 A Prática Agrícola

A agricultura passa por um momento de grande transformação: novos conceitos são discutidos e tentativamente aplicados aos agrossistemas como forma de reverter o processo de degradação ao qual têm sido submetidos os solos agrícolas em todo o mundo (COLOZZI FILHO et al., 1999).

A partir da década de 60, a prática da agricultura convencional promoveu o cultivo intensivo do solo, causando desmatamento e desprotegendo-o dos danos causados pela erosão. Atualmente, as práticas agrícolas que melhoram a sustentabilidade e a qualidade do solo têm recebido crescente atenção dos pesquisadores e produtores. Foram desenvolvidos sistemas de manejo caracterizados pela considerável quantidade de resíduos vegetais sobre ou próximo à superfície, protegendo contra a erosão e minimizando as necessidades do solo para o plantio (BRADY & WEIL, 2002).

O manejo conhecido como plantio direto é caracterizado pelo não-revolvimento do solo e pela manutenção de restos culturais sobre a superfície. Ele é considerado um sistema de manejo mais adequado às condições tropicais e subtropicais, com reflexos diretos sobre a redução de custos de produção e aumento da rentabilidade, além de promover a manutenção ou, até mesmo, o aumento da matéria orgânica.

ROLDÁN et al. (2007) verificaram que o sistema plantio direto pode ser considerado eficiente para alcançar a agricultura sustentável em condições subtropicais devido ao aumento da qualidade física e bioquímica do solo e ao seqüestro de carbono. Estudos têm mostrado que a adoção do sistema de plantio direto afeta as propriedades físicas (KARLEN et al., 1994; KUSHWAHA et al., 2001; PEIXOTO et al., 2006), químicas (DORAN, 1980; ANGERS et al., 1993; EKENLER & TABATABAI, 2003) e

biológicas (ALVAREZ et al., 1998; MATSUOKA et al., 2003; FRANCHINI et al., 2007) do solo, sendo que, na maioria das vezes, as modificações são favoráveis (BRADY & WEIL, 2002).

A quantidade e a qualidade dos resíduos vegetais nos sistemas produtivos provocam alterações na composição da comunidade microbiana, influenciando sua taxa de decomposição. Nesse sentido, os sistemas de manejo do solo atuam diretamente na persistência dos resíduos no solo, no tamanho da biomassa microbiana e, conseqüentemente, na sustentabilidade dos ecossistemas (KARLEN et al., 1994; MERCANTE et al., 2004).

2.2 Qualidade do Solo

O solo é um corpo dinâmico, vivo e natural que determina muitas funções fundamentais nos ecossistemas terrestres. Os componentes do solo incluem a matéria mineral inorgânica (areia, sedimentos e partículas de argila), matéria orgânica, água, gases, e organismos vivos e há um contínuo intercâmbio de moléculas e íons entre as fases sólida, líquida e gasosa que são mediados pelos processos físicos, químicos e biológicos (DORAN et al., 1994). Segundo FAGERIA (2002), esses processos, somado ao aspecto ecológico, classificam o solo quanto a sua qualidade e determinam a produtividade da cultura.

O conceito de qualidade do solo é relativamente novo, com grandes controvérsias e não tão bem definido na percepção científica (PIERZYNSKI et al, 2000). Os termos “qualidade do solo” e “saúde do solo” são freqüentemente usados como sinônimos na linguagem popular e na literatura científica (HARRIS et al., 1994; WARKENTIN, 1995; BRADY & WEIL, 2002).

DORAN & PARKIN (1994) definiram a qualidade do solo como a capacidade em funcionar dentro do ecossistema para sustentar a produtividade biológica, manter a qualidade ambiental e promover a saúde das plantas.

LARSON & PIERCE (1994) afirmam que a qualidade está ligada especificamente à habilidade de funcionar como meio para crescimento das plantas, regular o fluxo e o armazenamento da água no meio ambiente e como tampão ambiental.

Portanto, avaliar a qualidade do solo é necessário para definir e manejar os recursos disponíveis (SEYBOLD et al., 1997), evitando, assim, práticas que danifiquem e afetem negativamente sua capacidade de funcionamento (PIERZYNSKI et al., 2000).

No Brasil, estudos referentes ao assunto, bem como o uso do termo qualidade do solo, ainda são incipientes. FRANCHINI et al. (2007), estudando o monitoramento da qualidade do solo em diversos sistemas de manejo e rotação de culturas em um experimento de campo instalado na região sul do Brasil, verificaram a importância do plantio direto e da inclusão de leguminosas na rotação de culturas para a conservação da matéria orgânica nos trópicos, favorecendo a qualidade do solo. FIALHO et al. (2006), avaliando áreas sob vegetação natural e cultivos de bananeiras na Chapada do Apodi (CE), encontraram que o uso agrícola causa alterações ambientais que reduzem a biomassa e a atividade microbiana, tendo como consequência a redução de sua qualidade, quando comparado à área sob mata natural.

Dessa forma, a avaliação da qualidade do solo deve englobar o estudo de algumas de suas propriedades que são consideradas como atributos indicadores (DORAN & PARKIN, 1994).

2.3 Indicadores de Qualidade

O solo tem propriedades químicas, biológicas e físicas que interagem de maneira complexa, determinando sua qualidade e capacidade de uso. Dessa forma, ainda que sua qualidade não possa ser medida diretamente, pode ser inferida a partir das mudanças avaliadas nos seus atributos ou nos atributos do ecossistema, conhecidos como indicadores (SEYBOLD et al., 1997).

Os indicadores devem fornecer algumas medidas da capacidade do solo de funcionar respeitando a vegetação e a produtividade biológica, a qualidade ambiental e a saúde humana e animal. Eles também devem ser usados para medir mudanças no funcionamento do solo ou limitações do ecossistema (SEYBOLD et al., 1997), ser compreensíveis e úteis para o agricultor e, preferencialmente, de fácil e barata mensuração (DORAN & ZEISS, 2000).

DORAN & PARKIN (1994) definiram que indicadores de qualidade devem integrar processos do ecossistema e propriedades físicas, químicas e biológicas; serem sensíveis às variações de manejo e clima e aplicáveis às condições de campo e quando possível, serem compatíveis com fontes de dados existentes.

ISLAM & WEIL (2000) dividiram os indicadores em três grandes grupos: os efêmeros, cujas alterações ocorrem em curto espaço de tempo ou são modificados pelas práticas de cultivo, tais como: umidade do solo, densidade, pH, disponibilidade de

nutrientes; os permanentes, que são inerentes ao solo, tais como: profundidade, camadas restritivas, textura, mineralogia; e, entre estes, estão os indicadores intermediários, que demonstram uma crítica influência da capacidade do solo em desempenhar suas funções, tais como: agregação, biomassa microbiana, quociente respiratório, carbono orgânico total e ativo. Para esses autores, os indicadores intermediários são os de maior importância para integrarem um índice de qualidade do solo.

Muitos modelos têm sido usados para permitir uma estimativa quantitativa da qualidade do solo. Muitos desses modelos valorizam a qualidade do solo pela avaliação de suas funções-chaves, as quais são quantificadas usando os parâmetros físicos, químicos e biológicos (Tabela 1). Esses sistemas têm mostrado o potencial de diferenciação de qualidade do solo em áreas que receberam regimes de manejo agrícolas contrastantes (GLOVER et al., 2000).

Tabela 1 – Principais indicadores físicos, químicos e biológicos e suas relações com a qualidade do solo.

Indicadores	Relação com a qualidade do solo
Matéria orgânica do solo	Fertilidade, estrutura e estabilidade do solo.
Físicos	
Estrutura do solo	Retenção e transporte de água e nutrientes.
Infiltração e densidade do solo	Movimento de água e porosidade do solo.
Capacidade de retenção de umidade	Armazenamento e disponibilidade de água.
Químicos	
pH	Atividade biológica e disponibilidade de nutrientes.
Condutividade elétrica	Crescimento vegetal e atividade microbiana.
Conteúdo de N, P e K	Disponibilidade de nutrientes para as plantas.
Biológicos	
Biomassa Microbiana	Atividade microbiana e reposição de nutrientes.
Mineralização de nutrientes (N, P e S)	Produtividade do solo e potencial de suprimento de nutrientes.
Respiração do solo	Atividade microbiana.
Fixação biológica de N ₂	Potencial de suprimento de N para as plantas.
Atividade enzimática do solo	Atividade microbiana e catalítica do solo.

Fonte: Araújo & Monteiro, 2007 (adaptado de Doran & Parkin, 1994).

2.4 Indicadores Biológicos

A avaliação de atributos biológicos do solo é adequada à maioria dos critérios para a seleção de um indicador de qualidade (DORAN & ZEISS, 2000). A capacidade de responder rapidamente a mudanças no ambiente do solo derivadas das alterações no manejo justifica o uso de microrganismos e processos microbiológicos como indicadores de qualidade do solo (KENNEDY & PAPENDICK, 1995).

Os atributos microbiológicos têm sido amplamente discutidos na literatura como indicadores de qualidade (CARTER, 1986; SPARLING, 1992; ANGERS et al., 1993; KENNEDY & PAPENDICK, 1995, TRINDADE et al., 2000; TÓTOLA & CHAER, 2002; MATSUOKA et al., 2003; COSTA et al., 2006; FRANCHINI et al., 2007, ARAÚJO & MONTEIRO, 2007).

A utilização de todos os indicadores microbiológicos disponíveis num programa de monitoramento seria inviável. Ao invés disso, um “minimum data set (MDS)” ou número mínimo de indicadores deve ser determinado. Os critérios para a seleção de indicadores relacionam-se, principalmente, com sua utilidade em definir processos do ecossistema.

Experimentos com o uso de indicadores microbiológicos no monitoramento de solos também são realizados em alguns países europeus (Tabela 2), onde os indicadores mais comumente usados são a biomassa microbiana e a respiração (NIELSEN & WINDING, 2002).

Tabela 2. Número mínimo de indicadores (MDS) microbiológicos utilizados em alguns programas de monitoramento de solos europeus.

Programa de monitoramento	MDS
Alemanha	Respiração do solo Biomassa microbiana Quociente metabólico Enzimas do solo
Suíça	Biomassa microbiana Respiração do solo Nitrogênio potencialmente mineralizável

Tabela 2. Número mínimo de indicadores (MDS) microbiológicos utilizados em alguns programas de monitoramento de solos europeus (Continuação).

Programa de monitoramento	MDS
República Theca	Biomassa microbiana
	Respiração do solo
	Nitrogênio mineralizável, nitrificação
	Enzimas do solo (celulase e catalase)
Reino Unido	Biomassa microbiana
	Respiração do solo
	Diversidade microbiana
	<i>Rhizobium</i>
Áustria	Biomassa microbiana
	Enzimas do solo
	Nitrificação

Fontes: NIELSEN & WINDING, 2002 (adaptado).

A biomassa microbiana é definida como a parte viva da matéria orgânica do solo, incluindo bactérias, actinomicetos, fungos, protozoários, algas e macrofauna. Excluindo-se raízes de plantas e animais do solo maiores do que 5,10 µm, a biomassa microbiana corresponde em média, de 2 a 5% do C orgânico do solo (JENKINSON & LADD, 1981) e de 1 a 5% do N total do solo (SMITH & PAUL, 1990).

A manutenção da produtividade dos ecossistemas agrícolas e florestais depende, em grande parte, do processo de transformação da matéria orgânica e, por conseguinte, da biomassa microbiana do solo. Esta representa um importante componente ecológico, porque é responsável pela decomposição e mineralização dos resíduos vegetais do solo, utilizando esses materiais como fonte de nutrientes e energia para a formação e o desenvolvimento de suas células, bem como para a síntese de substâncias orgânicas no solo (GAMA-RODRIGUES, 1999).

O fato de muitos microrganismos utilizarem a fração disponível da matéria orgânica torna-os sensíveis a mudanças em sua qualidade. Assim, a biomassa

microbiana tem sido proposta como um indicador do estado e das mudanças da matéria orgânica total do solo (TÓTOLA & CHAER, 2002).

A determinação da liberação de CO₂ do solo (C-CO₂) tem sido usada para avaliar a atividade geral da biomassa, destacando-se a influência do clima, as propriedades físicas e químicas do solo e as práticas agrícolas (GAMA-RODRIGUES, 1999). A atividade dos organismos é considerada um atributo positivo para a qualidade do solo, sendo a respiração um indicador sensível da decomposição de resíduos, do giro metabólico do carbono orgânico do solo e de distúrbios do ecossistema (PAUL et al., 1999).

A taxa de respiração por unidade de biomassa microbiana, ou quociente metabólico (qCO_2) é importante em estudos que avaliam o efeito das condições ambientais sobre a atividade microbiana do solo (ANDERSON & DOMSCH, 1993). O qCO_2 refere-se à quantidade de CO₂ incorporada por grama de biomassa em um determinado tempo.

As enzimas do solo são mediadoras diretas no catabolismo biológico do solo orgânico e dos componentes minerais (NIELSEN & WINDING, 2002), por isso têm sido sugeridas como potenciais indicadoras da qualidade do solo.

Parâmetros como atividade de microrganismos celulolíticos e atividade de microrganismos amonificadores também podem ser usados para o entendimento e o eventual manejo da microbiota do solo (DE-POLLI & GUERRA, 1999). Assim, o estudo da biomassa microbiana e da sua atividade, além de auxiliar na avaliação e no estabelecimento de um novo equilíbrio biodinâmico do solo, fornece subsídios para o planejamento do uso do solo (D'ANDRÉA et al., 2002).

Como o número possível de indicadores é muito grande, a aplicação de índices de qualidade e o uso de análise estatística multivariada podem ajudar na interpretação dos resultados (BARETTA, 2007).

2.5 Análise Multivariada

A avaliação dos possíveis indicadores de qualidade do solo e sua efetiva identificação são complicadas pela multiplicidade dos fatores físicos, químicos e biológicos que controlam os processos biogeoquímicos e suas variações no tempo, espaço e intensidade (DORAN et al., 1994). Dessa maneira, técnicas estatísticas têm

sido aplicadas para identificar e quantificar os indicadores que causam influência significativa sobre os resultados dos experimentos.

A estatística multivariada é uma técnica cada vez mais popular usada para analisar conjuntos complexos de dados (TABACHNICK & FIDELL, 2007).

A análise dos componentes principais (ACP) é uma técnica que transforma um conjunto grande de variáveis originais em um conjunto menor de variáveis (componentes principais), as quais são combinações lineares dos valores originais, representando a maior variabilidade do conjunto de dados iniciais (NIELSEN & WINDING, 2002). Os componentes principais são ordenados, com o primeiro componente extraído a maior variabilidade e o último componente, a menor variabilidade (TABACHNICK & FIDELL, 2007). O número de componentes principais que se deve analisar depende do percentual de variabilidade que é explicado por cada componente principal. A representação gráfica dos dados ajuda na interpretação dos resultados.

Essa ferramenta simplifica a interpretação de um grande número de dados e pode ser usada no desenvolvimento de um índice de qualidade do solo, além de distinguir as áreas em função do manejo do solo e determinar quais são os parâmetros mais importantes para caracterizá-las (SENA et al., 2002).

LEONARDO (2003) utilizou a análise dos componentes principais para avaliar o uso sustentável da microbacia hidrográfica do Rio Passo Cue (Paraná) por meio de indicadores de qualidade de solo e água. O quociente metabólico foi o indicador microbiológico que melhor se prestou para a diferenciação das práticas agrícolas.

SILVEIRA et al. (2004) trabalhando com atributos microbiológicos e bioquímicos como indicadores da recuperação de áreas degradadas, no sul de Minas Gerais, empregaram a análise dos componentes principais. O uso dessa ferramenta permitiu concluir que os atributos estudados (densidade de fungos e bactérias, microrganismos solubilizadores de fosfato, carbono da biomassa, atividades microbianas e pH) foram considerados bons indicadores da recuperação de solos de áreas degradadas. Além disso, permitiu comprovar que a recuperação dessas áreas está fortemente limitada por parâmetros microbiológicos e bioquímicos do solo.

CAMPOS et al. (2007), também utilizando a análise dos componentes principais (ACP), verificaram se as modificações na utilização do solo no México afetaram sua qualidade e identificaram quais os indicadores são os melhores representantes da variabilidade dos dados originais. Os dois primeiros componentes explicaram 62% da

variância total dos dados e as variáveis relacionadas – dentre elas, o quociente metabólico e o carbono da biomassa microbiana – foram identificadas como potenciais indicadores para monitoramento da qualidade do solo.

ACOSTA-MARTÍNEZ et al. (2007), em Akron, EUA, compararam as comunidades microbianas e a atividade enzimática em uma área de campo nativo e em áreas de pesquisa com pastagem e diferentes cultivos estabelecidos por quinze anos. A análise dos componentes principais foi utilizada para comparar a composição da atividade microbiana nos sistemas nativos (pasto nativo e pastagem) e as diferentes rotações estudadas. A ACP dos ácidos graxos esterificados (FAME) apontou uma mudança na estrutura da comunidade microbiana com grandes populações de fungos nas pastagens, campos e rotações de cultura com intensidade de 100 e 67%, quando comparado com ao plantio convencional (com a cultura de trigo no inverno).

BARETTA (2007), em estudo realizado em áreas com *Araucária angustifolia* no Estado de São Paulo, analisou por meio de técnicas de análise multivariada, a possibilidade de utilização de alguns grupos da fauna edáfica e das variáveis ambientais como indicadores da qualidade do solo. Verificou-se que as diferentes técnicas de análises multivariadas, entre elas, a ACP, são importantes ferramentas no estudo de indicadores de qualidade do solo em áreas com araucária e que o carbono da biomassa microbiana e a liberação de CO₂ foram os melhores indicadores entre os atributos microbiológicos.

SENA et al. (2002) asseguram que os pesquisadores da área de solos precisam se aperfeiçoar a respeito de métodos multivariados, os quais, comparados com métodos univariados e bivariados, ampliam a capacidade de extração e interpretação de dados das análises. Dessa maneira, a análise das componentes principais torna-se uma ferramenta de grande valor na determinação de índices de qualidade do solo.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização das Áreas Experimentais

O trabalho foi realizado em campos localizados no Centro Experimental Central do Instituto Agrônômico (IAC), em Campinas, que se localiza na latitude 22°9' Sul e longitude 47°1' Oeste, com altitude entre 600 e 720 m. O clima da região, segundo a classificação de Köppen (Critchfield, 1960), é do tipo Cwa, definido como tropical úmido com estação chuvosa distinta no verão e seco no inverno, com temperatura média anual de 20,5°C. A precipitação média anual é de 1.400 mm, com a distribuição de chuvas de 76% de outubro a março. O solo das áreas experimentais é um Latossolo Vermelho eutroférico, segundo classificação EMBRAPA (1999), e de textura argilosa.

Foram selecionados três tipos de uso do solo para as análises: mata, cultivo perene e cultivo de grãos (anual), em plantio direto e em plantio convencional. A mata é um fragmento de vegetação nativa perturbada, com manchas de mata mesófila semidecídua. O cultivo perene é um jardim clonal de seringueiras, com árvores plantadas no início da década de 1950, que recebe como tratamentos culturais apenas o controle de plantas espontâneas que nascem sob as árvores, mantidas apenas como reserva para emprego em enxertia e, eventualmente, para retirada de látex. Esses dois tratamentos representam um sistema menos perturbado em relação ao sistema cultivo de grãos, sendo a área de seringueira um sistema mais homogêneo que a mata, mas também com pouca mobilização do solo ao longo do tempo.

A área de cultivo de grãos vem sendo utilizada com tal finalidade desde 1985 com experimentos de manejo do solo incluindo sistemas convencionais e conservacionistas. No ano de 2001 a área foi arada e gradeada, sendo instalado um experimento comparando sistema convencional e sistema plantio direto. Para o plantio convencional o solo é arado a 20-25 - cm de profundidade e, em seguida, recebe uma a duas gradagens leve. As parcelas sob plantio direto não tem revolvimento para o preparo do solo e são aplicados herbicidas de pré e pós-emergência nas culturas visando à formação da palhada que caracteriza o sistema. O experimento vem sendo cultivado desde então com soja como cultura de verão e aveia (2003 e 2005) ou triticale (2004) como culturas de inverno no decorrer do período de três anos avaliados.

A instalação do experimento seguiu o delineamento experimental inteiramente casualizado. A tabela 3 apresenta os dados de fertilidade do solo dos quatro tratamentos no início deste trabalho.

Tabela 3 – Atributos químicos de fertilidade do solo nas áreas amostradas (camadas 0-20 cm). Data de amostragem: outubro de 2002.

Tratamento	MO ⁽¹⁾	pH	P	K	Ca	Mg	H+Al	S.B.	CTC	V
	g/dm ³		mg/dm ³	-----mmol _c /dm ³ -----						
Mata	73	6	19	2,7	118	20	21	141,8	163,4	86
Seringueira	38	4	73	2,2	24	7	61	34,7	96,4	36
PD ⁽²⁾	27	4	29	3,1	15	5	37	23,8	61,1	39
PC ⁽³⁾	28	4	27	2,8	16	6	36	25,0	61,4	41

⁽¹⁾ Sistema IAC de análise de solo (RAIJ et al., 2001): Matéria orgânica (MO) medida pela oxidação com dicromato e determinação por colorimetria; pH em extrato aquoso com solução de CaCl₂; P, K, Ca, Mg extraídos por resina; H+Al por meio da leitura de pH SMP.

⁽²⁾ Plantio direto; ⁽³⁾ Plantio convencional.

3.2 Amostragem e Preparo das Amostras

Amostras de solo foram retiradas em três camadas, 0-10, 10-20 e 20-40 cm, na entrelinha das culturas, e, na mata e na seringueira, tentou-se amostrar o mais longe possível das raízes, de modo a minimizar o efeito da rizosfera. As amostragens foram feitas nas épocas correspondentes ao início e ao florescimento de cada cultura, com quatro repetições de cada tratamento. Cada amostra foi composta por cinco subamostras. Foram totalizadas 12 amostragens, o que correspondeu a três anos agrícolas. A tabela 4 dá informações mais detalhadas sobre as amostragens.

Tabela 4 – Épocas de amostragem e uso do solo.

Mês/ano de amostragem	Época de amostragem	Cultura
11/2002	Início da cultura de verão	Soja
02/2003	Florescimento da cultura de verão	Soja
05/2003	Início da cultura de inverno	Aveia
08/2003	Florescimento da cultura de inverno	Aveia
11/2003	Início da cultura de verão	Soja

continua

Tabela 4 – Épocas de amostragem e uso do solo (continuação).

Mês/ano de amostragem	Época de amostragem	Cultura
02/2004	Florescimento da cultura de verão	Soja
05/2004	Início da cultura de inverno	Triticale
07/2004	Florescimento da cultura de inverno	Triticale
12/2004	Início da cultura de verão	Soja
03/2005	Florescimento da cultura de verão	Soja
06/2005	Início da cultura de inverno	Aveia
10/2005	Florescimento da cultura de inverno	Aveia

Depois de coletadas, as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e transportadas para o laboratório, onde foram mantidas sob refrigeração (4°C) até serem analisadas. Para as análises, as amostras foram homogeneizadas e a umidade ajustada para 50 a 60% da capacidade de campo.

3.3 Variáveis Microbiológicas Analisadas

3.3.1 Quantificação de microrganismos amonificadores

Os microrganismos amonificadores foram quantificados pelo método do número mais provável (NMP), de acordo com SARATCHANDRA (1978). Foram utilizadas diluições de 10^{-4} a 10^{-9} para o solo, e alíquotas foram transferidas para tubos com meio de cultura adequado, contendo indicador. A incubação foi feita por 5 dias a 28°C e os meios dos tubos com crescimento positivo demonstraram mudança de cor laranja para rosa, devido à elevação do valor do pH acima de 7,0 pelo indicador vermelho de fenol.

3.3.2 Quantificação de microrganismos celulolíticos

A quantificação de microrganismos celulolíticos também foi feita pelo método do número mais provável (NMP), de acordo com SARATCHANDRA (1978). As diluições de solo utilizadas foram de 10^{-3} a 10^{-7} . A presença dos microrganismos foi evidenciada após 2 semanas de incubação a 28°C, pela degradação das tiras de papel de filtro adicionadas ao meio de cultura (PRAMER & SCHMIDT, 1964).

3.3.3 Carbono da biomassa microbiana (CBM)

O carbono da biomassa microbiana foi determinado pelo método da fumigação-extração (VANCE et al., 1987). No método de fumigação-extração, a amostra de solo foi dividida em duas subamostras. Uma delas foi fumigada com clorofórmio, eliminando-se os microrganismos vivos e a outra foi mantida ao natural. As amostras fumigadas com clorofórmio livre de etanol foram incubadas por um período de 5 dias a uma temperatura de $27^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$. Extraíu-se o carbono das duas subamostras em solução aquosa de sulfato de potássio a $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ (as amostras foram agitadas por 30 minutos em agitador horizontal, com posterior filtração em papel de filtro Whatman No.42). Após a extração, os extratos de solo foram submetidos à digestão por dicromato de potássio e foram congelados a -15°C para posterior determinação do carbono. Pela diferença entre o volume excedente do dicromato das amostras, fumigadas e não fumigadas, foi calculado o carbono extraído. Para cálculo do C da biomassa microbiana foi usado um fator de correção, K_c , de 0,38. Os resultados finais foram expressos em micrograma de C por grama de solo seco ($\mu\text{g g}^{-1}$ de C).

3.3.4 Liberação de CO_2

Para a quantificação da liberação de CO_2 (respiração) pelos microrganismos do solo foi utilizado o método de ALEF (1995). As amostras foram mantidas em frascos herméticos, contendo em seu interior Erlenmeyer com solução de NaOH em concentração adequada e conhecida. Essa solução reage com o CO_2 liberado pelo solo, que deve provir, em sua maior parte, da atividade respiratória dos microrganismos do solo, formando Na_2CO_3 . Esses frascos herméticos foram incubados a 28°C por 5 dias. Foi feita a avaliação da quantidade de CO_2 liberada pela quantidade de NaOH utilizada ($2 \text{ NaOH} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O}$). Para essa análise, foram adicionados 1 mL de cloreto de bário a 50% e 3 gotas de fenolftaleína e, em seguida, foi feita a titulação com HCl 1 N. Os resultados foram expressos em microgramas de CO_2 por grama de solo seco a cada dia ($\mu\text{g g}^{-1}\text{dia}^{-1}$).

