

Uso de Parâmetros Microbiológicos como Indicadores para Avaliar a Qualidade do Solo e a Sustentabilidade dos Agroecossistemas





*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Cerrados
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

ISSN 1517-5111

Abril, 2004

Documentos 112

Uso de Parâmetros Microbiológicos como Indicadores para Avaliar a Qualidade do Solo e a Sustentabilidade dos Agroecossistemas

Iêda de Carvalho Mendes
Fábio Bueno dos Reis Junior

Planaltina, DF
2004

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Cerrados

BR 020, Km 18, Rod. Brasília/Fortaleza

Caixa Postal 08223

CEP 73310-970 Planaltina - DF

Fone: (61) 3388-9898

Fax: (61) 3388-9879

<http://www.cpac.embrapa.br>

sac@cpac.embrapa.br

Comitê de Publicações

Presidente: *Dimas Vital Siqueira Resck*

Editor Técnico: *Carlos Roberto Spehar*

Secretária-Executiva: *Maria Edilva Nogueira*

Supervisão editorial: *Maria Helena Gonçalves Teixeira*

Revisão de texto: *Maria Helena Gonçalves Teixeira*

Normalização bibliográfica: *Shirley da Luz Soares*

Capa: *Chaile Cherne Soares Evangelista*

Editoração eletrônica: *Jussara Flores de Oliveira*

Impressão e acabamento: *Divino Batista de Souza*

Jaime Arbués Carneiro

Impresso no Serviço Gráfico da Embrapa Cerrados

1ª edição

1ª impressão (2004): tiragem 100 exemplares

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

CIP-Brasil. Catalogação na publicação.

Embrapa Cerrados.

M538u Mendes, lêda de Carvalho.

Uso de parâmetros microbiológicos como indicadores para avaliar a qualidade do solo e a sustentabilidade dos agroecossistemas / lêda de Carvalho Mendes, Fábio Bueno dos Reis Junior. – Planaltina, DF :

Embrapa Cerrados, 2004.

34 p. — (Documentos / Embrapa Cerrados, ISSN 1517-5111; 112)

1. Microbiologia do solo. 2. Análise do solo. I. Reis Junior, Fábio Bueno dos. II. Título. III. Série.

578.757 - CDD 21

© Embrapa 2004

Autores

Iêda de Carvalho Mendes

Eng. Agrôn., Ph.D., Embrapa Cerrados

mendes@cpac.embrapa.br

Fábio Bueno dos Reis Junior

Eng. Agrôn., Dr., Embrapa Cerrados

fabio@cpac.embrapa.br

Agradecimentos

Ao técnico agrícola Osmar Teago de Oliveira, aos funcionários de Microbiologia do Solo: Maria das Dores Silva, Edivaldo Oliveira das Neves, Emílio J. Taveira e Odete J. dos Santos e aos estudantes Anderson Barbosa dos Santos, Lucas Rolim Machado, Luciana Gomes da Silva, Lidinalva da Silva Ribeiro, Geancarlo da Silva Ribeiro e Carla Albuquerque de Sousa. Aos colegas Mariangela Hungria e Djalma Martinhão Gomes de Sousa por todo incentivo e apoio aos nossos trabalhos.

Apresentação

O tema qualidade do solo, diferentemente do que ocorre com a água e o ar, não tem merecido a atenção devida, embora todo nosso sistema de produção alimentar e de fibras seja baseado no uso do solo. Nessa publicação, resumo de uma palestra apresentada no Seminário internacional de Indicadores de Qualidade de Solo, ocorrido em Marcos Juarez-Argentina são discutidos vários aspectos relacionados a essa temática tão complexa que é quantificar a qualidade dos solos de ambientes tropicais.

Roberto Teixeira Alves

Chefe-Geral da Embrapa Cerrados

Sumário

Microrganismos como Indicadores de Qualidade de Solo	11
Biomassa, Atividade e Diversidade Microbiana	14
O Bioma Cerrado e a Agricultura Brasileira	16
Impactos de Sistemas de Plantio Direto e Plantio Convencional nas Propriedades Microbiológicas e Bioquímicas do Solo	19
Carbono da Biomassa Microbiana	20
Atividade Enzimática do Solo	22
Efeitos do Desmatamento de Áreas Nativas nas Propriedades Microbiológicas e Bioquímicas do Solo	24
A Experiência Brasileira com Indicadores Biológicos	26
Perspectivas	28
Referências Bibliográficas	29
Abstract	34

Uso de Parâmetros Microbiológicos como Indicadores para Avaliar a Qualidade do Solo e a Sustentabilidade dos Agroecossistemas

lêda de Carvalho Mendes; Fábio Bueno dos Reis Junior

Microrganismos como Indicadores de Qualidade de Solo

A busca de práticas agrícolas que proporcionem altas produtividades, mas que também levem em consideração os diversos aspectos relativos à qualidade ambiental, é uma equação complexa cuja resolução não pode negligenciar o componente biológico do solo, pois este apresenta estreita inter-relação com os componentes físicos e químicos. Por isso, todos os fatores que afetam negativamente os microrganismos e promovem perdas da matéria orgânica provocam, também, deterioração das propriedades físicas e químicas do solo.

Os microrganismos representam cerca de 60% a 80% da fração viva e mais ativa da matéria orgânica do solo que constitui, por sua vez, o principal componente de fertilidade dos solos tropicais. As raízes das plantas e a fauna do solo são os outros componentes da fração viva da matéria orgânica, compondo, respectivamente, 5% a 10% e 15% a 30% dela ([THENG et al., 1989](#)). Apesar da sua importância em relação ao teor total de C orgânico no solo, o tamanho dos componentes vivos da matéria orgânica é relativamente pequeno, variando de 1% a 5% do C orgânico total dos solos ([JENKINSON; LADD, 1981](#); [SMITH; PAUL, 1990](#)).