3.3.5 Quociente metabólico

O quociente metabólico ($q\text{CO}_2$) é uma relação entre o CO_2 liberado e o carbono da biomassa microbiana e é usado como indicador da eficiência da comunidade

microbiana em incorporar carbono à própria biomassa (ANDERSON & DOMSH, 1989). Assim, quanto maior o índice, menos eficiente seria a comunidade microbiana em ação, já que mais dióxido de carbono é perdido para a atmosfera para incorporar uma unidade de carbono à biomassa. Os resultados foram expressos em $\mu\text{g CO}_2 \mu\text{g CBM}^{-1}\text{dia}^{-1}$.

3.3.6 Atividade da enzima celulase

A determinação da atividade da celulase foi feita conforme HOPE & BURNS (1987). O método baseia-se na determinação de açúcares redutores liberados após a incubação do solo com avicel por 16 h a 40°C. Por este método, a celulase total é estimada. Para a avaliação da atividade da celulase adicionou-se 1 g de solo em tubo de ensaio juntamente com 5 mL de tampão acetato ($0,1 \text{ mol L}^{-1}$) e 0,5 g de celulose microcristalina. Os tubos foram incubados por 24 h a 40°C, em banho maria. Após incubação as amostras foram centrifugadas por 10 minutos a cerca de 25000 g para obtenção do sobrenadante, a partir do qual foi obtido a atividade da celulase. O controle com solo foi feito adicionando-se o avicel após a incubação e imediatamente antes da centrifugação. Para determinação dos açúcares redutores, um volume de 1 mL do sobrenadante foi transferido para tubos de ensaio, juntamente com 1 mL de solução de sulfato de sódio ($1,26 \text{ mol L}^{-1}$). Os tubos foram tampados com bolinhas de vidro e levados ao banho maria por 20 minutos a 100°C. Adicionou-se 1 mL de solução de arsenato-molibdato de amônio ($0,23 \text{ mol L}^{-1}$) e, finalmente, a mistura foi diluída com 3 mL de água destilada e a absorbância medida em comprimento de onda de 520 nm. Os valores de atividade da celulase foram obtidos em curva de calibração construída a partir de uma solução de monohidrato de glicose ($79 \mu\text{g mL}^{-1}$): 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9 e 1,0 mL. Os açúcares redutores foram relacionados com os valores de absorbância obtidos em comprimento de onda de 520 nm. Os resultados foram expressos em $\mu\text{g por grama de solo seco em 24 horas } (\mu\text{g g}^{-1}\text{dia}^{-1})$.

3.3.7 Atividade da enzima protease

A enzima protease teve sua atividade determinada pelo método descrito por LADD & BUTLER (1972). Esse método mede a liberação de aminoácidos após a incubação do solo com caseinato de sódio (2%), por 2 h e a 50°C, utilizando-se o reagente de Folin Ciocalteu. O substrato utilizado foi a caseína, uma fonte de composto nitrogenado. A atividade proteolítica nas amostras foi determinada pela

adição de 5 mL de tampão tris (0,05 mol L⁻¹ – 6,05 de tris hidroximetilaminometano em 1000 mL de água destilada – pH 8,1); e 5 mL de solução de caseinato de sódio (2%) em um tubo de ensaio contendo 1 g de solo. A suspensão foi incubada por 2 h a 50°C em banho maria. No final da incubação, adicionaram-se 5 mL de solução de ácido tricloroacético (15%). O controle com solo foi feito adicionando-se 5 mL de solução de caseinato de sódio (2%) no fim da incubação e imediatamente antes da adição de solução de ácido tricloroacético (15%). As amostras de solo foram centrifugadas por 10 minutos a 155000 g. Adicionaram-se 7,5 mL de reagente alcalino (0,47 mol L⁻¹) - 1000 mL de carbonato de sódio, 20 mL de sulfato de cobre e 20 mL de tartarato de sódio e potássio – à 5 mL do sobrenadante e incubaram-se as amostras por 15 minutos em temperatura ambiente. Após a adição de 5 mL do reagente de Folin Ciocalteau (33%), as suspensões foram filtradas em papel de filtro Whatmann n.42 e a absorbância medida após 1 h. Realizou-se uma curva padrão a partir de 1, 2, 3, 4 e 5 mL de solução de tirosina (500 µg mL⁻¹) – adicionaram-se 5 mL de solução de caseinato de sódio (2%) e tampão tris (0,05 mol L⁻¹) até completar o volume de 10 mL e, finalmente, 5 mL de solução de ácido tricloroacético (15%). Os valores de atividade foram obtidos após 1 h, por leitura da absorbância em comprimento de onda de 700 nm. Os resultados foram expressos em µg por grama de solo seco em 2 horas (µg g⁻¹2h⁻¹).

3.3.8 Atividade da enzima urease

A atividade da urease foi determinada pelo método descrito por TABATABAI & BREMNER (1972), que se baseia na formação de amônia após a incubação das amostras de solo com uma solução de uréia – o substrato da urease – durante duas horas. Colocaram-se 5 g de solo em tubo de ensaio, adicionaram-se 0,2 mL de tolueno e 9 mL de tampão tris (0,05 mol L⁻¹) e 1 mL de solução de uréia (0,2 mol L⁻¹). Os volumes foram misturados e incubados por 2 horas a 37 °C em banho maria. Em seguida, adicionaram-se 35 mL de solução de cloreto de potássio (2,5 mol L⁻¹), as amostras foram agitadas e o volume completado para 50 mL pela adição de solução de cloreto de potássio (2,5 mol L⁻¹). O controle foi feito adicionando-se solução de uréia (0,2 mol L⁻¹) após a incubação e adição de 35 mL de solução de cloreto de potássio (2,5 mol L⁻¹). As suspensões foram filtradas e a partir desse extrato procedeu-se à determinação da amônia liberada, transferindo-se 20 mL desse extrato para um tubo de ensaio juntamente com 0,2 g de óxido de magnésio. Colocaram-se previamente 5 mL da

solução de ácido bórico com indicadores ($0,32 \text{ mol L}^{-1}$) em Erlenmeyer, que receberam as amostras até serem obtidos 30 mL do destilado. O volume destilado foi titulado com solução de ácido sulfúrico $0,005 \text{ mol L}^{-1}$. Um mililitro de solução de ácido sulfúrico $0,005 \text{ mol L}^{-1}$ é equivalente a $70 \mu\text{g NH}_4 - \text{N}$. Os resultados foram expressos em micrograma de $\text{NH}_4 - \text{N}$ por grama de solo seco, em duas horas ($\mu\text{g g}^{-1}2\text{h}^{-1}$).

3.4 Análise Estatística

As avaliações das oito variáveis microbiológicas nas épocas de início e florescimento das culturas de verão e inverno, durante três anos, considerando os quatro manejos e as três profundidades analisadas, resultaram em um conjunto de dados.

Esses dados foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Utilizou-se o programa estatístico Sisvar (FERREIRA, 2000). As variáveis números de microrganismos amonificadores e celulolíticos foram transformadas em $\log x$ e o quociente metabólico foi transformado em $\sqrt{x+1}$. Não foram avaliadas as interações entre os manejos, épocas e profundidades analisados, pois o objetivo era a escolha de indicadores microbiológicos. As variáveis microbiológicas capazes de diferirem entre os tratamentos considerados foram sugeridas como possíveis indicadoras da qualidade do solo, uma vez que são capazes de detectar mudanças, sejam estas relacionadas ao uso, clima ou profundidade, mostrando-se sensíveis aos fenômenos que ocorrem no solo.

Os mesmos dados foram submetidos a uma análise multivariada (análise de componentes principais). Os valores usados nesta análise estatística corresponderam às médias das quatro repetições de cada tratamento. A tabulação destes dados encontra-se em anexo. Foi utilizado o programa computacional Genes (CRUZ, 2001).

Na análise de componentes principais (ACP), o primeiro componente principal explica o maior grau de variabilidade, que vai diminuindo para cada componente à medida que sua ordem aumenta (CP 2, CP 3...). TABACHNICK & FIDELL (2007) relataram que, se o pesquisador está interessado em demonstrar somente fatores irrefutáveis, o mínimo possível de componentes deverá ser retido. Segundo a mesma fonte, só variáveis com coeficiente de 0,32 ou acima devem ser interpretadas e a partir disso, a escolha das variáveis a serem interpretadas é definida pela preferência do pesquisador. Os autovalores (raiz), nas tabelas, representam o peso de cada variável sobre o eixo, dando uma indicação direta da contribuição relativa de cada eixo para a

explicação da variância total dos dados. Os coeficientes modulares apontam qual o grau de importância de cada variável. Dessa maneira, para a obtenção das variáveis indicadoras, ou seja, que se mostraram mais sensíveis aos tratamentos utilizados, foi retida a variável de maior coeficiente no CP1 em cada uma das três camadas, considerando as análises para obtenção dos índices a partir das épocas de amostragem nas três profundidades. Nas análises em que só as profundidades foram consideradas, retiveram-se os componentes que explicassem aproximadamente 60% da variância total dos dados. A partir daí, a variável de maior coeficiente dentro de cada CP retido foi selecionada, constituindo o conjunto mínimo de dados para cada uma das três profundidades avaliadas.

Foi feita ainda uma estimativa da frequência com que as variáveis com coeficiente $\geq 0,32$, conforme proposto por TABACHNICK & FIDELL (2007), apareceram no CP 1, permitindo avaliar o número de vezes que a variável esteve relacionada com o componente que explica a maior variância dos dados e, dessa forma, mostrou-se mais sensível às modificações ocorridas no solo.

Os resultados encontrados utilizando-se a análise multivariada (ACP) foram confrontados com os resultados obtidos pela análise de variância, buscando encontrar as variáveis microbiológicas que se mostraram boas indicadoras da qualidade do solo para ambas análises estatísticas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Microbiota

4.1.1 Quantificação de microrganismos amonificadores

O número de microrganismos amonificadores diferiu entre os usos, épocas e profundidades de amostragem (Figura 1). Dentre os usos, a mata teve média com valores maiores que os demais. Quando se estuda a comunidade microbiana e sua atividade em solos de mata, espera-se encontrar, de modo geral, valores relativamente maiores quando comparados a solos com outro tipo de vegetação e mesmo em solos sob culturas, já que a microbiota é favorecida pela maior diversidade florística e pela cobertura vegetal, que propicia maior acúmulo de matéria orgânica (Tabela 3) fornecendo maior quantidade de nutrientes para o desenvolvimento da comunidade microbiana (BANDICK & DICK, 1999). Outro fator considerável é a presença de grande quantidade de raízes, já que a mata é um sistema com pouca intervenção humana. De acordo com CARDOSO & FREITAS (1992), o número de microrganismos na rizosfera é muito maior que o de microrganismos em solo não rizosférico devido à maior concentração de compostos orgânicos oriundos da raiz, que favorecem o crescimento de microrganismos. MELLONI et al. (2001) também observaram os maiores valores em ecossistema de mata, quando comparado com uma área de campo cerrado, apesar de não haver diferença significativa entre os microrganismos amonificadores.

No solo, o desenvolvimento dos microrganismos depende da disponibilidade de matéria orgânica, umidade, temperatura, nutrientes, pH e presença de microrganismos parasitas e antagonistas (GAMA-RODRIGUES, 1999). Talvez um ou mais desses fatores possa ter estimulado eficientemente os microrganismos no florescimento do inverno, uma vez que essa época apresentou a maior comunidade amonificadora. Deve-se considerar também que uma grande variedade de microrganismos amonificantes atua nesse nicho, e talvez os fatores característicos dessa época tenham exercido um efeito positivo nas comunidades microbianas amonificadoras presentes.

CATTELAN & VIDOR (1990), em experimento de campo no Rio Grande do Sul, observaram que as variações climáticas exerceram maior efeito sobre a flutuação da microbiota do solo, verificando-se uma tendência de estímulo em épocas de boa

disponibilidade hídrica e temperaturas amenas – início de agosto ao início novembro - período correspondente às coletas do florescimento de inverno no presente trabalho. No Estado de São Paulo, a disponibilidade hídrica não é característica do período aqui denominado florescimento do inverno, uma vez que aqui incluiu os meses de junho a setembro; entretanto, o início de setembro é caracterizado pelo princípio das chuvas e a elevação das temperaturas. Deve-se considerar também o aporte de substrato orgânico via resíduos da cultura de verão, que é a soja, com baixa relação C/N.

No mesmo estudo, verificou-se que a biomassa e a comunidade microbiana tiveram valores maiores na camada superficial, o que está de acordo com os valores mostrados na figura 1.

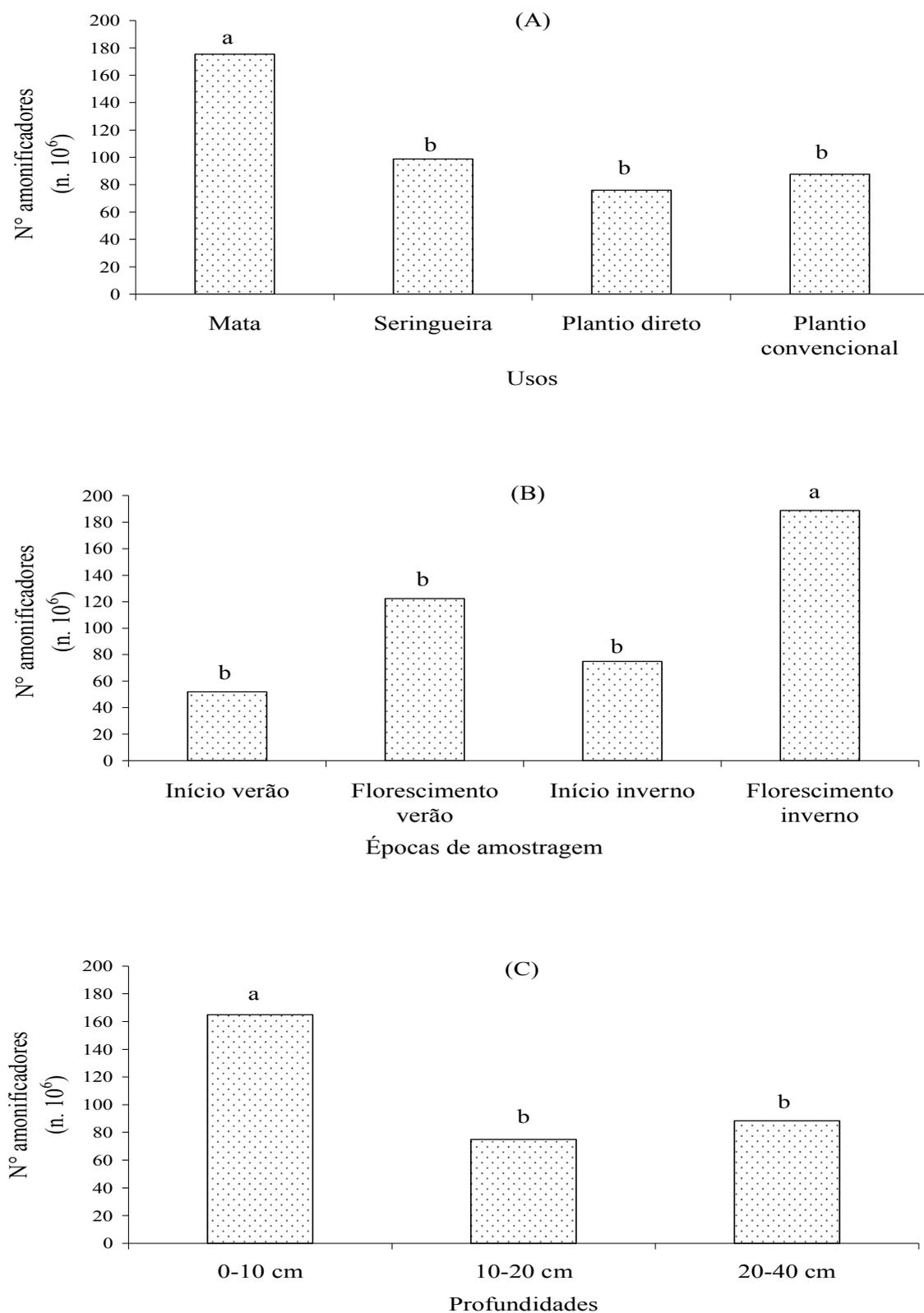


Figura 1 - Quantificação de microrganismos amonificadores no decorrer de três anos agrícolas em função dos usos (A), épocas de amostragem (B) e profundidades (C) do solo. Dados originais; para análise de variância os dados foram transformados em $\log x$. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

4.1.2 Quantificação de microrganismos celulolíticos

No decorrer dos três anos agrícolas analisados, verificou-se que os números de microrganismos celulolíticos não foram influenciados pelo uso do solo (Figura 2). MELLONI et al. (2001), avaliando a comunidade microbiana na região de Minas Gerais, também não encontraram diferenças significativas entre as áreas de mata ciliar e de campo cerrado para o número de microrganismos celulolíticos.

Quando se observam as épocas de amostragem, os números de microrganismos mostraram-se distintos nas duas primeiras épocas analisadas (início e florescimento do verão) e não diferiram entre si nas épocas de inverno. Os maiores valores foram encontrados no início da cultura de verão. CASTRO et al. (1993), avaliando a atividade de microrganismos do solo em sistemas de manejo, verificaram maiores números de microrganismos celulolíticos no momento do preparo do solo para a cultura de verão, mas somente quando considerado o sistema de plantio direto.

Considerando a profundidade, os números de microrganismos diferiram entre si, nas três camadas. Os maiores valores observados na superfície confirmam novamente os dados encontrados por CATTELAN & VIDOR (1990), em cujo trabalho se observou que a profundidade 0-5 cm estimulou a comunidade e a atividade microbianas.

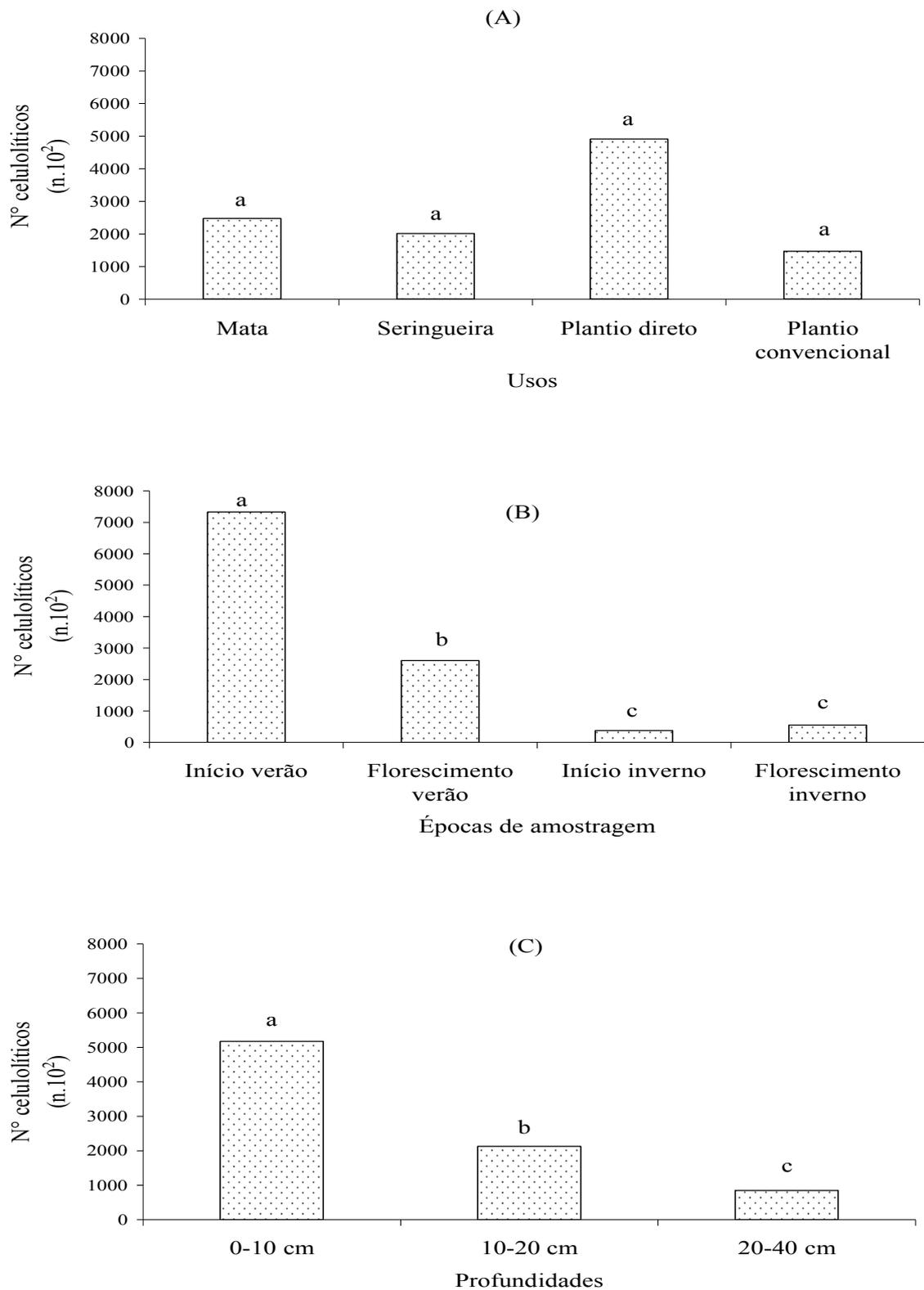


Figura 2 - Quantificação de microrganismos celulolíticos no decorrer de três anos agrícolas em função dos usos (A), épocas de amostragem (B) e profundidades (C) do solo. Dados originais; para análise de variância os dados foram transformados em log x. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

4.1.3 Carbono da biomassa microbiana

O solo da mata apresentou o maior valor de carbono microbiano (Figura 3). O maior aporte de material orgânico incorporado ao solo (Tabela 3), principalmente via depósito de plantas, implicou um maior acúmulo de carbono pela biomassa microbiana e, conseqüentemente, melhores condições de desenvolvimento da microbiota. Os dados encontrados por MATSUOKA et al. (2003) confirmam as condições mais favoráveis em áreas sob vegetação nativa. Segundo esses autores, a diversidade florística das áreas nativas e a presença da vegetação durante todo o ano influenciam a produção (quantidade) e qualidade da serrapilheira. O somatório desses fatores contribuiria para a ocorrência de maiores níveis de biomassa microbiana nessas áreas, comparativamente às áreas de cultivo.

As amostras de solo sob plantio direto e convencional não diferiram da seringueira e nem mesmo entre si. O fato de a biomassa microbiana ser sensível às alterações nas formas de carbono orgânico do solo devido às mudanças no manejo ou uso do solo sugeriria alguma diferença estatística significativa. Porém, esse resultado não foi verificado. Segundo POWLSON et al. (1987), depois que uma alteração é induzida, a biomassa sofre flutuações até atingir um novo equilíbrio. No entanto, é importante considerar que as áreas sob os plantios direto e convencional envolvidas neste trabalho já possuem mais de sete anos e a comunidade microbiana pode estar adaptada às condições do solo, acarretando menores flutuações na biomassa para alcançar um novo equilíbrio. Esse fato explica a ausência de diferenças significativas entre os plantios direto e convencional e entre esses dois tratamentos e a área sob seringueira, onde se espera que o solo esteja sob condição mais estável, já com equilíbrio da microbiota.

Os valores mais elevados dos teores de C microbiano implicam maior imobilização temporária de nutrientes e, conseqüentemente, em menores perdas de nutrientes no sistema solo-planta (MERCANTE et al., 2004). Atualmente há diversos trabalhos envolvendo o estudo do carbono da biomassa microbiana em variedades de cultivo, ecossistemas de cerrado e em solos com área degradada (ROLDAN et al., 2007; BALOTTA et al., 2003; CONCEIÇÃO et al., 2005; VARGAS & SCHOLLES, 2000; OLIVEIRA et al., 2001; PEREZ et al., 2004; VASQUES-MURRIETA et al., 2006). De maneira geral, os teores de carbono da biomassa microbiana (CBM) comentados nesses artigos mantiveram-se maiores na camada superficial do solo (até 10 cm de

profundidade), independentemente das características das áreas estudadas, aspecto que se repetiu no presente estudo. As maiores concentrações nas camadas mais superficiais podem ser explicadas pelo acúmulo de resíduos vegetais na superfície, da matéria orgânica biodegradável e de carbono orgânico do solo. Nas áreas em que houve preparo do solo, ao longo do tempo, há ainda, uma interferência na quantidade de carbono orgânico total e na sua distribuição ao longo do perfil (GERALDES et al., 1995). Isso não foi observado no presente trabalho para nenhuma das variáveis comentadas até agora: números de microrganismos amonificadores e celulolíticos e carbono da biomassa microbiana. A incorporação de material ao solo pelo plantio convencional poderia ter induzido aumento nas quantidades de microrganismos em comparação com os outros usos do solo, particularmente no plantio direto, no qual a mesma cultura é mantida, mas sem incorporação de matéria vegetal em profundidade.

Considerando as épocas de amostragem, as épocas de inverno diferiram entre si e das épocas de amostragem de verão. DEBOSZ et al. (1999), com o objetivo de determinar a extensão das variações temporais num período de dois anos em algumas variáveis microbiológicas, entre elas o CBM, observaram que houve variação de acordo com as épocas, as quais poderiam ser associadas com fatores ambientais (como temperatura e umidade, por exemplo) e crescimento das culturas e não devido a diferenças pelo estímulo da matéria orgânica. Os maiores valores nas amostragens ocorridas no verão nos fazem supor que algumas características associadas a essa estação, tais como maiores temperaturas e umidade, e a cultura, com distinto padrão de exsudação radicular, influenciaram a microbiota, resultando em maiores teores de CBM.

Os valores de carbono da biomassa microbiana diferiram entre si quando consideradas as profundidades, com os maiores valores observados na superfície. ZAMORA et al. (2005), com o objetivo de avaliar as mudanças na biomassa microbiana e na atividade enzimática influenciadas pelo efeito de diferentes sistemas de rotação de culturas na Venezuela, verificaram que os parâmetros biológicos – entre eles, o carbono da biomassa microbiana – foram mais influenciados na camada superficial (0-10 cm) e diminuiram significativamente com a profundidade do solo. GLOVER et al. (2000), D'ANDRÉA et al. (2002) e MATSUOKA et al. (2003) também verificaram a influência da profundidade no carbono da biomassa microbiana.

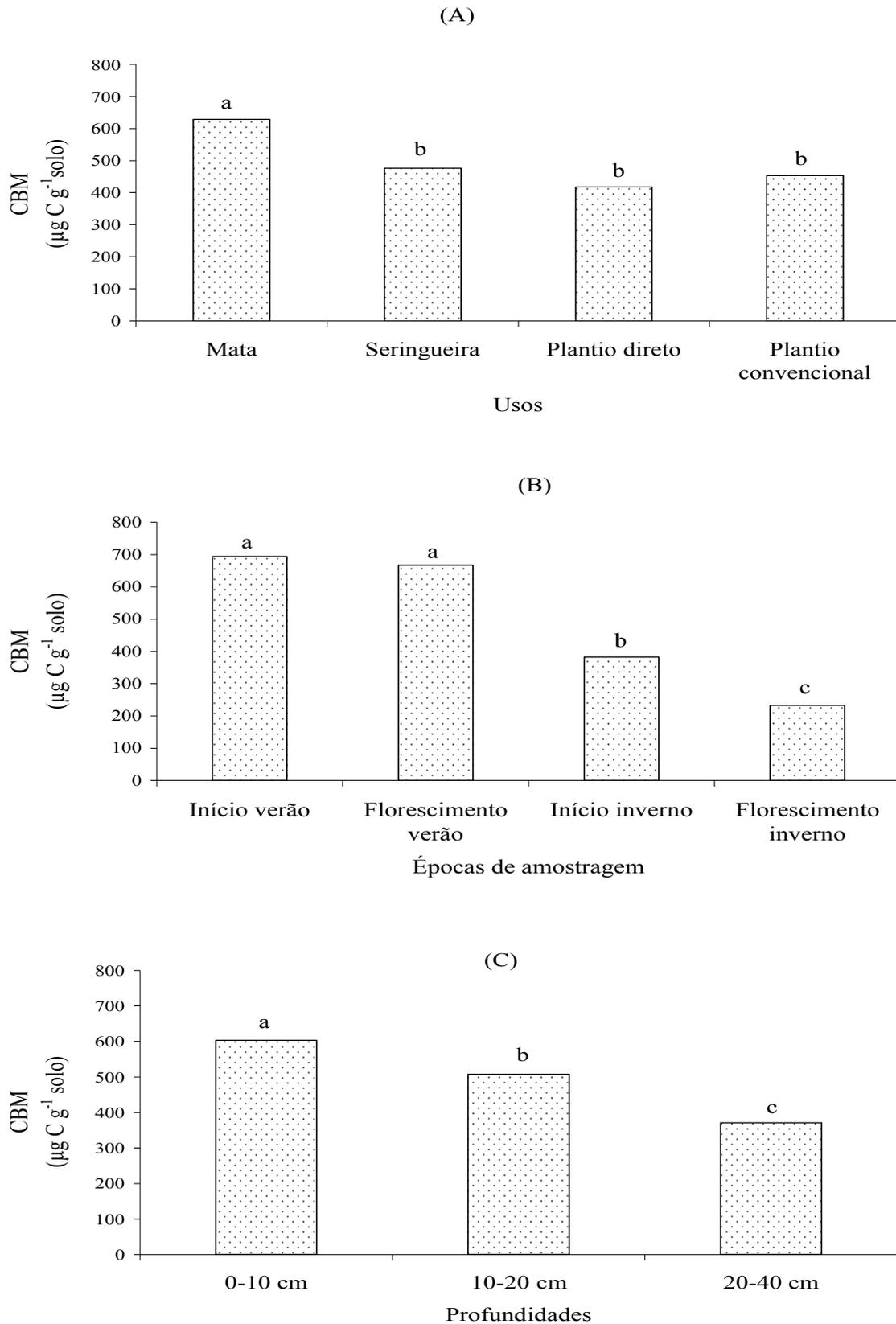


Figura 3 - Teores de carbono da biomassa microbiana no decorrer de três anos agrícolas em função dos usos (A), épocas de amostragem (B) e profundidades (C) do solo. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

4.1.4 Liberação de CO₂

Com base nos resultados da figura 4, verificou-se que as maiores perdas de C-CO₂ por atividade microbiana ocorreram na mata e na seringueira. A maior liberação de CO₂ nos solos em condições naturais – isto é, sem ação antrópica – pode ser função da constante incorporação de resíduos, com acúmulo de matéria orgânica em frações lábeis, promovendo uma alta atividade biológica sobre esse material, liberando CO₂. CATELLAN & VIDOR (1990) avaliando os efeitos de fatores ambientais sobre a biomassa e atividade microbiana, também verificaram a maior liberação de CO₂ no campo nativo. Verificaram que os sistemas que promovem boa cobertura vegetal apresentaram maior biomassa, em oposição aos sistemas com solo descoberto, onde houve menores biomassa e liberação de CO₂. Os menores valores de liberação de CO₂ no presente trabalho foram verificados no plantio convencional, manejo em que os resíduos vegetais são incorporados ao solo. Entretanto, essa incorporação de resíduos deve ter estimulado os microrganismos devido à mais rápida disponibilização de nutrientes, fazendo com que o plantio convencional e o direto não diferissem entre si, apesar das diferenças no uso do solo (Tabela 3).

Os valores da liberação de CO₂ nas diferentes épocas de amostragem avaliadas não apresentaram diferenças estatísticas. CATELLAN & VIDOR (1990), num experimento de campo conduzido durante um ano com as seqüências culturais aveia/milho; aveia + vica/milho + caupi; siratro; guandu + milho, pangola, além de uma área de pastagem nativa de gramíneas e um solo descoberto avaliaram a atividade microbiana do solo verificando que as amostras obtidas no inverno apresentaram menores valores de respiração basal que as do verão. BALOTA et al. (1998), num experimento de campo conduzido durante 3 anos em solo submetido às sucessões de culturas trigo/soja e trigo/milho, preparado pelo sistema convencional e direto, observaram a mesma tendência. Para VARGAS & SCHOLLES (2000) os microrganismos são muito sensíveis e podem ser influenciados pelos fatores bióticos e abióticos. Segundo SANTOS & CAMARGO (1999), dentre as variáveis climáticas, a precipitação pluvial e a temperatura são as que exercem maior influência. PEÑA et al. (2005) utilizando a respiração microbiana como indicadora de qualidade do solo em ecossistema florestal, não encontraram variações na atividade microbiana nas camadas superficiais do solo, ao longo das estações do ano. Segundo os autores, a avaliação da produção de CO₂ em laboratório dificulta a avaliação do efeito estacional, pois no

procedimento analítico, a temperatura é mantida constante. Segundo BROOKES (1995), citado por FORTES NETO et al. (2007), quando a respiração microbiana é determinada em amostras de solo coletadas no campo, situação verificada no presente estudo, essas amostras estão sob influência das condições climáticas do momento da coleta, o que poderá proporcionar acentuadas variações nos resultados.

Avaliando o efeito da profundidade do solo, observa-se que as taxas de liberação de CO₂ decrescem de acordo com a profundidade. De acordo com VARGAS & SCHOLLES (2000), as diferenças nas atividades do perfil do solo refletem a distribuição dos resíduos vegetais, o que foi confirmado pelos resultados. Esse efeito, no entanto, não foi evidenciado para os números de microrganismos amonificadores, que não diferiram entre as camadas 10-20 e 20-40 cm.

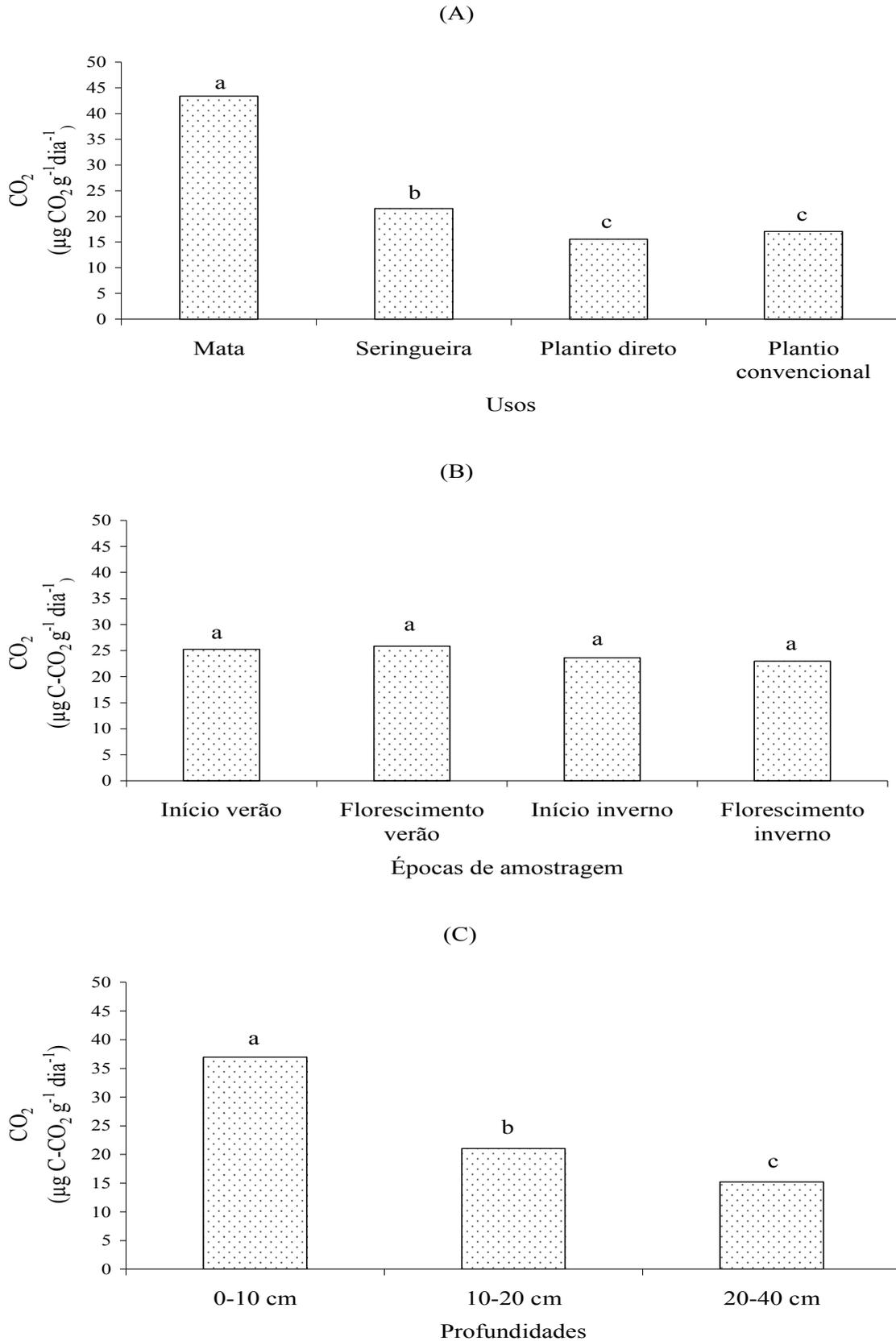


Figura 4 - Liberação de CO₂ no decorrer de três anos agrícolas em função dos usos (A), épocas de amostragem (B) e profundidades (C) do solo. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

4.1.5 Quociente metabólico

O quociente metabólico (qCO_2) não diferiu entre os usos (Figura 5). De acordo com ANDERSON & DOMSCH (1993), o quociente metabólico tem a função de um possível indicador de estresse ambiental, sendo que altos valores corresponderiam à necessidade de uma alta demanda de energia da comunidade microbiana para sua manutenção (situação de estresse). Segundo SPARLING (1997), citado por NIELSEN & WINDING (2002), deve-se ter cuidado quando se interpreta o qCO_2 , uma vez que um alto quociente pode inferir estresse, um ecossistema imaturo ou uma maior oferta de substrato para a respiração. LEONARDO (2003), avaliando o uso sustentável de uma microbacia, na região do Paraná, observou pela análise dos componentes principais, que os solos nos dois fragmentos florestais tidos como testemunhas encontravam-se com sua microbiota em condições mais estressantes do que a área de soja que vem sendo cultivada há onze anos sob o sistema de plantio direto com rotação de culturas. Em contrapartida, D'ANDRÉA et al. (2002), analisando alterações em atributos biológicos na adoção de sistemas de manejo em áreas sob cerrado nativo, em um experimento de campo, observaram que o qCO_2 não diferiu entre o cerrado nativo e os diferentes sistemas de manejo estudados. De maneira semelhante, CASTILLO & JOERGENSEN (2001), estudando os efeitos de manejos ecológicos e convencionais nos indicadores químicos e biológicos de qualidade na Nicarágua, não verificaram efeito significativo do sistema de manejo nos valores do quociente metabólico.

Não houve diferenças estatísticas quando considerada as épocas de amostragem e as profundidades. O alto coeficiente de variação pode ter sido o responsável por esses resultados. Em estudos de Microbiologia do Solo, são relativamente comuns coeficientes de variação mais altos, pelo número de fatores que pode influenciar os microrganismos. Tratando-se de um experimento de campo, esse efeito pode ser ainda mais pronunciado. MERCANTE et al. (2004), avaliando no decorrer de três safras de verão e inverno (anos 2001, 2002 e 2003) a influência de diferentes tipos de manejo na biomassa microbiana, verificaram semelhantes qCO_2 entre os diferentes sistemas, exceto na safra de verão 2002-2003, com o sistema sob pastagem contínua obtendo maior valor.

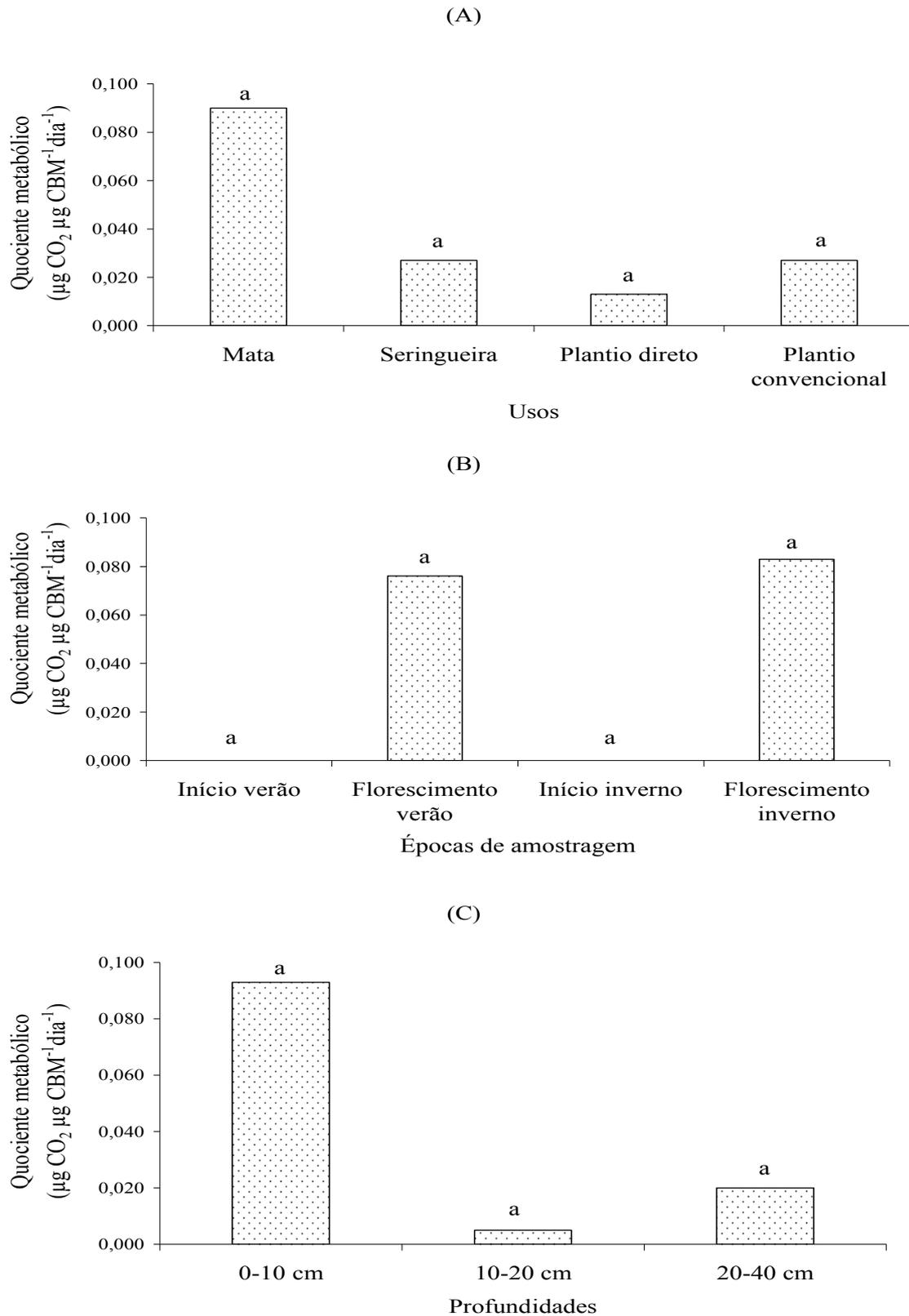


Figura 5 - Quociente metabólico no decorrer de três anos agrícolas em função dos usos (A), épocas de amostragem (B) e profundidades (C) do solo. Dados originais; para a análise de variância os dados foram transformados em $\sqrt{x+1}$. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

4.1.6 Atividade da enzima celulase

Enzimas são mediadoras diretas do catabolismo dos componentes minerais e orgânicos do solo. Sendo assim, a compreensão de sua atuação permite um entendimento estimado das importantes reações dos processos que ocorrem no solo (DICK et al., 1996, citados por NIELSEN & WINDING, 2002). Muitos trabalhos utilizam enzimas para avaliação dos efeitos do manejo no solo, porém, poucos deles utilizam a enzima celulase como variável nos estudos.

Analisando os dados apresentados na figura 6, observa-se que não houve diferenças significativas entre os usos, diferentemente dos resultados encontrados por MARCHIORI JÚNIOR & MELO (1999). Esses autores verificaram em área sob pastagem por 25 anos, atividades de celulase 47 e 74% maiores do que as encontradas no solo sob mata natural, para as profundidades 0-10 e 10-20 cm, respectivamente. Tal resultado foi atribuído à entrada de substrato enriquecido em celulose no agrossistema, causando a síntese de novas moléculas de celulase e resultando nas diferenças significativas encontradas. No presente estudo, a presença de material celulósico em alguns tratamentos não foi suficiente para estimular a microbiota do solo.

Considerando as épocas de amostragem (Figura 6), a atividade da enzima celulase foi estimulada no florescimento da cultura de inverno. Esperava-se o maior número de microrganismos celulolíticos nessa mesma época, o que não foi observado. De acordo com a figura 2, o início da cultura de verão apontou o maior número de celulolíticos e as épocas de inverno, os menores. Os dados sugerem que diversos fatores influenciem essas variáveis e que a resposta de ambas a esses fatores seja diferente, embora não haja teste de correlação para comprovar tal afirmação. As amostragens de verão para a atividade enzimática não diferiram entre si. UHLIRÕVA et al. (2005), avaliando a transformação microbiana da matéria orgânica em solos de vegetação de altitude submetidos a diferentes manejos – um com aração e gradagem da cultura, outro caracterizado pela manutenção dos resíduos da cultura na superfície e um terceiro sem tratamento – durante cinco anos, observaram que a decomposição da celulose e sua taxa de mineralização possuem uma alta variabilidade temporal; entretanto, o efeito do tipo de manejo foi significativo. Os autores verificaram que as taxas de mineralização e decomposição da celulose foram maiores nas áreas sem incorporação dos resíduos culturais e sem tratamento, o que não foi verificado no presente trabalho, uma vez que não houve diferenças significativas entre os manejos.

Analisando a profundidade, a atividade enzimática diminuiu com as camadas mais profundas de solo. Esse resultado era esperado devido à maior oferta de resíduos vegetais, ricos em celulose, na superfície. O único tratamento em que se pode supor alguma influência sobre as camadas mais profundas é o plantio convencional, onde ocorre revolvimento do solo. O número de microrganismos celulolíticos também decresceu de acordo com a profundidade (Figura 2).

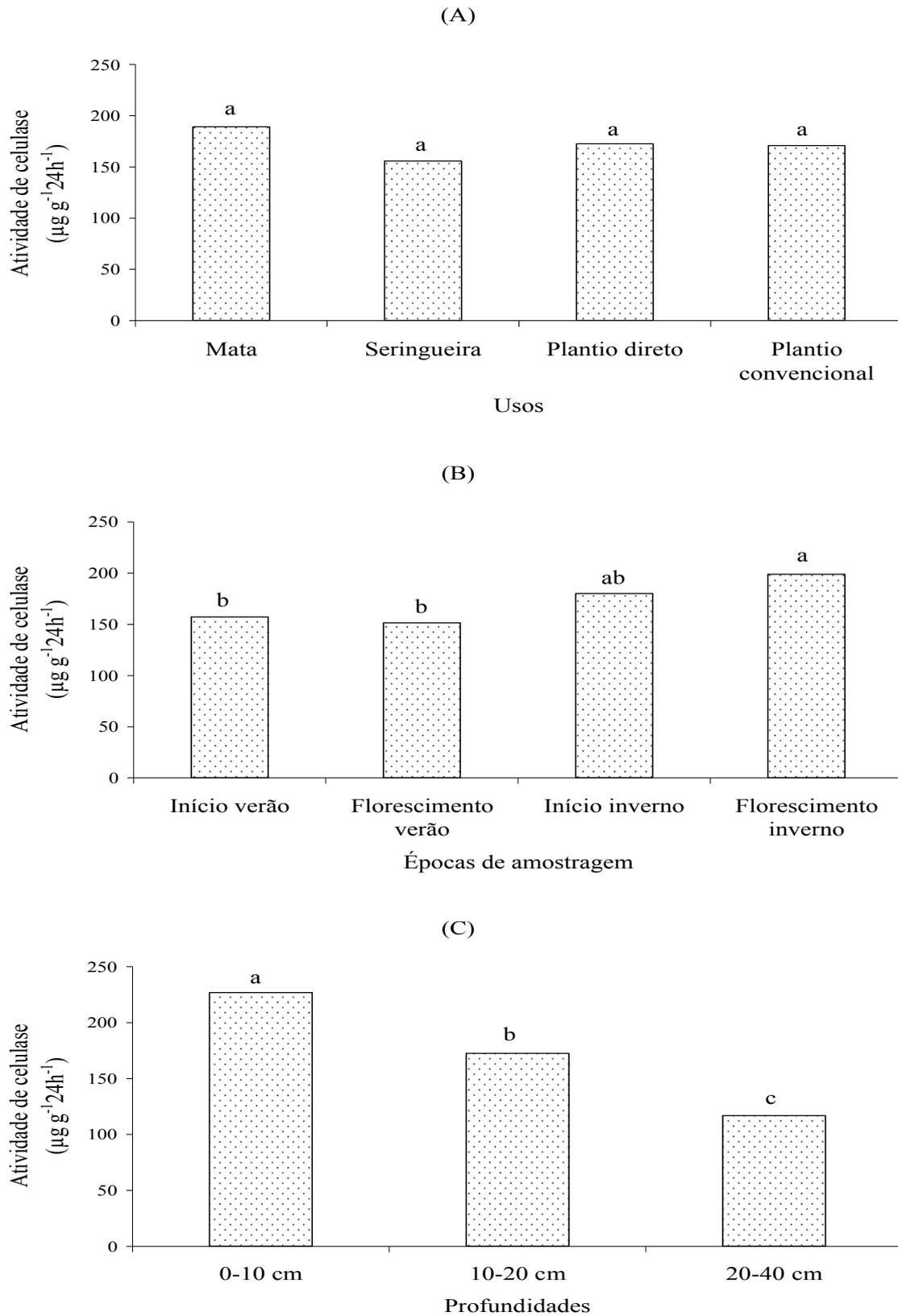


Figura 6. Atividade da enzima celulase no decorrer de três anos agrícolas em função dos usos (A), épocas de amostragem (B) e profundidades (C) do solo. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

4.1.7 Atividade da enzima protease

A atividade de enzimas, de maneira geral, é afetada pela natureza da cobertura vegetal (DEBOSZ et al., 1999; SICARDI et al., 2004; ROLDÁN et al., 2007). Segundo SINSABAUGH (1994), a avaliação de enzimas oferece as vantagens da sensibilidade, especificidade e facilidade. Os dados referentes à atividade da protease em relação aos usos do solo mostraram que a mata diferiu dos demais, que não diferiram entre si. A maior diversidade de resíduos vegetais e também o maior volume de ambiente rizosférico da mata devem ter sido, mais uma vez, responsáveis pelo resultado. Era esperado que o plantio direto e o plantio convencional diferissem entre si devido a maneira como os resíduos vegetais da cultura anterior são dispostos no solo.

GARCIA & NAHAS (2007), avaliando a biomassa e atividades microbianas em solo sob pastagem com diferentes lotações de ovinos, observaram que todas as variáveis microbianas, entre elas a enzima protease, diminuíram sua atividade com o aumento da profundidade do solo. De acordo com os mesmos autores, o solo da camada superficial (0-10 cm) tende a acumular matéria orgânica e nutrientes, resultando em aumento da biomassa e atividade microbianas. A mesma profundidade foi apontada por SILVA & MELO (2004) como sendo a de maior atividade proteolítica.

Avaliando a atividade enzimática e as épocas de amostragem, verifica-se que houve algum estímulo aos microrganismos proteolíticos no início da cultura de verão. Em contrapartida, o florescimento de inverno teve a menor atividade enzimática. WICK et al. (2002), avaliando as variações temporais de indicadores microbiológicos e bioquímicos em solos de diferentes qualidades na Nigéria, constataram que a atividade da protease flutuou acentuadamente durante o curso do ano e exibiu pronunciada diferença entre as estações.

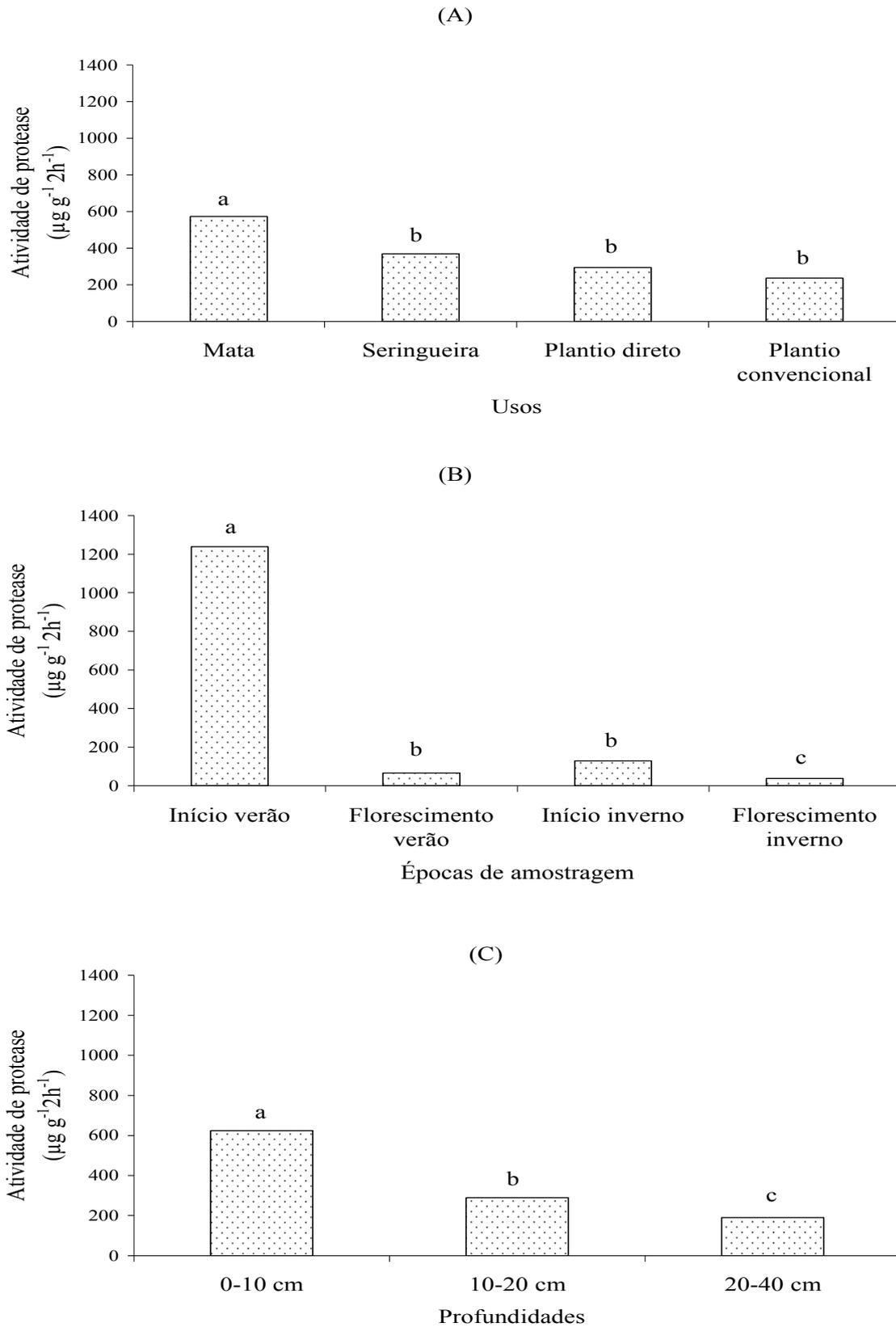


Figura 7 - Atividade da enzima protease no decorrer de três anos agrícolas em função dos usos (A), épocas de amostragem (B) e profundidades (C) do solo. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

4.1.8 Atividade da enzima urease

Os microrganismos estão diretamente envolvidos nos ciclos dos nutrientes no solo. O processo de mineralização do nitrogênio é resultante da degradação de formas orgânica do elemento, decorrente da atividade desses microrganismos, desempenhando assim um importante papel no ciclo do nitrogênio. A quantificação da enzima urease pode fornecer uma indicação do potencial do solo em converter nitrogênio orgânico em mineral, dando início ao processo de mineralização do nitrogênio.

A mata manteve os maiores valores para a atividade da urease dentre todos os usos do solo avaliados. A oferta de maior quantidade e, principalmente, de diversidade de substratos potencialmente mineralizáveis na mata deve ter favorecido os microrganismos (BANDICK & DICK, 1999). ZHANG et al. (2006), avaliando mudanças de qualidade através de propriedades químicas, bioquímicas e microbiológicas em áreas degradadas na China, também encontraram as maiores atividades de urease em solos sem interferência antrópica. BANDICK & DICK (1999) verificaram que a enzima urease mostrou boa separação entre os tratamentos, fato que não foi verificado nestes resultados (Figura 8), uma vez que o plantio direto e o convencional não diferiram entre si. Talvez, novamente o efeito na atividade enzimática só seja verificado quando se analisa a profundidade. A camada 10-20 não diferiu das camadas 0-10 e 20-40 cm, diferentes entre si. O plantio convencional, caracterizado pelo revolvimento do solo, pode ter estimulado os microrganismos na camada intermediária. Ainda assim, a camada 0-10 cm mostrou os maiores valores da enzima urease, concordando com os dados encontrados por GARCIA & NAHAS (2007).

VALPASSOS et al. (2007), avaliando a recuperação das propriedades microbiológicas do solo, também observaram maior atividade da urease em áreas menos degradadas. Nessas áreas havia uma maior quantidade de carbono orgânico e maior número de microrganismos, existindo uma correlação positiva com a atividade enzimática. Quando se considera o número de microrganismos amonificadores – também envolvidos na ciclagem do nitrogênio – no presente estudo (Figura 1), recorda-se que os maiores números também correspondiam à profundidade 0-10 cm de solo.

Avaliando as épocas de amostragem, verificou-se que o início da cultura de verão foi a época com maior atividade enzimática (Figura 8). Segundo CAMARGO et al. (1999), a quantidade de N-mineralizado em um determinado período depende de

fatores como temperatura, umidade, aeração, quantidade e natureza do material orgânico presente. Assim, algum ou alguns desses fatores deve ter influenciado a atividade dos microrganismos ureolíticos nesse período. O número de microrganismos amonificadores (Figura 1), ao contrário da atividade enzimática, foi maior no florescimento da cultura de inverno. A variedade dos microrganismos atuantes nesse nicho é um fator importante a ser considerado. NIELSEN & WINDING (2002) afirmam que a grande variedade de microrganismos amonificadores torna as perturbações menos sensíveis quando se analisam medidas relacionadas ao ciclo do nitrogênio.

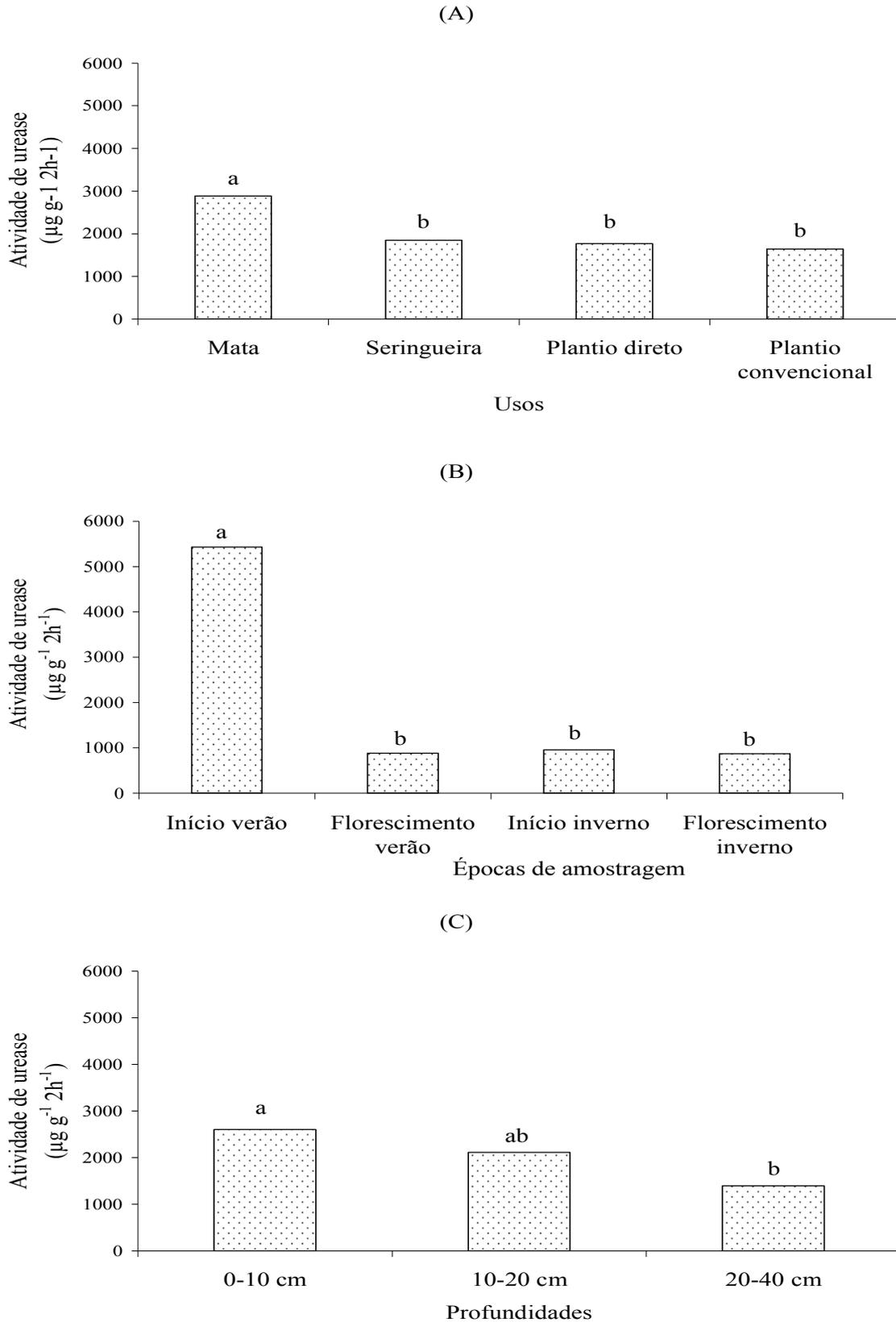


Figura 8 - Atividade da enzima urease no decorrer de três anos agrícolas em função dos usos (A), épocas de amostragem (B) e profundidades (C) do solo. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

4.2 Índices de Qualidade

O uso da estatística multivariada, mais especificamente da análise dos componentes principais (ACP), teve por objetivo avaliar o potencial de cada variável microbiológica como indicadora da qualidade do solo.

4.2.1 Índices obtidos considerando as épocas de amostragem nas três profundidades avaliadas

4.2.1.1 Início da cultura de verão

O primeiro componente é sempre o mais importante. No início da cultura de verão, o primeiro componente explicou 42,6% da variância total dos dados na profundidade 0-10 cm (Tabela 5), 36,8% na profundidade 10-20 cm (Tabela 7) e 42,3% na profundidade 20-40 cm (Tabela 9). Essa porcentagem sugere uma boa síntese do conjunto de dados originais, justificando a prioridade dada ao primeiro componente principal quando se considera a seleção de indicadores para se analisar a qualidade do solo. Observando os valores modulares dos coeficientes, pode-se verificar a variável mais significativa na formação do componente principal (CP) e conseqüentemente dos índices de qualidade. Dessa maneira, na tabela 6, o quociente metabólico apresentou o maior coeficiente (0,51), justificando sua retenção como indicador de qualidade na profundidade 0-10 cm, no início da cultura de verão. Nas tabelas 8 e 10 respectivamente, os maiores coeficientes corresponderam à enzima urease (-0,52) e o novamente ao quociente metabólico (-0,52).

Tabela 5. Estimativas dos autovalores associados aos componentes principais, juntamente com sua importância relativa (raiz %) e acumulada, referente às variáveis microbiológicas avaliadas na profundidade 0-10 cm, nas amostragens do início da cultura de verão e independentemente do uso do solo.

Componente	Raiz	Raiz (%)	Acumulada (%)
1	3,4068909	42,5861357	42,5861357
2	1,6954562	21,1932026	63,7793383
3	1,2013938	15,0174221	78,7967604

Tabela 6. Coeficientes associados a cada variável microbiológica avaliada na profundidade 0-10 cm durante a definição dos componentes principais, no início da cultura de verão e independentemente do uso do solo.

Variável	Componente 1
Amonificadores	-0,1354
Celulolíticos	-0,1518
Carbono da biomassa	-0,1177
Respiração	0,4579
Quociente metabólico	0,5119*
Celulase	0,4582
Protease	-0,2141
Urease	0,4661

*Valor em negrito se refere a variável com o maior coeficiente associado ao primeiro componente principal.

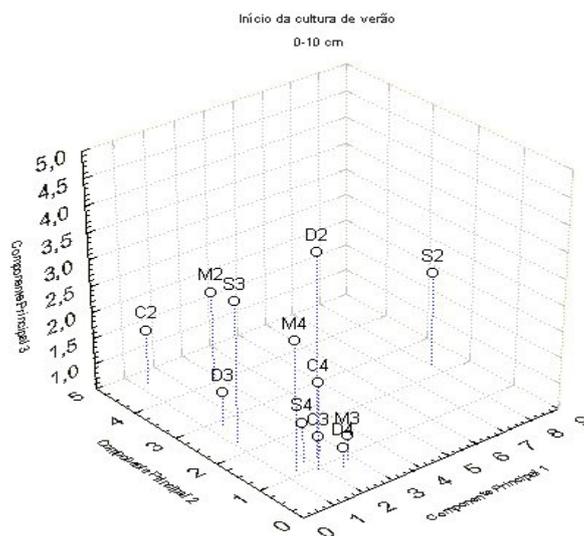


Figura 9 - Projeção dos componentes principais 1, 2 e 3 (com respectivamente 43%, 21% e 15% da variação explicadas) retidos na análise das oito variáveis microbiológicas no início da cultura de verão, profundidade 0-10 cm. Legenda: letras M, S, C e D correspondem aos tratamentos mata, seringueira, convencional e plantio direto; números 3, 4 e 5 correspondem às amostragens em 2003, 2004 e 2005, respectivamente.

Tabela 7. Estimativas dos autovalores associados aos componentes principais, juntamente com sua importância relativa (raiz %) e acumulada, referente às variáveis microbiológicas avaliadas na profundidade 10-20 cm, nas amostragens do início da cultura de verão e independentemente do uso do solo.

Componente	Raiz	Raiz (%)	Acumulada (%)
1	2,9453434	36,8167926	36,8167926
2	2,0444476	25,5555955	62,3723882
3	1,4312948	17,8911854	80,2635736

Tabela 8. Coeficientes associados a cada variável microbiológica avaliada na profundidade 10-20 cm durante a definição dos componentes principais, no início da cultura de verão e independentemente do uso do solo.

Variável	Componente 1
Amonificadores	0,3991
Celulolíticos	0,104
Carbono da biomassa	-0,2376
Respiração	-0,0488
Quociente metabólico	-0,4293
Celulase	-0,2103
Protease	0,5171
Urease	-0,5246*

*Valores em negrito se refere a variável com o maior coeficiente associado ao primeiro componente principal.

Tabela 9. Estimativas dos autovalores associados aos componentes principais, juntamente com sua importância relativa (raiz %) e acumulada, referente às variáveis microbiológicas avaliadas na profundidade 20-40 cm, nas amostragens do início da cultura de verão e independentemente do uso do solo.

Componente	Raiz	Raiz (%)	Acumulada (%)
1	3,38595	42,3243756	42,3243756
2	1,6363755	20,4546944	62,7790699
3	1,2137489	15,1718612	77,9509312

Tabela 10. Coeficientes associados a cada variável microbiológica avaliada na profundidade 20-40 cm durante a definição dos componentes principais, no início da cultura de verão e independentemente do uso do solo.

Variável	Componente 1
Amonificadores	0,3158
Celulolíticos	-0,2322
Carbano da biomassa	-0,3951
Respiração	0,4341
Quociente metabólico	0,5276*
Celulase	0,1249
Protease	-0,3128
Urease	0,3319

*Valor em negrito se refere a variável com o maior coeficiente associado ao primeiro componente principal.

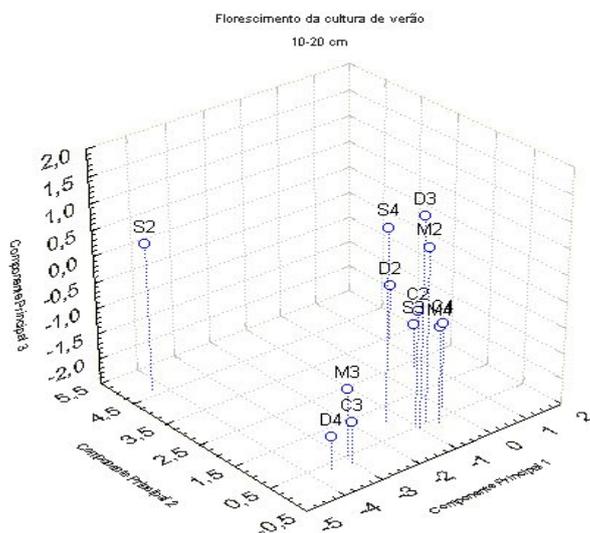


Figura 10 - Projeção dos componentes principais 1, 2 e 3 (com respectivamente 37%, 26% e 18% da variação explicadas) retidos na análise das oito variáveis microbiológicas no início da cultura de verão, profundidade 10-20 cm. Legenda: letras M, S, C e D correspondem aos tratamentos mata, seringueira, convencional e plantio direto; números 3, 4 e 5 correspondem às amostragens em 2003, 2004 e 2005, respectivamente.

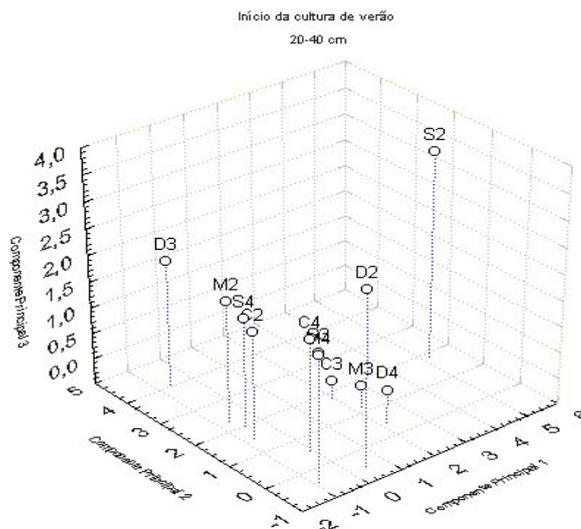


Figura 11 - Projeção dos componentes principais 1, 2 e 3 (com respectivamente 42%, 20% e 15% da variação explicadas) retidos na análise das oito variáveis microbiológicas no início da cultura de verão, profundidade 20-40 cm. Legenda: letras M, S, C e D correspondem aos tratamentos mata, seringueira, convencional e plantio direto; números 3, 4 e 5 correspondem às amostragens em 2003, 2004 e 2005, respectivamente.

Considerando a época correspondente ao início da cultura de verão (Tabelas 5 a 10), verifica-se que a análise dos componentes principais (ACP) apontou, dentre as oito variáveis disponíveis, o quociente metabólico (qCO_2) e a enzima urease como os descritores mais sugestivos para se avaliar a qualidade do solo. Ambas as variáveis se mostraram mais sensíveis às modificações ocorridas nos ambientes estudados.

Estudos têm identificado o qCO_2 como uma variável sensível para detectar a mudança de qualidade de solo (PANKHURST, 2002; LEONARDO, 2003; MERCANTE et al., 2004; CARVALHO, 2005; FIALHO et al., 2006). ISLAM & WEIL (2000) afirmaram que a melhoria da qualidade do solo diminui o quociente, ou seja, o qCO_2 é negativamente correlacionado com a qualidade do solo sendo, portanto, um indicador do seu estresse, distúrbio ou desequilíbrio funcional. De acordo com TÓTOLA & CHAER (2002), a taxa de respiração por unidade de biomassa microbiana (qCO_2) seria uma variável de interpretação aparentemente mais indicada para apontar as mudanças ocorridas no solo e a sua qualidade. Só se deve ficar atento na adoção do qCO_2 como índice de qualidade, no momento da sua interpretação, uma vez que um alto quociente pode inferir três interpretações: stress, um ecossistema imaturo ou mais

substrato respirável (SPARLING,1997, citado por NIELSEN & WINDING, 2002), sendo necessário parcimônia na interpretação dos resultados. O qCO_2 é adotado como indicador no programa de monitoramento da qualidade do solo na Alemanha (NIELSEN & WINDING, 2002).

As enzimas têm sido sugeridas como potenciais indicadores biológicos da qualidade do solo. A enzima urease é participante direta do ciclo do nitrogênio, contribuindo para a disponibilização de N-inorgânico no solo. CARVALHO (2005), estudando atributos bioquímicos como indicadores da qualidade do solo, verificou que a enzima urease serviu como indicadora do potencial de funcionalidade dos ecossistemas e, aliada aos demais atributos biológicos, tornou-se uma boa indicadora de qualidade do solo. ZHANG et al. (2006), analisando propriedades químicas, bioquímicas e microbiológicas do solo, verificaram que as propriedades microbiológicas – incluindo a enzima urease - são mais sensíveis às modificações causadas no solo – degradação e declínio da vegetação. Porém, para as enzimas em geral, é necessário cuidado com a manutenção das características do local de amostragem, obtenção, preparo e armazenamento das amostras, inibição de atividade microbiana, concentração de substrato, pH do meio, tempo de incubação das amostras (DICK, 1994). O descuido com um desses itens pode ocasionar uma interpretação errônea do índice de qualidade, prejudicando sua funcionalidade.

4.2.1.2 Florescimento da cultura de verão

Ao se realizar a ACP para as variáveis microbiológicas na época do florescimento da cultura de verão, verifica-se que, sozinho, o CP 1 conseguiu explicar 36% da variação dos dados na primeira profundidade, 39% na segunda profundidade e 30% na terceira profundidade (Tabelas 11,13 e 15 respectivamente). Avaliando os coeficientes do CP 1, dentro das três profundidades na devida ordem (Tabelas 12, 14 e 16), a enzima urease (0,52), o carbono da biomassa microbiana (0,50) e o número de microrganismos amonificadores (0,57) foram as variáveis mais significativas na formação do CP.

Tabela 11. Estimativas dos autovalores associados aos componentes principais, juntamente com sua importância relativa (raiz %) e acumulada, referente às variáveis microbiológicas avaliadas na profundidade 0-10 cm, nas amostragens do florescimento da cultura de verão e independentemente do uso do solo.

Componente	Raiz	Raiz (%)	Acumulada (%)
1	2,881054	36,0131747	36,0131747
2	2,0442426	25,5530322	61,5662069
3	1,3496156	16,8701947	78,4364015

Tabela 12. Coeficientes associados a cada variável microbiológica avaliada na profundidade 0-10 cm durante a definição dos componentes principais, no florescimento da cultura de verão e independentemente do uso do solo.

Variável	Componente 1
Amonificadores	0,481
Celulolíticos	-0,1052
Carbono da biomassa	-0,0263
Respiração	0,5082
Quociente metabólico	-0,1177
Celulase	-0,0045
Protease	0,4518
Urease	0,5297*

*Valor em negrito se refere a variável com o maior coeficiente associado ao primeiro componente principal.

Tabela 13. Estimativas dos autovalores associados aos componentes principais, juntamente com sua importância relativa (raiz %) e acumulada, referente às variáveis microbiológicas avaliadas na profundidade 10-20 cm, nas amostragens do florescimento da cultura de verão e independentemente do uso do solo.

Componente	Raiz	Raiz (%)	Acumulada (%)
1	3,1096374	38,8704673	38,8704673
2	2,1136486	26,4206073	65,2910746
3	1,6034796	20,0434947	85,3345692

Tabela 14. Coeficientes associados a cada variável microbiológica avaliada na profundidade 10-20 cm durante a definição dos componentes principais, no florescimento da cultura de verão e independentemente do uso do solo.

Variável	Componente 1
Amonificadores	0,4628
Celulolíticos	0,0917
Carbono da biomassa	0,5072*
Respiração	0,4617
Quociente metabólico	-0,1575
Celulase	0,0424
Protease	-0,1941
Urease	0,4926

*Valor em negrito se refere a variável com o maior coeficiente associado ao primeiro componente principal.

Tabela 15. Estimativas dos autovalores associados aos componentes principais, juntamente com sua importância relativa (raiz %) e acumulada, referente às variáveis microbiológicas avaliadas na profundidade 20-40 cm, nas amostragens do florescimento da cultura de verão e independentemente do uso do solo.

Componente	Raiz	Raiz (%)	Acumulada (%)
1	2,4178178	30,2227226	30,2227226
2	1,9196486	23,995608	54,2183306
3	1,4994062	18,742577	72,9609076

Tabela 16. Coeficientes associados a cada variável microbiológica avaliada na profundidade 20-40 cm durante a definição dos componentes principais, no florescimento da cultura de verão e independentemente do uso do solo.

Variável	Componente 1
Amonificadores	0,5704*
Celulolíticos	0,0386
Carbono da biomassa	0,4978
Respiração	0,4303
Quociente metabólico	0,1918
Celulase	0,3566
Protease	-0,1905
Urease	-0,2

*Valor em negrito se refere a variável com o maior coeficiente associado ao primeiro componente principal.

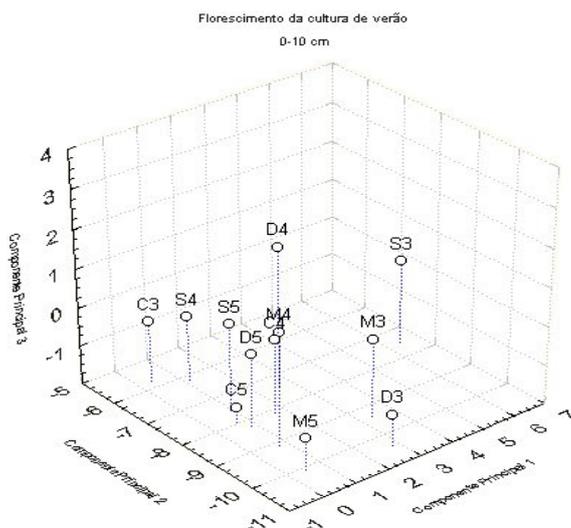


Figura 12 - Projeção dos componentes principais 1, 2 e 3 (com respectivamente 36%, 26% e 17% da variação explicadas) retidos na análise das oito variáveis microbiológicas no florescimento da cultura de verão, profundidade 0-10 cm. Legenda: letras M, S, C e D correspondem aos tratamentos mata, seringueira, convencional e plantio direto; números 3, 4 e 5 correspondem às amostragens em 2003, 2004 e 2005, respectivamente.

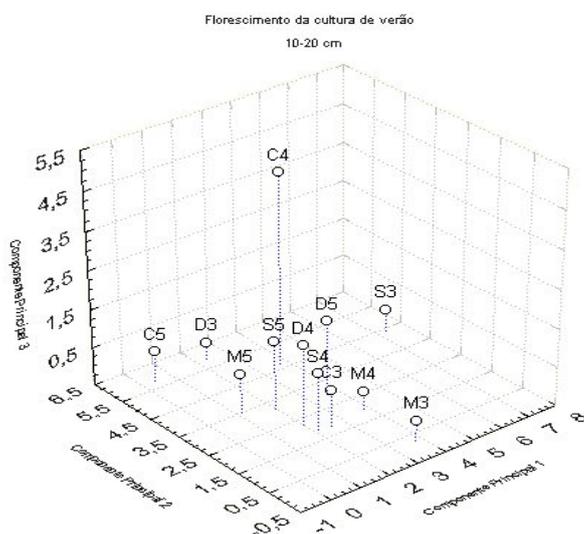


Figura 13 - Projeção dos componentes principais 1, 2 e 3 (com respectivamente 39%, 26% e 20% da variação explicadas) retidos na análise das oito variáveis microbiológicas no florescimento da cultura de verão, profundidade 10-20 cm. Legenda: letras M, S, C e D correspondem aos tratamentos mata, seringueira, convencional e plantio direto; números 3, 4 e 5 correspondem às amostragens em 2003, 2004 e 2005, respectivamente.

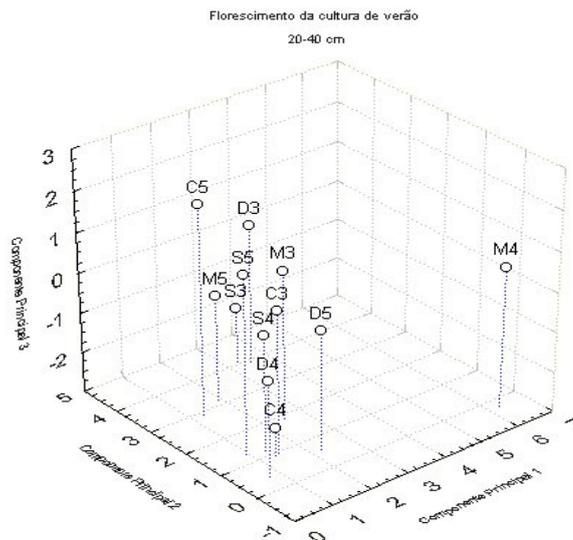


Figura 14 - Projeção dos componentes principais 1, 2 e 3 (com respectivamente 30%, 24% e 19% da variação explicadas) retidos na análise das oito variáveis microbiológicas no florescimento da cultura de verão, profundidade 20-40 cm. Legenda: letras M, S, C e D correspondem aos tratamentos mata, seringueira, convencional e plantio direto; números 3, 4 e 5 correspondem às amostragens em 2003, 2004 e 2005, respectivamente.

O carbono da biomassa microbiana tem sido proposto como um indicador para as condições do solo. As mudanças significativas dessa variável podem ser detectadas muito antes que as alterações na matéria orgânica possam ser percebidas, possibilitando a correção do problema antes que a perda da qualidade do solo seja mais severa (TÓTOLA & CHAER, 2002). ROLDÁN et al. (2007), avaliando indicadores de sustentabilidade em solos com práticas conservacionistas, verificaram que o CBM é um indicador sensível da qualidade do solo. FRANCHINI et al. (2007) apontaram os parâmetros associados com a atividade biológica, entre eles o CBM, como sendo indicadores rápidos e sensíveis de efeitos do manejo no solo, demonstrando sua utilidade como indicadores de qualidade nos trópicos. BARETTA (2007), estudando áreas de *Araucaria angustifolia* no Estado de São Paulo, verificou que o CBM foi um dos melhores indicadores de qualidade. VASQUES-MURRIETA (2006), fazendo uso da ACP, verificou que o CBM também é uma variável sensível quando se avaliam solos contaminados com metais pesados.

Segundo LARSON & PIERCE (1994), as taxas de mudança da biomassa microbiana podem indicar, em longo tempo, a qualidade do solo. Dessa forma, a

avaliação da biomassa microbiana por métodos diretos ou indiretos de determinação, está incluída no “minimum data set” dos programas de monitoramento da Alemanha, Holanda, Suíça, República Checa, entre outros (NIELSEN & WINDING, 2002). Vários trabalhos mostraram a eficiência da CBM em indicar aspectos da qualidade do solo, funcionando assim, como um índice de qualidade eficaz (ISLAM & WEIL, 2000; PANKHURST et al., 2002; D’ANDRÉA et al, 2002; MATSUOKA et al., 2003; SILVEIRA et al., 2004; CONCEIÇÃO et al., 2005; COSTA et al., 2006).

A enzima urease novamente foi apontada como índice de qualidade, porém agora, na época do florescimento da cultura de verão.

O número de microrganismos amonificadores foi o terceiro dos indicadores de qualidade do solo sugeridos para a época em questão. Segundo MELLONI (2007) a contagem de microrganismos é simples e rápida, porém é insensível a mudanças rápidas nas comunidades microbianas, além de avaliar uma pequena porção da comunidade total de microrganismos do solo. Ainda assim, segundo o mesmo autor, tais microrganismos são um dos indicadores disponíveis mais sensíveis e úteis em classificar sistemas degradados e contaminados. De acordo com MELLONI et al. (2001), os microrganismos estão diretamente envolvidos nos ciclos dos nutrientes no solo e a quantificação de grupos importantes dá indicação de como os processos estão ocorrendo. Entretanto, avaliando as características biológicas do solo sob mata ciliar e campo cerrado, esses autores encontraram baixa sensibilidade destes microrganismos em discriminar esses sistemas.

A diversidade microbiana está inclusa em muitos programas de monitoramento da qualidade do solo em países europeus. Apesar do importante papel dos microrganismos e seus processos na recuperação de áreas degradadas, são poucos os estudos que relacionam a qualidade do solo com atributos microbiológicos, especificamente com a diversidade microbiana (MELLONI, 2007). Esses atributos podem atuar como indicadores microbiológicos por mostrarem a estabilidade da comunidade e descrever a dinâmica ecológica de uma comunidade e os impactos de estresse naquela comunidade.

Considerando que a amonificação ou degradação dos compostos nitrogenados orgânicos é o passo limitante da mineralização feita por uma grande diversidade de microrganismos amonificadores e que sua quantificação nos solos fornece um indicativo do processo de mineralização do nitrogênio e do ciclo desse elemento (MELLONI et al., 2001), a inclusão dessa variável como indicadora de qualidade pode

ser uma ferramenta eficiente quando combinada com outras variáveis indicadoras, aspecto verificado neste estudo.

4.2.1.3 Início da cultura de inverno

A época em questão teve 32% da variação dos dados explicados pelo CP 1 na profundidade 0-10 cm, 45% na profundidade 10-20 cm e 34% na profundidade 20-40 cm (Tabelas 17, 19 e 21). Analisando os coeficientes, a variável mais importante na formação do CP 1, dentro da primeira profundidade (Tabela 18) foi o quociente metabólico (-0,52). Na profundidade intermediária (10-20 cm), a respiração (0,49) assumiu essa condição (Tabela 20) e por fim, na camada 20-40 cm, o carbono da biomassa (0,57) apresentou o maior coeficiente (Tabela 22).

Tabela 17. Estimativas dos autovalores associados aos componentes principais, juntamente com sua importância relativa (raiz %) e acumulada, referente às variáveis microbiológicas avaliadas na profundidade 0-10 cm, nas amostragens do início da cultura de inverno e independentemente do uso do solo.

Componente	Raiz	Raiz (%)	Acumulada (%)
1	2,5354774	31,6934669	31,6934669
2	1,8836053	23,5450659	55,2385329
3	1,3399313	16,7491409	71,9876737

Tabela 18. Coeficientes associados a cada variável microbiológica avaliada na profundidade 0-10 cm durante a definição dos componentes principais, no início da cultura de inverno e independentemente do uso do solo.

Variável	Componente 1
Amonificadores	0,3987
Celulolíticos	0,4627
Carbono da biomassa	-0,1857
Respiração	0,2184
Quociente metabólico	-0,5258*
Celulase	0,271
Protease	-0,3745
Urease	-0,3568

*Valor em negrito se refere a variável com o maior coeficiente associado ao primeiro componente principal.

Tabela 19. Estimativas dos autovalores associados aos componentes principais, juntamente com sua importância relativa (raiz %) e acumulada, referente às variáveis microbiológicas avaliadas na profundidade 10-20 cm, nas amostragens do início da cultura de inverno e independentemente do uso do solo.

Componente	Raiz	Raiz (%)	Acumulada (%)
1	3,5699722	44,6246524	44,6246524
2	1,8501588	23,1269845	67,7516369
3	1,1480466	14,350583	82,1022199

Tabela 20. Coeficientes associados a cada variável microbiológica avaliada na profundidade 10-20 cm durante a definição dos componentes principais, no início da cultura de inverno e independentemente do uso do solo.

Variável	Componente 1
Amonificadores	0,3618
Celulolíticos	0,3241
Carbono da biomassa	0,4777
Respiração	0,4974*
Quociente metabólico	0,2312
Celulase	0,0967
Protease	0,2504
Urease	0,4038

*Valores em negrito se refere a variável com o maior coeficiente associado ao primeiro componente principal.

Tabela 21. Estimativas dos autovalores associados aos componentes principais, juntamente com sua importância relativa (raiz %) e acumulada, referente às variáveis microbiológicas avaliadas na profundidade 20-40 cm, nas amostragens do início da cultura de inverno e independentemente do uso do solo.

Componente	Raiz	Raiz (%)	Acumulada (%)
1	2,6851836	33,5647955	33,5647955
2	1,8859585	23,5744816	57,1392771
3	1,2829311	16,0366385	73,1759156

Tabela 22. Coeficientes associados a cada variável microbiológica avaliada na profundidade 20-40 cm durante a definição dos componentes principais, no início da cultura de inverno e independentemente do uso do solo.

Variável	Componente 1
Amonificadores	0,5663
Celulolíticos	-0,1961
Carbono da biomassa	0,5746*
Respiração	-0,1207
Quociente metabólico	-0,5079
Celulase	-0,0545
Protease	-0,0706
Urease	0,1739

*Valor em negrito se refere a variável com o maior coeficiente associado ao primeiro componente principal.

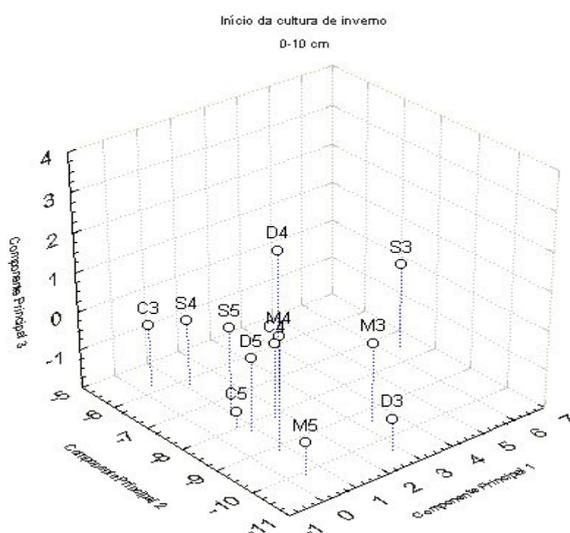


Figura 15 - Projeção dos componentes principais 1, 2 e 3 (com respectivamente 32%, 24% e 17% da variação explicadas) retidos na análise das oito variáveis microbiológicas no início da cultura de inverno, profundidade 0-10 cm. Legenda: letras M, S, C e D correspondem aos tratamentos mata, seringueira, convencional e plantio direto; números 3, 4 e 5 correspondem às amostragens em 2003, 2004 e 2005, respectivamente.

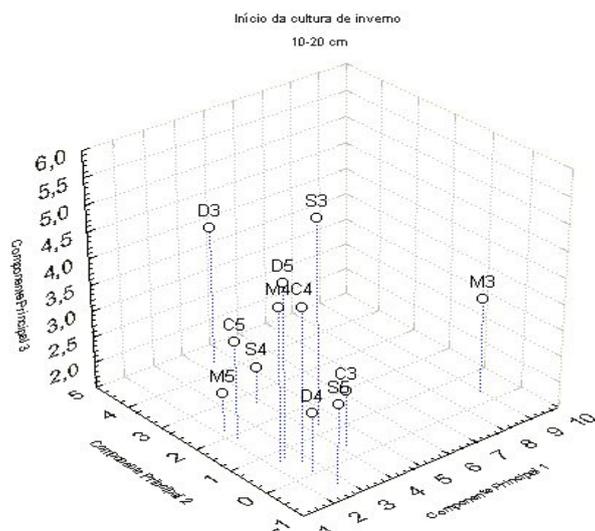


Figura 16 - Projeção dos componentes principais 1, 2 e 3 (com respectivamente 45%, 23% e 14% da variação explicadas) retidos na análise das oito variáveis microbiológicas no início da cultura de inverno, profundidade 10-20 cm. Legenda: letras M, S, C e D correspondem aos tratamentos mata, seringueira, convencional e plantio direto; números 3, 4 e 5 correspondem às amostragens em 2003, 2004 e 2005, respectivamente.

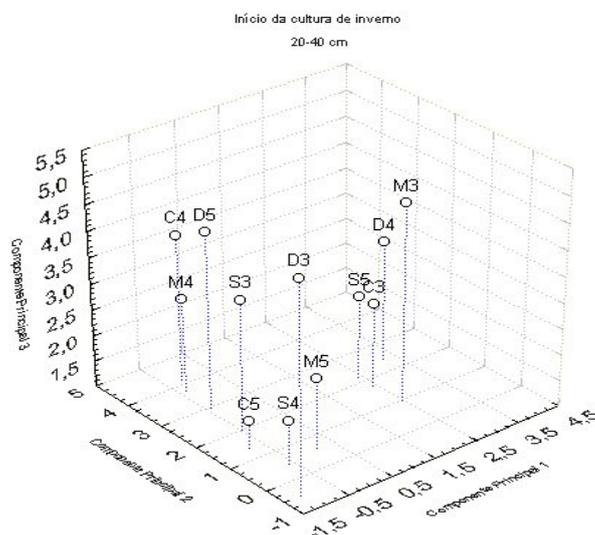


Figura 17 - Projeção dos componentes principais 1, 2 e 3 (com respectivamente 34%, 24% e 16% da variação explicadas) na análise das oito variáveis microbiológicas no início da cultura de inverno, profundidade 20-40 cm. Legenda: letras M, S, C e D correspondem aos tratamentos mata, seringueira, convencional e plantio direto; números 3, 4 e 5 correspondem às amostragens em 2003, 2004 e 2005, respectivamente.

A adoção da biomassa e do quociente metabólico como indicadores de qualidade já foi discutida anteriormente como sendo eficiente na indicação de modificações ocorridas no solo.

A liberação de CO₂ ou respiração do solo é a oxidação da matéria orgânica a CO₂ pelos microrganismos aeróbios, ocupando uma posição importante no ciclo do carbono nos ecossistemas terrestres. Sua avaliação é a técnica mais freqüente para quantificar a atividade microbiana. A atividade dos organismos é considerada um atributo positivo para a qualidade do solo, sendo a respiração um atributo sensível da decomposição de resíduos, do giro metabólico do carbono orgânico do solo e de distúrbios do ecossistema (PAUL et al., 1999). A respiração é incluída na maioria dos programas de monitoramento do solo em países europeus (NIELSEN & WINDING, 2002). No Brasil, CONCEIÇÃO et al. (2005), PEÑA et al., (2005), COSTA et al., (2006) e FRANCHINI et al., (2007), verificaram que a liberação de CO₂ foi um bom indicador de qualidade do solo. TRINDADE et al. (2000), avaliando a degradação ou recuperação de uma área sob mineração de ferro, verificaram que a respiração foi capaz de distinguir os estados de perturbação ou recuperação de áreas de diferentes áreas estudadas.

Nos resultados de todas as variáveis microbiológicas avaliadas no presente trabalho, a respiração foi a que se mostrou mais sensível em relação aos manejos, uma vez que houve três diferenças significativas: a mata, a seringueira e as áreas sob ação antrópica, que não diferiram entre si.

Porém, é importante cautela na interpretação dos dados da respiração para que seja alcançada a eficiência do indicador. ISLAM & WEIL (2000) verificaram que altas taxas de respiração podem indicar tanto um distúrbio ecológico - como incorporação de resíduos - como um alto nível de produtividade do ecossistema. Segundo ALEF (1995), essa variável é também altamente influenciada pela temperatura, composição do solo, disponibilidade de nutrientes e estrutura do solo, o que dobra os cuidados exigidos em experimentos de campo.

4.2.1.4 Florescimento da cultura de inverno

O primeiro CP na profundidade 0-10 cm, no florescimento da cultura de inverno, explicou sozinho 44% da variação total dos dados (Tabela 23). Avaliando os coeficientes (Tabela 24), a enzima urease (0,50) foi a variável que apresentou o maior valor. Tanto para a profundidade 10-20 cm quanto para a 20-40 cm, o CP 1 explicou

35% da variância total (Tabelas 25 e 27). Os maiores coeficientes nestas profundidades (Tabelas 26 e 28) foram respectivamente a respiração (0,54) e a enzima protease (0,54).

Tabela 23. Estimativas dos autovalores associados aos componentes principais, juntamente com sua importância relativa (raiz %) e acumulada, referente às variáveis microbiológicas avaliadas na profundidade 0-10 cm, nas amostragens do florescimento da cultura de inverno e independentemente do uso do solo.

Componente	Raiz	Raiz (%)	Acumulada (%)
1	3,4963564	43,7044555	43,7044555
2	1,5155095	18,9438691	62,6483247
3	1,2170972	15,2137153	77,86204

Tabela 24. Coeficientes associados a cada variável microbiológica avaliada na profundidade 0-10 cm durante a definição dos componentes principais, no florescimento da cultura de inverno e independentemente do uso do solo.

Variável	Componente 1
Amonificadores	0,4302
Celulolíticos	-0,0254
Carbono da biomassa	0,3569
Respiração	0,4498
Quociente metabólico	-0,1265
Celulase	0,0862
Protease	0,4517
Urease	0,5071*

*Valor em negrito se refere a variável com o maior coeficiente associado ao primeiro componente principal.

Tabela 25. Estimativas dos autovalores associados aos componentes principais, juntamente com sua importância relativa (raiz %) e acumulada, referente às variáveis microbiológicas avaliadas na profundidade 10-20 cm, nas amostragens do florescimento da cultura de inverno e independentemente do uso do solo.

Componente	Raiz	Raiz (%)	Acumulada (%)
1	2,7947651	34,9345635	34,9345635
2	1,9805888	24,7573601	59,6919236
3	1,5408419	19,2605234	78,9524471

Tabela 26. Coeficientes associados a cada variável microbiológica avaliada na profundidade 10-20 cm durante a definição dos componentes principais, no florescimento da cultura de inverno e independentemente do uso do solo.

Variável	Componente 1
Amonificadores	0,0048
Celulolíticos	-0,2977
Carbono da biomassa	0,2787
Respiração	0,5468*
Quociente metabólico	-0,1459
Celulase	-0,0443
Protease	0,485
Urease	0,5256

*Valor em negrito se refere a variável com o maior coeficiente associado ao primeiro componente principal.

Tabela 27. Estimativas dos autovalores associados aos componentes principais, juntamente com sua importância relativa (raiz %) e acumulada, referente às variáveis microbiológicas avaliadas na profundidade 20-40 cm, nas amostragens do florescimento da cultura de inverno e independentemente do uso do solo.

Componente	Raiz	Raiz (%)	Acumulada (%)
1	2,8074216	35,0927702	35,0927702
2	2,0306178	25,3827224	60,4754926
3	1,2456742	15,570928	76,0464207

Tabela 28. Coeficientes associados a cada variável microbiológica avaliada na profundidade 20-40 cm durante a definição dos componentes principais, no florescimento da cultura de inverno e independentemente do manejo.

Variável	Componente 1
Amonificadores	-0,2503
Celulolíticos	-0,1643
Carbono da biomassa	-0,0304
Respiração	0,5217
Quociente metabólico	0,3084
Celulase	-0,2467
Protease	0,5418*
Urease	0,4333

*Valor em negrito se refere a variável com o maior coeficiente associado ao primeiro componente principal.

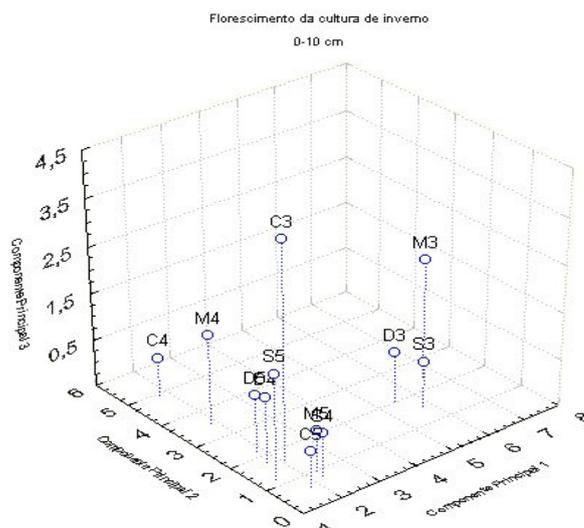


Figura 18 - Projeção dos componentes principais 1, 2 e 3 (com respectivamente 44%, 19% e 15% da variação explicadas) retidos na análise das oito variáveis microbiológicas no florescimento da cultura de inverno, profundidade 0-10 cm. Legenda: letras M, S, C e D correspondem aos tratamentos mata, seringueira, convencional e plantio direto; números 3, 4 e 5 correspondem às amostragens em 2003, 2004 e 2005, respectivamente.

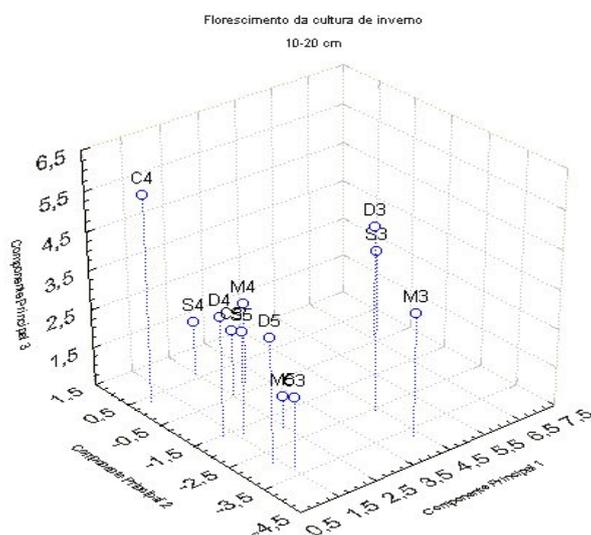


Figura 19 - Projeção dos componentes principais 1, 2 e 3 (com respectivamente 35%, 25% e 19% da variação explicadas) retidos na análise das oito variáveis microbiológicas no florescimento da cultura de inverno, profundidade 10-20 cm. Legenda: letras M, S, C e D correspondem aos tratamentos mata, seringueira, convencional e plantio direto; números 3, 4 e 5 correspondem às amostragens em 2003, 2004 e 2005, respectivamente.

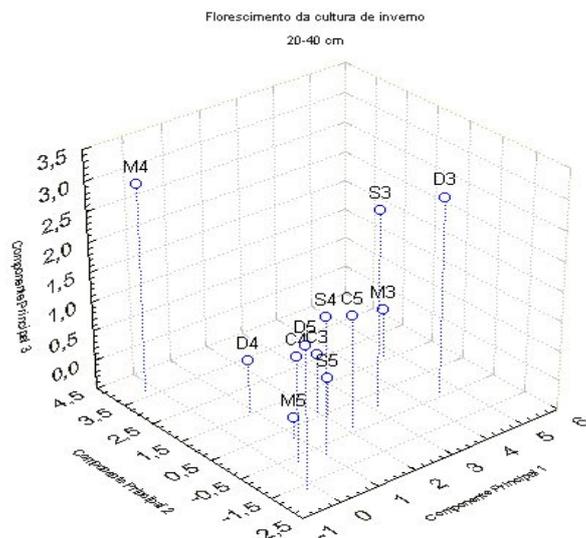


Figura 20 - Projeção dos componentes principais 1, 2 e 3 (com respectivamente 35%, 25% e 16% da variação explicadas) retidos na análise das oito variáveis microbiológicas no florescimento da cultura de inverno, profundidade 20-40 cm. Legenda: letras M, S, C e D correspondem aos tratamentos mata, seringueira, convencional e plantio direto; números 3, 4 e 5 correspondem às amostragens em 2003, 2004 e 2005, respectivamente.

A respiração mostrou-se novamente um índice eficiente, porém agora no florescimento da cultura de inverno. A enzima urease, que foi uma das variáveis indicativas da qualidade do solo propostas nas épocas de verão (início e florescimento) é também, um dos índices apontados para a avaliação do solo no florescimento da cultura de inverno. A enzima protease, junto com as duas variáveis anteriores, fechou o conjunto de variáveis apontadas como indicadoras de qualidade no período em questão.

A hidrólise de proteínas é um importante passo no ciclo do nitrogênio do solo e é essencial para a manutenção da fertilidade do solo. WICK et al. (2002), em estudo usando diferentes solos, verificaram que os parâmetros utilizados, entre eles a enzima protease, foram indicadores sensíveis e úteis na qualidade do solo. Como já foi dito, as enzimas estão presentes nos programas de monitoramento da qualidade do solo de diversos países europeus, e a Áustria utiliza, entre outras, a enzima protease.

A sensibilidade característica das variáveis enzimáticas requer cuidados; entretanto, de acordo com TÓTOLA & CHAER (2002), os procedimentos para a determinação de enzimas são relativamente simples quando comparados com os

procedimentos analíticos realizados para a quantificação de nutrientes em uma análise de solo de rotina.

4.2.2 Índices obtidos considerando as profundidades avaliadas

4.2.2.1 Primeira profundidade

O primeiro CP na profundidade 0-10 cm, explicou 24% da variação (Tabela 29). O coeficiente de maior valor desse componente, de acordo com a tabela 30, corresponde à variável quociente metabólico (0,65). O segundo e o terceiro CPs explicaram respectivamente 18% e 17% da variância, com a respiração (0,62) – CP 2 - e a enzima protease (0,52) – CP 3 – apresentando os maiores coeficientes.

Tabela 29. Estimativas dos autovalores associados aos componentes principais, juntamente com sua importância relativa (raiz %) e acumulada, referente às variáveis microbiológicas avaliadas na profundidade 0-10 cm, no decorrer de três anos agrícolas e independentemente do uso do solo.

Componente	Raiz	Raiz (%)	Acumulada (%)
1	1,8899229	23,6240369	23,6240369
2	1,4702571	18,3782135	42,0022504
3	1,3405943	16,757429	58,7596793

Considerando que os componentes 1, 2 e 3 explicam a variação de 59% da variância total dos dados originais e que os componentes seguintes explicam variâncias com valores desprezíveis, sugerem-se como índices de qualidade, em relação a uma profundidade de 0-10 cm de solo, o quociente metabólico, a respiração e a enzima protease (Tabela 30).

As três variáveis sugeridas já foram comentadas em itens anteriores.

Tabela 30. Coeficientes associados a cada variável microbiológica avaliada na profundidade 0-10 cm durante a definição dos componentes principais e independentemente do uso do solo.

Variável	Componente 1	Componente 2	Componente 3
Amonificadores	-0,0856	0,5877	0,3344
Celulolíticos	0,0776	-0,2841	0,4122
Carbono da biomassa	-0,0959	0,0496	0,5109
Respiração	-0,0112	0,626**	0,2424
Quociente metabólico	0,6564*	0,0705	-0,0132
Celulase	0,4132	0,2015	-0,2391
Protease	0,0001	-0,3585	0,526***
Urease	0,6129	-0,0741	0,2541

*Valores em negrito se referem a variável com o maior coeficiente associado ao *primeiro, **segundo e ***terceiro componentes principais.

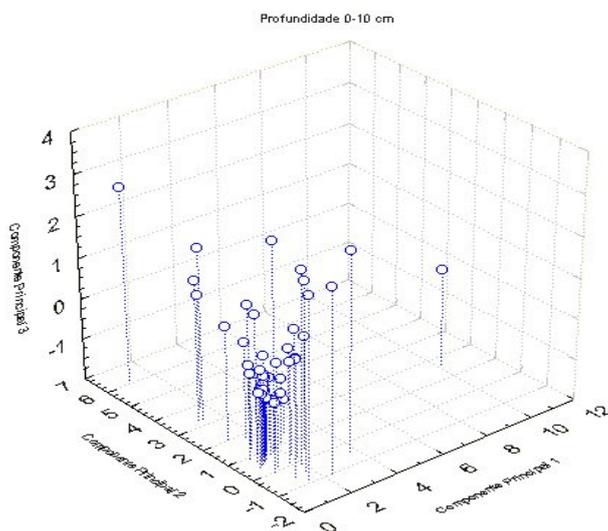


Figura 21 - Projeção dos componentes principais 1, 2 e 3 (com respectivamente 24%, 18% e 17% da variação explicadas) retidos na análise das oito variáveis microbiológicas. Os pontos representam os tratamentos – mata, seringueira, plantio direto e convencional - com seus respectivos anos de amostragem- 2002, 2003, 2004, 2005 – dentro da profundidade 0-10 cm.

4.2.2.2 Segunda profundidade

Analisando a profundidade 10-20 cm, independentemente da época de amostragem, o CP 1 foi responsável por 30% da variação total dos dados. O CP 2 reteve 19% e o CP 3, 14% (Tabela 31). O CP 1 teve o carbono da biomassa microbiana (0,52) como variável mais significativa na formação do componente (Tabela 32). No CP 2 e 3, os maiores valores corresponderam ao quociente metabólico (0,47) e a enzima urease (0,71).

Os três componentes com suas respectivas variáveis explicam 63% da variância total, permitindo reduzir o número de variáveis indicadoras de qualidade do solo para os três índices em questão. As variáveis apontadas já foram discutidas.

Tabela 31. Estimativas dos autovalores associados aos componentes principais, juntamente com sua importância relativa (raiz %) e acumulada, referente às variáveis microbiológicas avaliadas na profundidade 10-20 cm, no decorrer de três anos agrícolas e independentemente do uso do solo.

Componente	Raiz	Raiz (%)	Acumulada (%)
1	2,378408	29,7300998	29,7300998
2	1,5109496	18,8868706	48,6169704
3	1,1241419	14,0517743	62,6687447

Tabela 32. Coeficientes associados a cada variável microbiológica avaliada na profundidade 10-20 cm durante a definição dos componentes principais e independentemente do uso do solo.

Variável	Componente 1	Componente 2	Componente 3
Amonificadores	0,3	0,2893	-0,5672
Celulolíticos	0,3085	-0,2207	0,1435
Carbono da biomassa	0,5261*	0,358	0,0414
Respiração	0,5032	0,3474	0,0721
Quociente metabólico	-0,2567	0,4787**	0,3475
Celulase	-0,2321	0,4673	0,1198
Protease	0,3082	-0,401	-0,0164
Urease	0,2646	-0,1017	0,7179***

*Valores em negrito se referem a variável com o maior coeficiente associado ao *primeiro, **segundo e ***terceiro componentes principais.

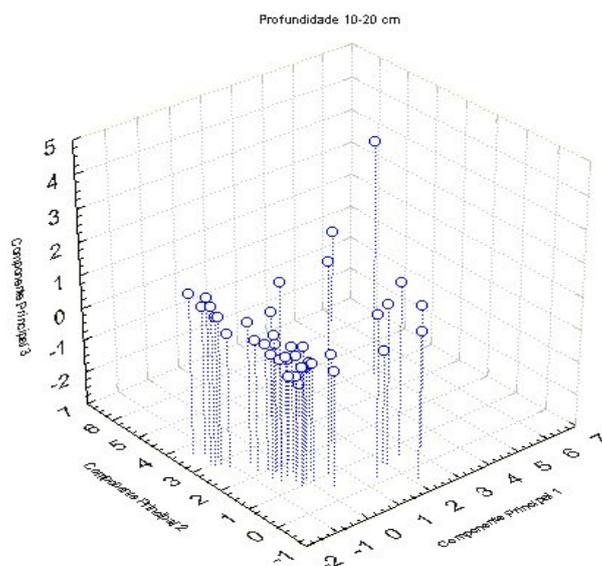


Figura 22 - Projeção dos componentes principais 1, 2 e 3 (com respectivamente 30%, 19% e 14% da variação explicadas) retidos na análise das oito variáveis microbiológicas. Os pontos representam os tratamentos – mata, seringueira, plantio direto e convencional - com seus respectivos anos de amostragem- 2002, 2003, 2004, 2005 – dentro da profundidade 10-20 cm.

4.2.2.3 Terceira profundidade

O CP 1, considerando a profundidade 20-40 cm, explicou 20% da variação total dos dados. O CP 2 17%, o CP 3 13%, o CP 4 13% (Tabela 33), totalizando 62% da variância até o quarto componente. As variáveis mais significativas na formação dos CPs 1, 2, 3 e 4 corresponderam respectivamente ao quociente metabólico (-0,59), número de microrganismos amonificadores (0,63), a enzima celulase (0,75) e a liberação de CO₂ (-0,57), sendo então sugeridas como índices de qualidade (Tabela 34).

Tabela 33. Estimativas dos autovalores associados aos componentes principais, juntamente com sua importância relativa (raiz %) e acumulada, referente às variáveis microbiológicas avaliadas na profundidade 20-40 cm, no decorrer de três anos agrícolas e independentemente do uso do solo.

Componente	Raiz	Raiz (%)	Acumulada (%)
1	1,5777261	19,7215767	19,7215767
2	1,3715463	17,1443292	36,8659058
3	1,0351209	12,9390109	49,8049167
4	1,0116574	12,645718	62,4506347

Tabela 34. Coeficientes associados a cada variável microbiológica avaliada na profundidade 20-40 cm durante a definição dos componentes principais e independentemente do uso do solo.

Variável	Componente 1	Componente 2	Componente 3	Componente 4
Amonificadores	0,119	0,634**	-0,0052	-0,203
Celulolíticos	0,4426	-0,3189	0,0952	-0,3379
Carbono da biomassa	0,3228	0,5205	0,1067	-0,5739****
Respiração	-0,2726	0,1657	0,1874	-0,1434
Quociente metabólico	-0,5951*	-0,1691	0,0339	-0,1112
Celulase	-0,1753	-0,0745	0,7502***	-0,2363
Protease	0,3811	-0,1749	0,5466	0,3134
Urease	0,2853	-0,365	-0,2857	-0,5729

*Valores em negrito se referem a variável com o maior coeficiente associado ao *primeiro, **segundo, ***terceiro e **** quarto componentes principais.

As celulasas são responsáveis pela hidrólise da celulose, sendo de extrema importância na ciclagem do carbono. BANDICK & DICK (1999), estudando os efeitos do manejo na atividade das enzimas, observaram que, embora as enzimas indubitavelmente estejam ligadas às funções críticas dos ciclos dos nutrientes no solo, seu papel na determinação da saúde do solo é menos claro. Os autores afirmaram que as enzimas podem ser mais úteis no monitoramento das tendências (positivas ou negativas) do solo, eliminando problemas como variações climáticas e adicionando a vantagem de serem indicadoras precoces das transformações devido aos usos do solo. BALOTA et al. (2004) investigaram a atividade de algumas enzimas, entre elas a celulase, sob sistemas de manejo convencional, direto e rotação de culturas e observaram que a atividade enzimática do solo é um indicador sensível de alterações na qualidade, promovidas pelo manejo. De acordo com SINSABAUGH et al.(1993) e NANNIPIERI et al. (2002), citados por TAN et al. (2008), a atividade enzimática pode integrar informações sobre o tamanho e atividade das comunidades microbianas e propriedades físicas e químicas do solo, podendo ser usada também como um eficiente indicador de fertilidade. Dentre os países europeus que adotam a atividade enzimática, especificamente a celulase, nos programas de monitoramento de solo, está a República Tcheca (NIELSEN & WINDING, 2002).

Os procedimentos relativamente simples e rápidos, possibilitando a inclusão nas análises de rotina (DICK, 1994), somada à sensibilidade enzimática no fornecimento de informações sobre mudanças nas funções-chave do solo, tornam as enzimas potenciais indicadoras de qualidade, destacando-se aqui a enzima celulase.

Os demais indicadores de qualidade apontados na terceira profundidade foram discutidos anteriormente.

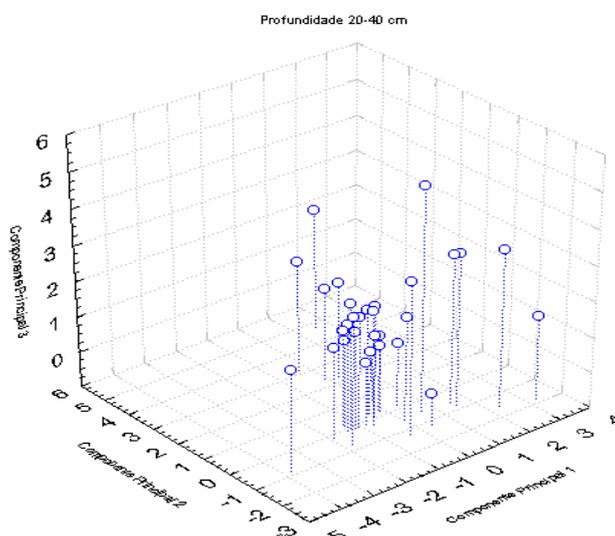


Figura 23 - Projeção dos componentes principais 1, 2 e 3 (com respectivamente 20%, 17% e 13% da variação explicadas) retidos na análise das oito variáveis microbiológicas. Os pontos representam os tratamentos – mata, seringueira, plantio direto e convencional - com seus respectivos anos de amostragem- 2002, 2003, 2004, 2005 – dentro da profundidade 20-40 cm.

Ao analisar os dados, verificou-se através da utilização da ACP a obtenção de índices de acordo com as épocas de amostragem e profundidades avaliadas.

Este trabalho avalia dados provenientes de um experimento de campo num período de três anos agrícolas. No decorrer desse período é clara a quantidade de fatores distintos (temperatura, umidade, disponibilidade hídrica, diferenças de manejos, material orgânico, entre outros) atuando sobre o solo e sobre a microbiota propriamente dita. De acordo com HALVORSON (1997), citado por NIELSEN & WINDING (2002), de maneira geral, os componentes do solo (por exemplo, a atividade microbiana, a umidade do solo e os nutrientes solúveis) que são dependentes da variação climática, são também, geralmente, sujeitos a uma alta variabilidade espacial. Essa variabilidade, segundo NIELSEN & WINDING (2002), dificulta a habilidade de quantificar as populações microbianas e os processos no solo. No entanto, freqüentes amostragens

(STENBERG, 1999, citado por TÓTOLA & CHAER, 2002) e o aumento no número de indicadores na avaliação da qualidade podem amenizar variabilidades (MELLONI, 2007).

A compilação dos dados referente aos anos agrícolas 2002/2003, 2003/2004 e 2004/2005 e sua posterior análise permitiram verificar que a cada período – ou seja, cada época com suas respectivas características – foram obtidos descritores mais sensíveis, portanto mais eficientes na utilização como índices de qualidade para aquele período. Um resultado similar foi encontrado nas análises das profundidades. Porém, vale ressaltar que os índices obtidos a partir das épocas de amostragem, também levam o fator profundidade em consideração, o que não é verificado nos índices obtidos somente a partir da profundidade, onde a época de coleta, com suas peculiaridades climáticas, não foi considerada. Essa questão sugere que os índices apontados de acordo com a época sejam mais eficientes, por englobar dois itens determinantes: clima e profundidade.

Observando as figuras 9 a 23, verifica-se que não houve agrupamentos relevantes entre os usos do solo (com seus respectivos anos de amostragem) nas épocas e profundidades estudadas. THEODORO et al. (2003), relacionando as mudanças nas características químicas, físicas e microbiológicas de um Latossolo Vermelho distrófico ao longo de um ano, sob agrossistemas de produção de “café orgânico”, “em conversão” e “convencional”, em relação a um fragmento de mata nativa, visualizaram por meio da relação entre os CP 1 e CP 2, o agrupamento da mata e dos diferentes sistemas do cafeeiro, em resposta às formas de manejo adotadas. LEONARDO (2003), avaliando o uso sustentável de uma microbacia hidrográfica do estado do Paraná, fez uso da ACP para avaliar os atributos biológicos do solo e observou a separação de áreas estudadas. O autor verificou que o CP 1 agrupou áreas qualitativamente semelhantes (áreas de plantio direto, cultivo mínimo e sob fragmento florestal de Latossolo Roxo), com menores valores médios desses atributos em comparação com a área de fragmento florestal da Terra Roxa Estruturada. BARETTA et al (2007), avaliando o potencial da diversidade de famílias de colêmbolos como indicadores de qualidade do solo em áreas com *Araucaria angustifolia*, verificaram através da ACP que as diferentes áreas com araucária não foram separadas pelos atributos químicos e microbiológicos do solo, resultado similar ao encontrado no presente trabalho, em que não houve separação dos usos do solo.

Supõe-se que os fatores climáticos promoveram mudanças mais acentuadas na microbiota do solo, enquanto que as alterações causadas pelo uso do mesmo, sejam apontadas pelos microrganismos a longo prazo. De acordo com ALEXANDER (1977), em um ambiente tão complexo quanto o solo onde fatores químicos e físicos interagem continuamente, influenciando as condições de temperatura, umidade, aeração, entre outras, podemos perceber que a comunidade microbiana presente é regida fortemente por estas, afetando sobremaneira a composição microbiana, tanto qualitativamente quanto quantitativamente.

Dessa forma, variáveis microbiológicas são influenciadas, de maneira geral, pelos fatores que interferem no solo. A identificação de diferentes indicadores de qualidade a cada época e profundidade estudadas confirma a sensibilidade dos microrganismos no solo. Considerando a profundidade, diversos trabalhos constataram sua capacidade de amenizar os efeitos dos tratamentos feitos na superfície (CATTELAN & VIDOR, 1990; VARGAS & SCHOLLES, 2000; ZAMORA et al., 2005; GARCIA & NAHAS, 2007). Essa característica também foi verificada nesse trabalho. Para indicação dos índices de qualidade levando em conta as profundidades, na camada 20-40 cm de solo (Tabela 31), foi necessário reter até o quarto componente principal para alcançar 60-70% da explicação total dos dados. Assim, o número de indicadores de qualidade apontados nos 20-40 cm de solo foi maior que nas camadas 0-10 e 10-20 cm. Os menores efeitos nessa profundidade acarretam respostas menos significativas da atividade microbiana, surgindo então, a necessidade de um quarto indicador para verificar as possíveis alterações.

Nas análises de variância, quando analisados o efeito das épocas de amostragem e da profundidade na microbiota do solo também se confirmaram de maneira geral, a sensibilidade dos microrganismos aos fatores climáticos e a característica da profundidade em reduzir o efeito do tratamento. TRASAR-CEPEDA et al. (1998), estudando um índice de qualidade associando propriedades biológicas e bioquímicas em solos nativos da Espanha, também verificaram que as propriedades biológicas dos solos estudados variaram amplamente com a sazonalidade e com a profundidade. De acordo com NANNIPIERI (1994), a variabilidade dentro e entre as estações é um importante fator a ser considerado na interpretação das medidas da atividade enzimática. Segundo o autor, qualquer comparação entre diferentes tratamentos de solo deve ser feita no mesmo período.

4.3 Comparação entre os Índices Obtidos nas Análises Estatísticas

Os dados obtidos com a quantificação das oito variáveis microbiológicas durante os três anos agrícolas avaliados, analisados pelo teste de comparação de médias - Tukey (5%) – indicaram que os fatores usos, épocas de amostragem e profundidades do solo influenciaram a microbiota do solo, como era esperado.

Diversos trabalhos associaram variáveis microbiológicas como boas ou não indicadoras de qualidade do solo pela comparação de médias dos dados (BALOTA et al., 1998; D'ANDRÉA et al., 2002; PANKHURST et al., 2002; BALOTA et al., 2004; CONCEIÇÃO et al., 2005; PEÑA et al., 2005; FIALHO et al., 2006; FRANCHINI et al., 2007).

Nos resultados deste trabalho, a comparação de médias apontou as variáveis número de microrganismos celulolíticos, carbono da biomassa microbiana e as enzimas protease e celulase como boas indicadoras para efeitos de época de amostragem. No caso da profundidade, as variáveis mais sensíveis foram número de microrganismos celulolíticos, respiração, CBM, e enzimas celulase e protease. A liberação de CO₂ foi a variável que exibiu maiores diferenças entre os usos do solo.

Analisando esses dados, observou-se que o CBM, as enzimas celulase e protease e o número de microrganismos celulolíticos foram ao mesmo tempo sensíveis às épocas e às profundidades. Já a liberação de CO₂ se mostrou sensível para diferentes usos e profundidades do solo. Ambas variáveis - enzima celulase e o número de microrganismos celulolíticos - estão relacionadas ao ciclo do carbono do solo. A quantificação dos microrganismos celulolíticos já foi apontada por SICARDI et al. (2004) como uma variável sensível na indicação de modificações. Entretanto, LARSON & PIERCE (1994) afirmaram que, como os atributos do solo estão interrelacionados, geralmente um deles pode ser mais vantajoso que o outro na inclusão do “minimum data set” (MDS). No caso, a enzima celulase assumiu essa posição, possuindo procedimentos relativamente simples e rápidos, o que possibilita a inclusão em análises de rotina.

Assim, de acordo com os resultados de comparação de médias, as variáveis mais adequadas a serem utilizadas como indicadoras de qualidade do solo são CBM, as enzimas celulase e protease e a liberação de CO₂.

No entanto, segundo MELLONI (2007) é importante considerar que a quantificação microbiana da qualidade do solo gera muitos dados microbiológicos e

bioquímicos, o que pode dificultar a interpretação dos reais dados. A estatística multivariada simplifica a interpretação de uma grande quantidade de dados e é um recurso importante na indicação de índices de qualidade do solo (TÓTOLA & CHAER, 2002; NIELSEN & WINDING, 2002). SENA et al. (2002) afirmam que enquanto os métodos univariados são apropriados quando só uma variável é medida sistematicamente em várias amostragens e um melhor entendimento dos processos do ecossistema do solo necessita de um conjunto de várias propriedades e ferramentas analíticas multivariadas. Trabalhos mais recentes têm usado essas ferramentas nas suas análises (LEONARDO, 2003; SILVEIRA et al., 2004; BARETTA et al., 2007; CAMPOS et al., 2007).

Na análise dos componentes principais realizada com as oito variáveis estudadas foram obtidos índices nas três profundidades dentro de cada uma das épocas de amostragem estudadas e índices nas três profundidades. No início da cultura de verão, os índices foram qCO_2 e a enzima urease e no florescimento dessa cultura, a enzima urease, o CBM e o número de microrganismos amonificadores. Nas culturas de inverno, o qCO_2 , liberação de CO_2 e o CBM foram os índices do início da cultura e as enzimas urease e protease e a respiração corresponderam aos índices do florescimento. Analisando a profundidade, os índices foram qCO_2 , liberação de CO_2 e enzima protease para a primeira profundidade, CBM, qCO_2 e a enzima urease para a segunda e por fim, qCO_2 , número de microrganismos amonificadores, enzimas celulase e liberação de CO_2 . Com base nessas informações verificou-se que foram variáveis comuns entre os indicadores por épocas e profundidades, o qCO_2 , as enzimas urease e protease, o CBM, a liberação de CO_2 e o número de microrganismos amonificadores.

Para determinação de um “minimum data set” com as variáveis apontadas pela análise multivariada, foi considerada novamente a interrelação entre os atributos do solo, julgando assim, o mais vantajoso na inclusão do grupo de índices (LARSON & PIERCE, 1994). O número de microrganismos amonificadores e a enzima urease estão relacionados ao ciclo do nitrogênio. De acordo com DICK et al. (1996), citados por NIELSEN & WINDING (2002), protocolos fáceis e bem documentados são utilizados para avaliação de um grande número de enzimas do solo, entre elas, a urease. Isso possibilita uma determinação simples e de custo mais baixo, critério importante na escolha de indicadores para monitoramento do solo.

Dessa maneira, o conjunto de índices obtido pela análise multivariada para avaliação de qualidade foram: o qCO_2 , as enzimas urease e protease, o CBM e a liberação de CO_2 .

A retenção das variáveis microbiológicas com coeficiente $\geq 0,32$, como sugerido por TABACHNICK & FIDEL (2007), no primeiro componente principal das análises, permitiu ainda, avaliar a frequência com que esses atributos estiveram relacionados com o componente que explica a maior variância dos dados, sendo portanto, variáveis mais sensíveis às alterações ocorridas no solo (Figura 24).

Notou-se que a variável qCO_2 foi apontada como uma indicadora de qualidade eficiente na análise dos componentes principais; entretanto, na comparação de médias, não diferiu em nenhum dos fatores estudados. O alto coeficiente de variação pode ter influenciado os resultados. Lembrando que coeficientes mais altos são comuns em estudos de Microbiologia do Solo, ainda mais se tratando de um experimento de campo, e que, o qCO_2 , resulta de uma razão entre o CO_2 liberado e o CBM, variáveis que se destacaram nas análises.

A enzima urease foi o atributo com o maior número de ocorrências no primeiro CP das análises. Esse resultado justifica a inclusão dessa variável às melhores indicadoras de qualidade do solo.

Comparando os resultados das duas análises estatísticas, observou-se que o CBM, a respiração e a enzima protease foram variáveis comuns entre os dois métodos estatísticos empregados. Em acréscimo a essas, está a enzima urease. Na análise multivariada, pelo menos uma dessas quatro variáveis microbiológicas esteve presente nos CPs 1, quando considerado coeficiente $\geq 0,32$. Esse resultado sugere que essas quatro variáveis são as mais adequadas para serem utilizadas como indicadoras de qualidade do solo.

Percebeu-se por ambas análises estatísticas que as variáveis microbiológicas são indicadoras potenciais de modificações no solo, e desta maneira, são indispensáveis quando se procura avaliar a qualidade do mesmo.

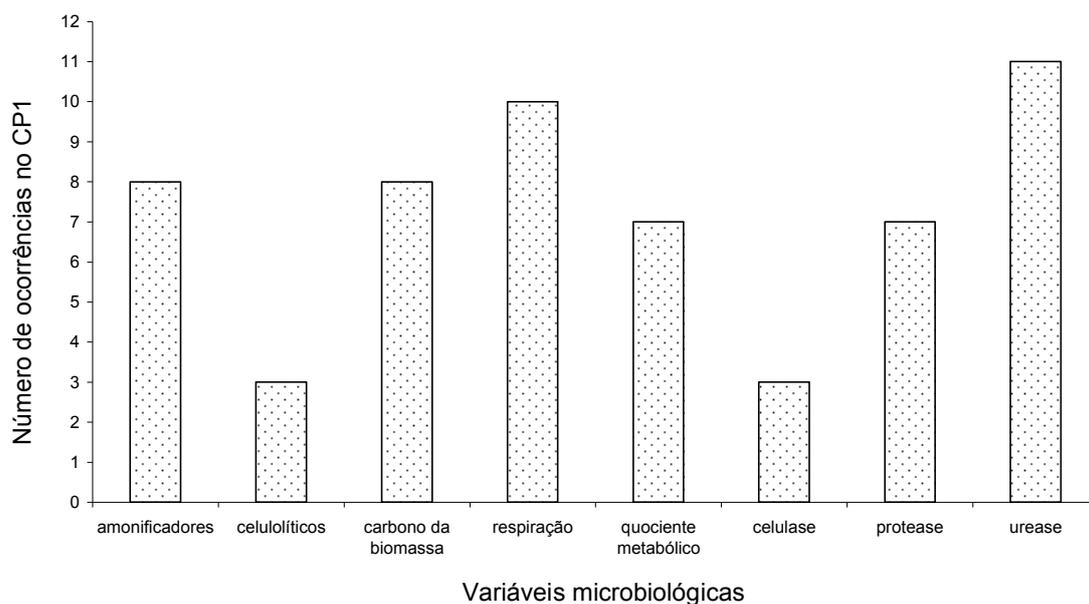


Figura 24 – Frequência de ocorrências das variáveis microbiológicas com coeficiente $\geq 0,32$ no primeiro componente principal das análises, independente do uso, época e profundidade do solo.

Ainda há muito a se estudar a respeito dos processos microbianos, estrutura das comunidades e variações temporais e espaciais no solo. A avaliação da sua qualidade é simplesmente uma ferramenta na dinâmica das propriedades e processos do solo, sendo útil na detecção de mudanças positivas ou negativas causadas no sistema. Enquanto não se dominar o conhecimento dos níveis de atividade biológica e o funcionamento sustentável do ecossistema, os primeiros dados obtidos a respeito de indicadores de qualidade já auxiliam no estabelecimento de melhores práticas de manejo e determinação da qualidade do solo.

Vale ressaltar que todos os métodos biológicos apresentam vantagens e deficiências, recomendando-se serem utilizados em conjunto com outros atributos físicos e químicos, já que a funcionalidade e sustentabilidade dos diversos sistemas são governadas pela interação desses atributos (MELLONI, 2007).

CONCLUSÕES

a) A microbiota é mais sensível aos fatores climáticos e à profundidade do que aos usos do solo, e por isso as avaliações de qualidade devem ser feitas para uma mesma camada de solo e época de amostragem.

b) As variáveis microbiológicas, de maneira geral, possuem potencial como indicadores da qualidade do solo.

c) O carbono da biomassa microbiana, a liberação de CO₂ e as enzimas protease e urease são as variáveis mais sensíveis às alterações do solo, sendo identificadas pela comparação de médias e pela análise multivariada;

d) Não foi detectado um índice único que consiga descrever e quantificar a microbiota do solo em todos os usos, épocas e profundidades do solo; entretanto, a utilização de um conjunto de variáveis é promissora.

6 REFERÊNCIAS

ACOSTA-MARTÍNEZ, V.; MIKHA, M.M.; VIGIL, M.F. Microbial communities and enzyme activities in soil under alternative crop rotation compared to wheat-fallow for Central Great Plains. **Applied Soil Ecology**, v.37, p.41-52, 2007.

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

ALEXANDER, M. Introduction to soil microbiology. 2.ed. New York, John Wiley, 1977, 472p.

ALVAREZ, C.R.; ALVAREZ, R.; GRIGERA, M.S.; LAVADO, R.S. Associations between organic matter fractions and the active soil microbial biomass. **Soil Biology & Biochemistry**, v.30, n.6, p.767-773, 1998.

ANDERSON, T.H. & DOMSCH, K.H. Nitrifying of microbial biomass carbon in arable soils. **Soils Biology and Biochemistry**. v.21, n.4, p.471-479. 1989.

ANDERSON, T.H.; DOMSCH, K.H. Application of eco-physiological quotients (qCO_2 e qD) on microbial biomasses from soils of different cropping histories. **Soil Biology and Biochemistry**, v.22, p.251-255, 1990.

ANDERSON, T.H.; DOMSCH, K.H. The metabolic quotient for CO_2 as specific activity parameter to assess the effects on environmental conditions, such pH, on the microbial biomass, of forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v.25, p.393-295, 1993.

ANGERS, D.A.; BISSONNETTE, N.; LÉGÈRE, A.; SAMSON, N. Microbial and biochemical changes induced by rotation and tillage in a soil under barley production. **Canadian Journal of Soil Science**, v.73, p.39-50, 1993.

ARAÚJO, A. S.F.; MONTEIRO, R.T.R. Indicadores Biológicos de Qualidade do Solo. **Bioscience Journal**, v.23, n.3, p.66-75, 2007.

BRADY, N.C.; WEIL, R.R. **The Nature and properties of soils**. Thirteenth ed. Prentice Hall, New Jersey, 2002, 960p.

BALOTA, E.L.; COLOZZI-FILHO, A.; ANDRADE, D.S.; HUNGRIA, M. Biomassa microbiana e sua atividade em solos sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p.641-649, 1998.

BALOTA, E.L.; COLOZZI-FILHO, A.; ANDRADE, D.S.; DICK, R.P. Microbial biomass in soils under different tillage and crop rotation systems. **Biology and Fertility of Soils**, v.38, p.15-20, 2003.

BALOTA, E.L.; KANASHIRO, M.; COLOZZI FILHO,A.; ANDRADE, D.S.; DICK, R.P. Soil enzyme activities under long-term tillage and crop rotation systems in subtropical agro-ecosystems. **Brazilian Journal of Microbiology**, v.35, p.300-306, 2004.

BANDICK, A.K.; DICK, R.P. Fild management effects on soil enzyme activities. **Soil Biology and Biochemistry**, v.31, p.1471-1479, 1999.

BARETTA, DILMAR. Fauna do solo e outros atributos edáficos como indicadores de qualidade ambiental em áreas com *Araucaria angustifolia* no Estado de São Paulo. 2007. 158p. Dissertação (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

BARETTA, D.; SOUZA, J.P., FERREIRA, C.S.; CARDOSO, E.J.B.N. Colêmbolos (Hexapoda: Coillembola) como indicadores da qualidade do solo em áreas com *Araucaria angustifolia*. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Gramado, 2007. Resumos XXXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Porto Alegre: CBCS, p.26, 2007.

CAMARGO, A.F.O.; GIANELLO, C.; TEDESCO, M.J.; VIDOR, C. Nitrogênio orgânico do solo. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. (eds.). Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Gênese. p.117-137, 1999.

CAMPOS, A.; OLESCHKO, K.; ETCHEVERS, J. Exploring the effect of changes in land use on soil quality on the eastern slope of the Cofre de Perote Volcano (México). **Forest Ecology and Management**, v.248, p. 174-182, 2007.

CARDOSO, E.J.B.N.; FREITAS, S.S. A rizosfera. In: CARDOSO, E.J.B.N.; TSAI, S.M.; NEVES, M.C. (eds.). Microbiologia do solo. Campinas: CBCS, p.41-58, 1992.

CARTER, M.R. Microbial biomass as an index for tillage-induced changes in soil biological properties. **Soil & Tillage Research**, v.7, p.29-40, 1986.

CARVALHO, F. Atributos bioquímicos como indicadores de qualidade de solo em florestas de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. no Estado de São Paulo. 2005. 79p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

CASTILLO, X.; JOERGENSEN, R.G. Impact of ecological and conventional arable management systems on chemical and biological soil quality indices in Nicaragua. **Soil Biology and Biochemistry**, v.33, p.1591-1597, 2001.

CASTRO, O.M.; PRADO, H. Avaliação da atividade de microrganismos do solo em diferentes sistemas de manejo de soja. **Sciencia Agrícola**, v.50, n.2, p.212-219, 1993.

CATELLAN, A.J.; VIDOR, C. Flutuação na biomassa, atividade e população microbiana do solo, em função de variações ambientais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.14, p.133-142, 1990.

COLOZZI-FILHO, A.; BALOTTA, E.L. & ANDRADE, D. S. Microrganismos e processos biológicos no sistema de plantio direto. In: SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S.; LOPES, S.A.; GUILHERME, L.R.G. ; FAQUIM, V.; FURTINI NETO, A.E.; CARVALHO, J.C. (eds.). Inter relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas. Lavras, viçosa: SBCS, p.487-508, 1999.

CONCEIÇÃO, P.C., AMADO, T.J.C., MIELNICZUK, J.; SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.777-788. 2005.

COSTA, E.A.; GOEDERT, W.J.; DE SOUZA, D.M.G. Qualidade do solo submetido a sistemas de cultivo com preparo convencional e plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.7, p.1185-1191, 2006.

CRITCHFIELD, H.J. General climatology. Englewood Cliffs, Prentice-Hall, 1960. 465p.

CRUZ, C.D. Programa genes: aplicativo computacional em genética e estatística. Viçosa: UFV, 2001.

D'ANDREA, A.F.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; SIQUEIRA, J.O.; CARNEIRO, M.A.C. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região do cerrado no sul do estado de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.913-923, 2002.

DEBOSZ, K., RASMUSSEN, P.H.; PEDERSEN, A.R. Temporal variations in microbial biomass C and cellulolytic enzyme activity in arable soils: effects of organic matter input. **Applied Soil Ecology**, v.13, p.209-218, 1999.

DE-POLLI, H.; GUERRA, J.G.M. C,N E P na biomassa microbiana do solo. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. (eds.). Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Millenium, p.389-411, 1999.

DICK, R.P. Soil enzyme activities as indicators of soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F & STEWART, B.A. (eds.). Defining soil quality

for sustainable environment. Soil Science Society of America. Special Publication n.35. Madison, WI, p. 107-124, 1994.

DORAN, J.W. Soil microbial and biochemical changes associated with reduced tillage. **Soil Science Society American Journal**, v.44, p.765-771, 1980.

DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F.; STEWARD, B.A. (eds.). Defining soil quality for sustainable environment. Madison: Soil Science Society of America, p.3-21. (SSSA. Special Publication, 35), 1994.

DORAN, J.W.; SARRANTONIO, M.; JANKE, R. Strategies to promote soil quality and health. In: PANKHURST, C.E.; DOUBE, B.M.; GUPTA, V.V.S.R.; GRACE, P.R. (eds.). Soil Biota Management in sustainable farming systems. Commonwealth Scientific Industrial Research Organization, p.230-237, 1994.

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

EKENLER, M.; TABATABAI, M.A. Tillage and residue management effects on β -glucosaminidase activity in soils. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 35, p.871-874, 2003.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, Rio de Janeiro, 1999. 412p.

FAGERIA, N.K. Soil quality vs. Environmentally-based agricultural management practices. **Communications in soil science and plant analyses**, v.33, p.2301-2329, 2002.

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, 2000. p.255-258.

FIALHO, J.S.; GOMES, V.F.F.; OLIVEIRA, T.S.; JÚNIOR, J.M.T.S. Indicadores da qualidade do solo em áreas sob vegetação natural e cultivo de bananeiras na Chapada do Apodi- CE. **Revista Ciência Agrônômica**, v.37, n.3, p.250-257, 2006.

FRANCHINI, J.C.; CRISPINO, C.C.; SOUZA, R.A.; TORRES, E.; HUNDRIA, M. Microbiological parameters as indicators of soil quality under various soil management and crop rotation systems in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, v.92, n.1-2. p.18-29, 2007.

FORTES NETO, P.; FERNANDES, S.A.P.; JAHNEL, M.C. Microbiota do solo como indicadora da poluição do solo e do ambiente. In: SILVEIRA, A.P.D.; FREITAS, S.S. (eds.). Microbiota do Solo e Qualidade Ambiental. Campinas: Instituto Agrônomo, p.259-274, 2007.

GAMA-RODRIGUES, E.F. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. (eds.). Fundamentos da material orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Millenium, p.09-26, 1999.

GARCIA, M.R.L.; NAHAS, E. Biomassa e atividades microbianas em solo sob pastagem com deferentes lotações de ovinos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p.269-276, 2007.

GERALDES, A.P.A.; CERRI, C.C.; FEIGL, B.J. Biomassa microbiana de solo sob pastagens na Amazônia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, n.4, p.991-996, 1995.

GLOVER, J.D.; REGANOLD, J.P.; ANDREWS, P.K. Systematic method for rating soil quality of convencional, organic and integrated apple orchards in Washington state. **Agriculture Ecosystems and Environment**, v.80, p.29-45, 2000.

HARRIS, R.F.; BEZDICEK, D.F. Descriptive aspects of soil Quality/health. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F.; STEWARD, B.A. (eds.). Defining soil quality for sustainable environment. Madison: Soil Science Society of America, p.23-35. (SSSA. Special Publication, 35), 1994.

HOPE, C.F.A.; BURNS, R.G. Activity origins and location of cellulase in a silt loam soil. **Biology and Fertility of Soils**, v. 50, p.164-170. 1987.

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

JENKINSON, D.S.; LADD, J.N. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. In: PAUL, E.A.; LADD, J.N. (eds.). **Soil biochemistry**. New York: Marcel Dekker, v.5, p.415-471, 1981.

KARLEN, D.L. ; WOLLENHAUPT, N.C. ; ERBACH, D.C.; BERRY, E.C.; SWAN, J.B.; EASH, N.S. & JORDAHL, J.L. Long-tem tillage effects on soil quality. **Soil & Tillage Research**, v.32, p.313-327, 1994.

KENNEDY, A.C.; PAPENDICK, R.I. Microbial characteristics of soil quality. **Journal of soil and water conservation**, v.50, n.3, p.243-248, 1995.

KUSHWAHA, C.P.; TRIPATHI, S.K.; SINGH, K.P. Soil organic matter and water-stable aggregates under different tillage and residue conditions in a tropical dryland agroecosystem. **Applied Soil Ecology**, v.16, p.229-241, 2001.

LADD, J.N.; BUTLER, J.H.A. Short term assays of soil proteolytic enzyme activities using proteins and dipeptide derivatives as substrates. **Soil Biology and Biochemistry**, v.4, p.19-32, 1972.

LARSON, W.E.; PIERCE, F.J. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F.; STEWARD, B.A. (eds.). *Defining soil quality for sustainable environment*. Madison: Soil Science Society of America, p.3-21. (SSSA. Special Publication, 35), 1994.

LEONARDO, H.C.L. Indicadores de qualidade de solo e água para a avaliação do uso sustentável da microbacia hidrográfica do Rio Passo Cue, região oeste do Estado do Paraná, 2003. 121p. Dissertação (Mestrado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

MARCHIORI JUNIOR, M.; MELO, W.J. Carbono, carbono da biomassa microbiana e atividade enzimática em um solo sob mata natural, pastagem e cultura do algodoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.257-263, 1999.

MATSUOKA, M.; MENDES, I.C.; LOUREIRO, M.F. Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas anuais e perenes na região de Primavera do Leste (MT). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p.425-433, 2003.

MELLONI, R.; PEREIRA, E.G.; TRANNIN, I.C.B.; DOS SANTOS, D.R, MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. Características Biológicas de solos sob mata ciliar e campo cerrado no sul de Minas Gerais. **Ciência Agrotécnica**, v.25, n.1, p.7-13, 2001.

MELLONI, R. Quantificação microbiana da qualidade do solo. In: SILVEIRA, A.P.D.; FREITAS, S.S. (eds.). *Microbiota do Solo e Qualidade Ambiental*. Campinas: Instituto Agronômico, p.193-217, 2007.

MERCANTE, F.M. **Parâmetros microbiológicos como indicadores da qualidade do solo sob sistemas integrados de produção agropecuária**. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento n.20. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2004.

NANNIPIERI, P. The potencial use of soil enzymes as indicators of productivity, sustainability and pollution. In: PANKHURST, C.E.; DOUBE, B.M.; GUPTA, V.V.S.R.; GRACE, P.R. (eds.). *Soil Biota Management in sustainable farming systems*. Commonwealth Scientific Industrial Research Organization, p.238-244, 1994.

NIELSEN, M.N. & WINDING, A. Microorganisms as indicators of soil health. National Environmental Reserch Institute, Denmark. Technical Report No. 388, 2002.

OLIVEIRA, J.R.A.; MENDES, I.C.; VIVALDI, L. Carbono da biomassa microbiana em solos de cerrado sob vegetação nativa e sob cultivo: avaliação dos métodos fumigação-incubação e fumigação-extração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.863-871, 2001.

PANKHURST, C.E.; KIRKBY, C.A.; HAWKE, B.G. Impact of a change in tillage and crop residue management practice on soil chemical and microbiological properties in a cereal-producing red duplex soil in NSW, Australia. **Biology and Fertility of Soils**, v.35, p.189-196, 2002.

PAUL, E.A.; HARRIS, D.; COLLINS, H.P.; SCHULTHESS, U.; ROBERTSON, G.P. Evolution of CO₂ and soil carbon dynamics in biologically managed, row-crop agrosystems. **Applied Soil Ecology**, v.11, p.53-65, 1999.

PEIXOTO, R.S.; COUTINHO, H.L.C.; MADARI, B.; MACHADO, P.L.O.A.; RUMJANEK, N.G.; VAN ELSAS, J.D.; SELDIN, L.; ROSADO, A.S. Soil aggregation and bacterial community structure as affected by tillage and cover cropping in the Brazilian Cerrados. **Soil & Tillage Research**, v.90, n.1-2, p.16-28, 2006.

PENÃ, M.L.P.; MARQUES, R.; JAHNEL, M.C.; ANJOS, A. Respiração microbiana como indicadora da qualidade do solo em ecossistema florestal. **Floresta**, v.35, n.1, p.117-127, 2005.

PEREZ, K.S.P., RAMOS, M.L.G.; MCMANUS, C. Carbono da biomassa microbiana em solo cultivado com soja sob diferentes sistemas de manejo no Cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.6, p.567-573, 2004.

PIERZYNSKI, G.M.; SIMS, J.T.; VANCE, G.F. Soil and environmental quality. CRC Press. 2 ed. Boca Raton: Flórida, p.315-338, 2000.

POWLSON, D.S.; BROOKES, P.C.; CHRISTENSEN, B.T. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation. **Soil Biology and Biochemistry**, v.19, n.2, p.159-164, 1987.

PRAMER, D.; SCHMIDT, E.L. Experimental Soil Microbiology. Burgess Publishing Company, Minneapolis, 1964.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. Análise Química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas: Instituto Agrônômico, 2001. 285p.

ROLDÁN, A.; SALINASGARCÍA, J.R.; ALGUACIL, M.M.; CARAVACA, F. Soil sustainability indicators following conservation tillage practices under subtropical maize and bean crops. **Soil & Tillage Research**, v. 93, p.273-282, 2007.

SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. (eds.). Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Gênese, 1999. 491p.

SARATHCHANDRA, U. Nitrification activities and changes in the populations of nitrifying bacteria in soil perfused at two different H-ion concentrations. **Plant and Soil**, The Hague, v.50, n.1, p.99-111, 1978.

SEYBOLD, C.A.; MAUSBACH, M.J.; KARLEN, D.L.; ROGERS, H.H. Quantification of soil quality. In: LAL, R.; KIMBLE, J.M.; FOLLET, R.F.; STEWART, B.A. (eds.). Soil processes and the carbon cycle. CRC Press LLC, Boca Raton, Florida, p.387-404, 1997.

SENA, M.M.; FRIGHETTO, R.T.S.; VALARINI, P.J.; TOKESHI, H.; POPPI, R.J. Discrimination of management effects on soil parameters by using principal component analysis: a multivariate analysis case study. **Soil & Tillage Research**, v.67, p.171-181, 2002.

SICARDI, M.; GARCÍA-PRÉCHAC, F.; FRIONI, L. Soil microbial indicators sensitive to land use conversion from pastures to commercial *Eucalyptus grandis* (Hill ex Maiden) plantation in Uruguay. **Applied Soil Ecology**, v.24, p.125-133, 2004.

SILVA, E.T.; MELO, W.J. Atividade de proteases e disponibilidade de nitrogênio para laranja cultivada em Latossolo vermelho distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 833-841, 2004.

SILVEIRA, R.B.; MELLONI, R.; PEREIRA, E.G. Atributos microbiológicos e bioquímicos como indicadores da recuperação de áreas degradadas, no sul de Minas Gerais. **Revista Acadêmica: ciências agrárias e ambientais**, v. 2, n.2, p.21-29, 2004.

SINSABAUGH, R.L. Enzymic analysis of microbial pattern and process. **Biology and Fertility of Soils**, v. 17, p.69-74, 1994.

SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S.; GRISI, B.M.; HUNGRIA, M. & ARAÚJO, R.S. Microrganismos e processos biológicos do solo: perspectiva ambiental. Brasília: EMBRAPA CNPAF. (Documentos, 45), 1994. 142p.

SMITH, J.L.; PAUL, E.A. The significance of soil microbial biomass estimations. In: BOLLAG, J.M.; STOTZKY, G. (eds.). **Soil Biochemistry**. New York: Marcel Dekker, v.6, p.357-396, 1990.

SPARLING, G.P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicator of changes in soil organic matter. **Australian Journal of Soil Research**, v.30, p.195-207, 1992.

TABACHNICK, B.G.; FIDELL, L.S. **Using multivariate statistics**. 5.ed. Boston: Pearson Allyn & Bacon. 2007. 980p.

TABATABAI, M.A. & BREMNER, J.M. Assay of urease activity in soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v.4, p.479-487, 1972.

TAN, X.; CHANG, S.X.; KABZEMS, R. Soil compaction and forest floor removal reduced microbial biomass and enzyme activities in a boreal aspen forest soil. **Biology and Fertility of soils**, v.44, p.471-479, 2008.

THEODORO, V.C.A.; ALVARENGA, M.I.N.; GUIMARÃES, R.J.; SOUZA, C.A.S. Alterações químicas em solo submetido a diferentes formas de manejo do cafeeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 1039-1047, 2003.

TÓTOLA, M.R.; CHAER, G.M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos. In: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Tópicos em ciência do solo, v.2, p. 195-276, 2002.

TRASAR-CEPEDA, C.; LEIRÓS, C.; GIL-SOTRES, F.; SEOANE, S. Toward a biochemical quality index for soils: An expression relating several biological and biochemical properties. **Biology and Fertility of soils**, v.26, p.100-106, 1998.

TRINDADE, A.V.; GRAZZIOTTI, P.H.; TÓTOLA, M.R. Utilização de características microbiológicas na avaliação da degradação ou recuperação de uma área sob mineração de ferro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p.683-688, 2000.

TURCO, R. F.; BLUME, E. Indicators of soil quality. In: J.O. Siqueira; F.M.S. Moreira; A.S. Lopes; L.R.G. Guilherme; V. Faquin; A.E. Furtini Neto; J.G. Carvalho. (eds.). Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas. Lavras, p. 529-550, 1999.

UHLIROVA, E.; SIMEK, M.; SANTRUCKOVÁ, H. Microbial transformation of organic matter of montane grasslands under different management. **Applied Soil Biology**, v.28, p.225-235, 2005.

VALPASSOS, M.A.R.; MALTONI, K.L.; CASSIOLATO, A.M.R.; NAHAS, E. Recovery of soil microbiological properties in a degraded area planted with *Crymbia citriodora* and *Leucaena*. **Scientia Agricola**, v.61, n.1, 2007.

VANCE, E.D.; BROOKES, P. C. & JENKINSON, D.S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology and Biochemistry**, v.19, n.6, p.703-707, 1987.

VARGAS, L.K.; SCHOLLES, D. Biomassa microbiana e produção de C-CO₂ e N mineral de um podzólico vermelho-escuro submetido a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, n.1, p. 35-42, 2000.

VASQUES-MURRIETA, M.S., MIGUELES-GARDUNO, I., FRANCO-HERNÁNDEZ, O.; GOVAERTS, B., DENDOOVEN, L. C and N mineralization and microbial biomass in heavy-metal contaminated soils. **European Journal of Soil Biology**, v.42, p.89-98, 2006.

WARKENTIN, B.P. The changing concept of soil quality. **Journal of soil and water conservation**, v.50, n3, p.226-228, 1995.

WICK, B.; KÜHNE, R.F.; VIELHAUER, K.; VLEK, P.L.G. Temporal variability of selected soil microbiological and biochemical indicators under different soil quality conditions in south-western Nigéria. **Biology and Fertility of Soils**, v. 35, p.155-167, 2002.

ZAMORA, F.; MOGOLLÓN, J.P.; RODRÍGUES, N. Câmbios em la biomassa microbiana y la actividad enzimática inducidos por la rotaci3ns de cultivos em un suelo bajo producci3n de hortalizas em el estado Falc3n, Venezuela. **Multiciencias**, v.5, n.1, p.62-70, 2005.

ZHANG, P.; LI, L.; PAN, G.; REN, J. Soil quality changes in land degradation as indicated by soil chemical, biochemical and microbiological properties in a karst area of southwest Guizhou, China. **Environmental Geology**, v.51, p. 609-619. 2006.

ANEXOS

ANEXO 1 – Médias das quatro repetições das oito variáveis microbiológicas na mata, profundidade 0-10 cm, nas épocas de início e florescimento das culturas de verão e inverno, durante três anos.

Amostragens ⁽¹⁾		Variáveis microbiológicas ⁽²⁾							
		Mata (0-10 cm)							
Ano	Época	NMA	NMC	CO ₂	CBM	qCO ₂	AC	AP	AU
		número . 10 ⁶	número . 10 ²	µg CO ₂ g ⁻¹ dia ⁻¹	µg C g ⁻¹ de solo seco	µg C g h ⁻¹	µg.g ⁻¹ .dia ⁻¹	µg g ⁻¹ 2h ⁻¹	µg g ⁻¹ 2h ⁻¹
2002	ICV	10,77	161,80	36,81	1117,26	0,03	296,40	3183,30	11891,40
2003	FCV	10,00	13,00	57,36	711,18	0,06	221,10	204,30	1684,70
2003	ICI	234,54	2,06	59,04	982,80	0,06	250,80	381,50	2074,10
2003	FCI	62,37	7,89	50,40	394,80	0,13	258,50	118,80	2074,10
2003	ICV	10,78	5,765	78,40	703,03	0,71	395,47	239,77	21493,70
2004	FCV	39,30	31,65	80,07	2152,34	0,03	203,75	210,70	1807,17
2004	ICI	20,60	3,46	58,38	570,73	0,12	306,17	224,00	3801,35
2004	FCI	67,35	7,42	62,25	554,07	0,12	201,57	113,67	2140,40
2004	ICV	10,48	18,70	57,60	915,69	0,06	197,50	6126,90	2289,25
2005	FCV	97,49	10,11	70,32	726,49	0,10	238,42	197,90	1562,30
2005	ICI	0,91	0,25	86,95	664,55	0,13	195,50	539,10	1694,25
2005	FCI	0,38	1,15	94,75	789,37	0,12	315,52	123,97	2007,80

⁽¹⁾ ICV: início da cultura de verão; FCV: florescimento da cultura de verão; ICI: início da cultura de inverno; FCI: florescimento da cultura de inverno;

⁽²⁾ NMA: número de microrganismos amonificadores; NMC: número de microrganismos celulolíticos; CO₂: respiração; CBM: carbono da biomassa microbiana; qCO₂: quociente metabólico; AC: atividade de celulase; AP: atividade de protease; AU: atividade de urease.

ANEXO 2 – Médias das quatro repetições das oito variáveis microbiológicas na seringueira, profundidade 0-10 cm, nas épocas de início e florescimento das culturas de verão e inverno, durante três anos.

Amostragens(1)		Variáveis microbiológicas(2)							
		Seringueira (0-10 cm)							
Ano	Época	NMA	NMC	CO ₂	CBM	qCO ₂	AC	AP	AU
		número . 10 ⁶	número . 10 ²	µg CO ₂ g ⁻¹ dia ⁻¹	µg C g ⁻¹ de solo seco	µg C g ⁻¹ h ⁻¹	µg.g ⁻¹ .dia ⁻¹	µg g ⁻¹ 2h ⁻¹	µg g ⁻¹ 2h ⁻¹
2002	ICV	19,43	466,85	30,10	984,88	0,031	174,81	1961,90	5397,20
2003	FCV	10,74	8,15	30,44	706,40	0,035	189,90	91,21	854,04
2003	ICI	316,88	2,45	34,59	838,32	0,041	305,80	182,02	1121,23
2003	FCI	18,82	8,78	27,97	156,00	1,01	237,75	23,41	1117,16
2003	ICV	5,76	0,39	39,22	343,28	0,20	165,97	91,87	9547,17
2004	FCV	33,73	18,51	41,93	1592,67	0,06	196,20	65,25	1168,87
2004	ICI	12,45	11,22	34,54	518,9	0,14	448,35	149,12	1156,65
2004	FCI	14,73	8,27	27,37	292,4	0,18	356,12	0	1119,62
2004	ICV	9,23	9,44	34,66	629,10	0,05	183,65	3832,10	1247,40
2005	FCV	20,23	8,72	31,62	587,10	0,05	183,70	117,17	539,22
2005	ICI	0,38	2,66	43,37	413,52	0,10	163,12	214,92	1085,80
2005	FCI	0,32	0,61	28,47	411,07	0,07	119,37	46,82	1114,70

(1) ICV: início da cultura de verão; FCV: florescimento da cultura de verão; ICI: início da cultura de inverno; FCI: florescimento da cultura de inverno;

(2) NMA: número de microrganismos amonificadores; NMC: número de microrganismos celulolíticos; CO₂: respiração; CBM: carbono da biomassa microbiana; qCO₂: quociente metabólico; AC: atividade de celulase; AP: atividade de protease; AU: atividade de urease.

ANEXO 3 – Médias das quatro repetições das oito variáveis microbiológicas no solo sob plantio direto, profundidade 0-10 cm, nas épocas de início e florescimento das culturas de verão e inverno, durante três anos.

Amostragens ⁽¹⁾		Variáveis microbiológicas ⁽²⁾							
		Plantio direto (0-10 cm)							
Ano	Época	NMA	NMC	CO ₂	CBM	qCO ₂	AC	AP	AU
		número . 10 ⁶	número . 10 ²	µg CO ₂ g ⁻¹ dia ⁻¹	µg C g ⁻¹ de solo seco	µg C g ⁻¹ h ⁻¹	µg.g ⁻¹ dia ⁻¹	µg g ⁻¹ 2h ⁻¹	µg g ⁻¹ 2h ⁻¹
2002	ICV	17,84	490,07	16,77	1023,96	0,01	188,36	2273,60	6523,20
2003	FCV	3,39	615	17,62	618,18	0,03	226,16	104,76	482,21
2003	ICI	198,04	3,27	24,38	482,16	0,05	248,36	99,93	743,98
2003	FCI	11,22	23,66	13,47	92,35	0,22	240,22	57,02	702,48
2003	ICV	2,78	7,44	28,82	517,66	0,07	182,37	88,32	12282
2004	FCV	48,99	13,97	47,18	1200,70	0,04	209,52	133,75	644,92
2004	ICI	11,88	23,82	12,80	190,26	0,07	270,82	33,47	773,07
2004	FCI	13,00	40,43	19,85	571,55	0,07	304,07	32,80	701,25
2004	ICV	10,31	10,70	22,79	927,30	0,02	194,35	4458,80	763,65
2005	FCV	44,03	0,49	27,40	248,75	0,10	242,80	75,77	319,50
2005	ICI	0,12	0,54	23,52	211,52	0,11	225,90	166,40	714,90
2005	FCI	0,18	0,80	29,07	235,06	0,12	176,37	81,25	703,72

⁽¹⁾ ICV: início da cultura de verão; FCV: florescimento da cultura de verão; ICI: início da cultura de inverno; FCI: florescimento da cultura de inverno;

⁽²⁾ NMA: número de microrganismos amonificadores; NMC: número de microrganismos celulolíticos; CO₂: respiração; CBM: carbono da biomassa microbiana; qCO₂: quociente metabólico; AC: atividade de celulase; AP: atividade de protease; AU: atividade de urease.

ANEXO 4 – Médias das quatro repetições das oito variáveis microbiológicas no solo sob plantio convencional, profundidade 0-10 cm, nas épocas de início e florescimento das culturas de verão e inverno, durante três anos.

Amostragens ⁽¹⁾		Variáveis microbiológicas ⁽²⁾							
		Plantio convencional (0-10 cm)							
Ano	Época	NMA	NMC	CO ₂	CBM	qCO ₂	AC	AP	AU
		número . 10 ⁶	número . 10 ²	µg CO ₂ g ⁻¹ dia ⁻¹	µg C g ⁻¹ de solo seco	µg C g ⁻¹ h ⁻¹	µg.g ⁻¹ dia ⁻¹	µg g ⁻¹ 2h ⁻¹	µg g ⁻¹ 2h ⁻¹
2002	ICV	10,86	100,23	24,76	988,92	0,02	168,05	1072,11	4486,50
2003	FCV	3,96	17,61	18,33	715,72	0,02	202,01	57,41	614,18
2003	ICI	156,07	3,68	17,60	557,84	0,03	225,62	115,47	607,46
2003	FCI	8,82	18,66	15,12	101,05	0,50	193,50	54,58	592,94
2003	ICV	2,59	8,42	36,57	367,52	0,14	140,90	83,12	8236,80
2004	FCV	26,85	8,94	50,39	731,81	0,06	209,72	39,47	685,97
2004	ICI	9,80	17,14	14,64	217,02	0,07	307,22	95,30	477,10
2004	FCI	8,15	17,99	16,82	245,04	0,08	279,50	48,60	591,67
2004	ICV	6,73	8,68	30,67	741,55	0,04	195,20	2061,10	736,37
2005	FCV	46,98	1,35	23,02	228,70	0,10	194,30	75,35	542,40
2005	ICI	0,20	0,55	20,95	272,17	0,07	144,02	135,65	737,82
2005	FCI	0,22	1,43	23,95	231,73	0,10	107,50	60,57	594,22

⁽¹⁾ ICV: início da cultura de verão; FCV: florescimento da cultura de verão; ICI: início da cultura de inverno; FCI: florescimento da cultura de inverno

⁽²⁾ NMA: número de microrganismos amonificadores; NMC: número de microrganismos celulolíticos; CO₂: respiração; CBM: carbono da biomassa microbiana; qCO₂: quociente metabólico; AC: atividade de celulase; AP: atividade de protease; AU: atividade de urease.

ANEXO 5 – Médias das quatro repetições das oito variáveis microbiológicas na mata, profundidade 10-20 cm, nas épocas de início e florescimento das culturas de verão e inverno, durante três anos.

Amostragens ⁽¹⁾		Variáveis microbiológicas ⁽²⁾							
		Mata (10-20 cm)							
Ano	Época	NMA	NMC	CO ₂	CBM	qCO ₂	AC	AP	AU
		número . 10 ⁶	número . 10 ²	µg CO ₂ g ⁻¹ dia ⁻¹	µg C g ⁻¹ de solo seco	µg C g ⁻¹ h ⁻¹	µg.g ⁻¹ dia ⁻¹	µg g ⁻¹ 2h ⁻¹	µg g ⁻¹ 2h ⁻¹
2002	ICV	7,04	211,29	18,16	1024,64	0,02	129,43	1349,96	6567,95
2003	FCV	8,28	1,55	30,37	757,89	0,04	162,58	138,80	1320,96
2003	ICI	244,57	1,56	61,6	717,00	0,08	182,95	203,33	1170,62
2003	FCI	20,89	5,09	28,82	131,73	0,23	269,91	60,10	1446,67
2003	ICV	5,11	8,99	53,82	472,94	0,12	120,325	138,22	11966,80
2004	FCV	41,03	10,21	40,72	1422,69	0,05	157,825	62,95	1776,40
2004	ICI	26,4	7,60	25,21	400,57	0,07	210,6	82,45	1165,05
2004	FCI	22,93	4,97	26,12	266,93	0,10	317,375	49,67	1448,90
2004	ICV	7,96	9,60	35,97	734,93	0,05	138,55	2561,70	1169,10
2005	FCV	209,77	1,78	31,67	371,21	0,09	167,35	214,82	865,52
2005	ICI	0,64	0,79	43,32	407,34	0,11	155,3	324,22	1176,20
2005	FCI	0,26	0,71	53,72	525,88	0,10	222,45	70,52	1444,45

⁽¹⁾ ICV: início da cultura de verão; FCV: florescimento da cultura de verão; ICI: início da cultura de inverno; FCI: florescimento da cultura de inverno;

⁽²⁾ NMA: número de microrganismos amonificadores; NMC: número de microrganismos celulolíticos; CO₂: respiração; CBM: carbono da biomassa microbiana; qCO₂: quociente metabólico; AC: atividade de celulase; AP: atividade de protease; AU: atividade de urease.

ANEXO 6 – Médias das quatro repetições das oito variáveis microbiológicas na seringueira, profundidade 10-20 cm, nas épocas de início e florescimento das culturas de verão e inverno, durante três anos.

Amostragens ⁽¹⁾		Variáveis microbiológicas ⁽²⁾							
		Seringueira (10-20 cm)							
Ano	Época	NMA	NMC	CO ₂	CBM	qCO ₂	AC	AP	AU
		número . 10 ⁶	número . 10 ²	µg CO ₂ g ⁻¹ dia ⁻¹	µg C g ⁻¹ de solo seco	µg C g h ⁻¹	µg.g ⁻¹ dia ⁻¹	µg g ⁻¹ 2h ⁻¹	µg g ⁻¹ 2h ⁻¹
2002	ICV	16,85	77,75	19,37	842,91	0,02	125,13	1019,75	6742,90
2003	FCV	2,19	10,77	15,79	646,87	0,02	104,46	0	683,79
2003	ICI	87,85	1,69	19,80	550,67	0,04	148,96	139,98	766,71
2003	FCI	14,58	2,92	17,42	58,21	0,32	131,66	24,77	801,18
2003	ICV	3,17	0,95	21,02	334,10	0,07	108,07	13,82	12317
2004	FCV	32,37	7,34	28,61	1056,82	0,03	99,47	0	805,97
2004	ICI	10,68	2,34	9,83	155,74	0,05	177,67	30,87	769,62
2004	FCI	12,97	2,65	13,10	384,10	0,11	170	49,55	773,05
2004	ICV	6,62	4,20	20,19	486,66	0,04	142,20	2025,65	1168,70
2005	FCV	24,01	5,32	14,27	540,83	0,03	109,45	0	561,62
2005	ICI	0,34	1,80	18,97	252,69	0,07	120,25	249,10	763,80
2005	FCI	0,17	0,195	13,70	383,44	0,03	93,32	0	829,32

⁽¹⁾ ICV: início da cultura de verão; FCV: florescimento da cultura de verão; ICI: início da cultura de inverno; FCI: florescimento da cultura de inverno;

⁽²⁾ NMA: número de microrganismos amonificadores; NMC: número de microrganismos celulolíticos; CO₂: respiração; CBM: carbono da biomassa microbiana; qCO₂: quociente metabólico; AC: atividade de celulase; AP: atividade de protease; AU: atividade de urease.

ANEXO 7 – Médias das quatro repetições das oito variáveis microbiológicas no solo sob plantio direto, profundidade 10-20 cm, nas épocas de início e florescimento das culturas de verão e inverno, durante três anos.

Amostragens ⁽¹⁾		Variáveis microbiológicas ⁽²⁾							
		Plantio direto (10-20 cm)							
Ano	Época	NMA	NMC	CO ₂	CBM	qCO ₂	AC	AP	AU
		número . 10 ⁶	número . 10 ²	µg CO ₂ g ⁻¹ dia ⁻¹	µg C g ⁻¹ de solo seco	µg C g ⁻¹ h ⁻¹	µg.g ⁻¹ dia ⁻¹	µg g ⁻¹ 2h ⁻¹	µg g ⁻¹ 2h ⁻¹
2002	ICV	9,41	298,05	10,12	939,44	0,01	158,53	362,17	3984,15
2003	FCV	1,27	6,23	6,06	692,81	0,01	178,92	52,68	572,90
2003	ICI	107,90	2,79	11,25	604,15	0,02	151,77	133,53	582,57
2003	FCI	5,30	4,14	12,71	90,02	0,15	264,08	26,25	632,80
2003	ICV	3,32	3,94	18,62	319,54	0,09	220,30	79,95	7313,90
2004	FCV	23,93	30,48	23,85	559,49	0,04	223,42	42,12	629,10
2004	ICI	17,14	6,36	5,79	193,10	0,04	222,90	126,15	592,35
2004	FCI	4,39	6,43	10,87	435,25	0,10	381,62	0	627,35
2004	ICV	6,61	17,21	14,35	522,86	0,03	96,77	644,40	654,40
2005	FCV	32,05	0,62	12,50	195,81	0,07	134,42	63,25	516,72
2005	ICI	0,12	1,59	11,37	179,76	0,07	80,65	140,92	572,80
2005	FCI	0,20	1,27	15,27	163,24	0,27	146,55	52,50	638,25

⁽¹⁾ ICV: início da cultura de verão; FCV: florescimento da cultura de verão; ICI: início da cultura de inverno; FCI: florescimento da cultura de inverno;

⁽²⁾ NMA: número de microrganismos amonificadores; NMC: número de microrganismos celulolíticos; CO₂: respiração; CBM: carbono da biomassa microbiana; qCO₂: quociente metabólico; AC: atividade de celulase; AP: atividade de protease; AU: atividade de urease.

ANEXO 8 – Médias das quatro repetições das oito variáveis microbiológicas no solo sob plantio convencional, profundidade 10-20 cm, nas épocas de início e florescimento das culturas de verão e inverno, durante três anos.

Amostragens ⁽¹⁾		Variáveis microbiológicas ⁽²⁾							
		Plantio convencional (10-20 cm)							
Ano	Época	NMA	NMC	CO ₂	CBM	qCO ₂	AC	AP	AU
		número . 10 ⁶	número . 10 ²	µg CO ₂ g ⁻¹ dia ⁻¹	µg C g ⁻¹ de solo seco	µg C g ⁻¹ h ⁻¹	µg . g ⁻¹ dia ⁻¹	µg g ⁻¹ 2h ⁻¹	µg g ⁻¹ 2h ⁻¹
2002	ICV	12,48	195,15	15,37	2674,08	0,02	149,46	889,61	6726,50
2003	FCV	2,60	8,69	11,17	655,38	0,02	181,63	129,34	594,23
2003	ICI	140,85	3,85	13,68	636,25	0,02	170,94	78,85	574,02
2003	FCI	15,24	1,43	11,34	169,26	0,11	249,07	12,61	600,50
2003	ICV	4,19	0,91	25,03	296,45	0,08	203,22	113,17	12588
2004	FCV	17,43	26,56	26,36	996,97	0,03	195,27	16,12	717,95
2004	ICI	10,70	5,80	8,30	258,07	0,07	216,97	63,95	561,55
2004	FCI	19,50	1,44	15,07	174,64	0,28	317,12	0	589,97
2004	ICV	6,71	13,73	20,19	593,46	0,03	95,70	1666	864,52
2005	FCV	59,85	1,01	13,40	138,17	0,10	168,02	242,57	470,52
2005	ICI	0,21	0,14	14,55	199,19	0,08	124,92	93,75	586,50
2005	FCI	0,28	1,28	20,92	236,49	0,09	181,02	25,22	611,10

⁽¹⁾ ICV: início da cultura de verão; FCV: florescimento da cultura de verão; ICI: início da cultura de inverno; FCI: florescimento da cultura de inverno

⁽²⁾ NMA: número de microrganismos amonificadores; NMC: número de microrganismos celulolíticos; CO₂: respiração; CBM: carbono da biomassa microbiana; qCO₂: quociente metabólico; AC: atividade de celulase; AP: atividade de protease; AU: atividade de urease.

ANEXO 9 – Médias das quatro repetições das oito variáveis microbiológicas na mata, profundidade 20-40 cm, nas épocas de início e florescimento das culturas de verão e inverno, durante três anos.

Amostragens ⁽¹⁾		Variáveis microbiológicas ⁽²⁾								
		Mata (20-40 cm)								
Ano	Época	NMA	NMC	CO ₂	CBM	qCO ₂	AC	AP	AU	
		número . 10 ⁶	número . 10 ²	µg CO ₂ g ⁻¹ dia ⁻¹	µg C g ⁻¹ de solo seco	µg C g ⁻¹ h ⁻¹	µg.g ⁻¹ dia ⁻¹	µg g ⁻¹ 2h ⁻¹	µg g ⁻¹ 2h ⁻¹	
2002	ICV	4,07	69,47	15,70	838,54	0,02	149,41	994,51	3279,00	
2003	FCV	6,92	2,09	13,86	601,35	0,03	136,30	1,15	873,18	
2003	ICI	125,84	1,54	32,09	556,32	0,06	113,42	190,32	742,68	
2003	FCI	5,79	7,90	26,40	131,19	0,55	98,96	52,05	817,67	
2003	ICV	3,79	0,24	42,45	305,76	0,20	111,77	41,52	5565,50	
2004	FCV	9,98	4,85	33,27	953,40	0,05	105,77	2,30	1343,10	
2004	ICI	36,00	4,62	19,98	235,06	0,10	136,12	74,87	781,97	
2004	FCI	5,36	7,58	17,17	421,56	0,17	107,62	49,10	817,35	
2004	ICV	6,55	2,54	29,08	578,61	0,05	187,05	1947,60	992,57	
2005	FCV	58,86	7,10	22,00	212,40	0,11	166,82	0	403,02	
2005	ICI	0,44	0,14	32,32	217,23	0,15	90,72	305,77	703,40	
2005	FCI	0,21	0,26	35,37	344,81	0,10	90,30	55	818,00	

⁽¹⁾ ICV: início da cultura de verão; FCV: florescimento da cultura de verão; ICI: início da cultura de inverno; FCI: florescimento da cultura de inverno;

⁽²⁾ NMA: número de microrganismos amonificadores; NMC: número de microrganismos celulolíticos; CO₂: respiração; CBM: carbono da biomassa microbiana; qCO₂: quociente metabólico; AC: atividade de celulase; AP: atividade de protease; AU: atividade de urease.

ANEXO 10 – Médias das quatro repetições das oito variáveis microbiológicas na seringueira, profundidade 20-40 cm, nas épocas de início e florescimento das culturas de verão e inverno, durante três anos.

Amostragens ⁽¹⁾		Variáveis microbiológicas ⁽²⁾							
Ano	Época	Seringueira (20-40 cm)							
		NMA número . 10 ⁶	NMC número . 10 ²	CO ₂ μg CO ₂ g ⁻¹ dia ⁻¹	CBM μg C g ⁻¹ de solo seco	qCO ₂ μg C g h ⁻¹	AC μg.g ⁻¹ dia ⁻¹	AP μg g ⁻¹ 2h ⁻¹	AU μg g ⁻¹ 2h ⁻¹
2002	ICV	7,34	26,53	6,32	836,69	0,01	166,06	971,30	3034,50
2003	FCV	5,94	2,66	6,21	439,61	0,01	80,23	0	564,16
2003	ICI	95,42	1,60	15,00	507,26	0,03	107,38	0	588,66
2003	FCI	7,19	3,11	20,51	112,40	0,23	95,45	0	501,77
2003	ICV	2,89	1,77	20,07	298,11	0,08	270,15	64	5518,70
2004	FCV	5,07	1,04	23,39	601,08	0,04	109,47	0	810,75
2004	ICI	9,08	10,68	12,32	221,34	0,06	168,35	0	613,00
2004	FCI	5,60	2,86	10,52	168,28	0,07	99,75	0	502,20
2004	ICV	6,24	1,40	13,20	436,33	0,03	61,97	1878,70	550,32
2005	FCV	19,90	6,71	11,00	454,11	0,02	51	0	317,60
2005	ICI	0,20	1,16	12,22	116,20	0,10	46,42	0	564,32
2005	FCI	0,12	0,26	8,95	347,78	0,02	91,15	0	501,35

⁽¹⁾ ICV: início da cultura de verão; FCV: florescimento da cultura de verão; ICI: início da cultura de inverno; FCI: florescimento da cultura de inverno;

⁽²⁾ NMA: número de microrganismos amonificadores; NMC: número de microrganismos celulolíticos; CO₂: respiração; CBM: carbono da biomassa microbiana; qCO₂: quociente metabólico; AC: atividade de celulase; AP: atividade de protease; AU: atividade de urease.

ANEXO 11 – Médias das quatro repetições das oito variáveis microbiológicas no solo sob plantio direto seringueira, profundidade 20-40 cm, nas épocas de início e florescimento das culturas de verão e inverno, durante três anos.

Amostragens ⁽¹⁾		Variáveis microbiológicas ⁽²⁾							
		Plantio direto (20-40 cm)							
Ano	Época	NMA	NMC	CO ₂	CBM	qCO ₂	AC	AP	AU
		número . 10 ⁶	número . 10 ²	µg CO ₂ g ⁻¹ dia ⁻¹	µg C g ⁻¹ de solo seco	µg C g ⁻¹ h ⁻¹	µg.g ⁻¹ dia ⁻¹	µg g ⁻¹ 2h ⁻¹	µg g ⁻¹ 2h ⁻¹
2002	ICV	14,73	105,37	7,46	809,41	0,01	56,82	378,26	4416,00
2003	FCV	3,10	10,41	3,97	768,45	0,01	52,68	15,12	1044,00
2003	ICI	94,21	3,37	7,50	669,74	0,01	125,51	17,43	989,20
2003	FCI	8,23	1,72	8,97	74,01	0,26	179,46	0	573,87
2003	ICV	1,19	0,88	13,85	317,06	0,08	40,77	93,05	7810,10
2004	FCV	5,09	2,89	22,29	474,54	0,05	39,87	30,25	1335,50
2004	ICI	5,13	12,29	9,17	205,14	0,13	212,40	34,87	836,50
2004	FCI	9,05	1,59	8,97	258,37	0,09	293,37	0	580,52
2004	ICV	4,68	1,89	10,85	454,56	0,02	72,87	663,47	1023,50
2005	FCV	50,17	26,40	10,35	110,46	0,09	65,50	0	752,45
2005	ICI	0,11	0,73	9,15	121,78	0,07	38,62	0	1141,90
2005	FCI	0,09	734,66	11,65	93,50	0,20	65,55	0	567,25

⁽¹⁾ ICV: início da cultura de verão; FCV: florescimento da cultura de verão; ICI: início da cultura de inverno; FCI: florescimento da cultura de inverno;

⁽²⁾ NMA: número de microrganismos amonificadores; NMC: número de microrganismos celulolíticos; CO₂: respiração; CBM: carbono da biomassa microbiana; qCO₂: quociente metabólico; AC: atividade de celulase; AP: atividade de protease; AU: atividade de urease.

ANEXO 12 – Médias das quatro repetições das oito variáveis microbiológicas no solo sob plantio convencional, profundidade 20-40 cm, nas épocas de início e florescimento das culturas de verão e inverno, durante três anos.

Amostragens ⁽¹⁾		Variáveis microbiológicas ⁽²⁾							
		Plantio convencional (20-40 cm)							
Ano	Época	NMA	NMC	CO ₂	CBM	qCO ₂	AC	AP	AU
		número . 10 ⁶	número . 10 ²	µg CO ₂ g ⁻¹ dia ⁻¹	µg C g ⁻¹ de solo seco	µg C g ⁻¹ h ⁻¹	µg.g ⁻¹ dia ⁻¹	µg g ⁻¹ 2h ⁻¹	µg g ⁻¹ 2h ⁻¹
2002	ICV	5,51	35,64	12,09	873,49	0,01	125,43	398,03	2108,10
2003	FCV	1,56	6,14	4,81	592,70	0,01	83,43	0	6088,60
2003	ICI	60,31	1,13	5,72	514,64	0,01	131,50	0	830,28
2003	FCI	6,65	0,94	11,33	114,90	0,33	169,32	17,36	656,53
2003	ICV	1,81	5,09	15,36	189,56	0,12	190,27	101,85	3262,80
2004	FCV	9,90	0,57	20,04	454,78	0,04	65,17	0	1607,00
2004	ICI	5,45	7,42	8,59	182,11	0,05	129,70	0	835,45
2004	FCI	6,17	0,86	7,15	537,42	0,11	198,70	0	654,62
2004	ICV	4,29	2,82	13,72	557,47	0,02	60,60	694,20	953,40
2005	FCV	46,04	8,23	7,12	94,52	0,08	101,70	0	1057,02
2005	ICI	0,12	0,24	10,75	146,21	0,09	133,30	0	825,15
2005	FCI	0,07	0,55	10,95	176,76	0,07	139,95	34,72	658,45

⁽¹⁾ ICV: início da cultura de verão; FCV: florescimento da cultura de verão; ICI: início da cultura de inverno; FCI: florescimento da cultura de inverno;

⁽²⁾ NMA: número de microrganismos amonificadores; NMC: número de microrganismos celulolíticos; CO₂: respiração; CBM: carbono da biomassa microbiana; qCO₂: quociente metabólico; AC: atividade de celulase; AP: atividade de protease; AU: atividade de urease.

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](#)