A biomassa microbiana do solo, geralmente expressa em μg de C. g^{-1} de solo ou mg de C. kg^{-1} de solo, é formada de fungos, bactérias e actinomicetos que atuam em processos que vão desde a origem do solo (intemperização das rochas),

formação e manutenção da sua estrutura até a decomposição de resíduos orgânicos, ciclagem de nutrientes e biorremediação de poluentes e metais pesados. Nos ecossistemas tropicais, onde o N e o P estão entre os principais fatores limitantes para a produtividade, também merecem destaque os processos de fixação biológica do nitrogênio, as relações simbióticas entre plantas e fungos micorrízicos e a ação dos microrganismos solubilizadores de P e produtores de fosfatases.

Os pesquisadores e a sociedade, de maneira geral, estão mais familiarizados com os conceitos de qualidade da água e do ar e de como o mau uso desses recursos pode afetar a saúde humana e o meio ambiente. Entretanto, a despeito da importância do solo para a humanidade, uma vez que todo nosso sistema de produção alimentar e de fibras é baseado no seu uso, o interesse pelo tema **“Qualidade de solo”** é relativamente recente, datando do fim da década de 1980 e início da década de 1990. De acordo com [Doran e Parkin \(1994\)](#), qualidade do solo é a capacidade de ele funcionar dentro dos limites dos ecossistemas para: (i) sustentar a produtividade biológica; (ii) manter a qualidade da água e do ar e (iii) promover a saúde humana, de plantas e de animais. Ou seja, além da importância do solo para a produção de alimentos, o conceito de qualidade do solo também destaca a importância desse recurso para o funcionamento global dos ecossistemas. Apesar da crescente conscientização sobre a conservação e uso racional dos solos, existe carência de indicadores que possam quantificar o conceito de qualidade de solo. A multiplicidade de fatores químicos, físicos e biológicos que controlam os processos biogeoquímicos e suas variações em função do tempo e do espaço, aliada à complexidade do solo, estão entre os fatores que dificultam a capacidade de avaliar sua qualidade e identificar parâmetros-chave que possam servir como indicadores do seu funcionamento. Por essa razão, um conjunto mínimo de indicadores, englobando atributos físicos, químicos e biológicos, deve ser utilizado nas análises de qualidade do solo ([DORAN; PARKIN, 1994](#)). Cientes dessas limitações e do fato de que nenhum indicador individualmente irá descrever e quantificar todos os aspectos da qualidade do solo, [Halloway e Stork \(1991\)](#), apud [Turco et al. \(1994\)](#) listaram as principais características que um bom indicador ecológico de qualidade do solo deve possuir:

1. Refletir algum aspecto do funcionamento do ecossistema.
2. Mostrar uma resposta precisa e rápida a qualquer perturbação.

3. Ser de simples determinação e barato.
4. Possuir distribuição universal, mas com especificidades regionais.

Por ser a parte viva e mais ativa da matéria orgânica do solo e por atuar em importantes processos biogeoquímicos, vários estudos mostram que os indicadores biológicos são mais sensíveis que os indicadores químicos e físicos para detectar, com mais antecedência, alterações que ocorrem no solo em função do seu uso e manejo ([DORAN, 1980](#); [DICK, 1994](#); [TRASAR-CÈPEDA et al., 1998](#); [MATSUOKA et al., 2003](#)). Isso justifica a necessidade da inclusão dos indicadores biológicos nos índices de qualidade do solo e de estudos visando selecionar quais indicadores biológicos seriam os mais apropriados para esse fim.

Conforme destacado por [Tótola e Chaer \(2002\)](#), as dificuldades na interpretação dos indicadores biológicos de qualidade, ou seja, de saber quando é que os valores obtidos indicam que o solo é bom ou não, constituem um dos grandes obstáculos a serem transpostos nas avaliações de qualidade do solo.

Diferentemente do que ocorre com os indicadores químicos de fertilidade, cujos níveis (muito baixo, baixo, médio, adequado e alto) já estão relativamente bem definidos para cada elemento e tipo de solo (sempre levando em consideração características como: textura, teor de matéria orgânica, etc.), a base de informações biológicas disponível ainda é muito pequena.

Outro aspecto a ser destacado é que os valores “ideais” podem variar conforme o tipo de solo, sistemas de manejo e condições climáticas. [Santana e Bahia-Filho \(1999\)](#) utilizaram o termo limite de sustentabilidade para separar a condição sustentável da não sustentável e sugeriram dois enfoques para a definição de critérios de referências: (1) condição de solo nativo e (2) condições que maximizem a produção e conservem o meio ambiente. Critérios de variação temporal que envolvem o acompanhamento das áreas ao longo do tempo constituem, também, outra possibilidade. Entre os três critérios de referência, o uso de áreas nativas, com mínimos impactos antropogênicos, tem prevalecido ([DICK, 1994](#); [DORAN; PARKIN, 1994](#); [TRASAR-CEPEDA et al., 1998](#); [MENDES et al., 2003](#)).

Tendo em vista que a quantificação da qualidade de um solo é um processo complexo, a elaboração de índices de qualidade, englobando aspectos físicos químicos e biológicos, constitui-se numa forma de agregar e simplificar

informações de natureza diversa. Esses índices podem ser utilizados para o monitoramento do estado geral do solo e da recuperação de áreas degradadas, identificação de práticas de manejo mais adequadas e até mesmo com finalidade de orientar programas e políticas agrícolas relacionados à ocupação e ao uso do solo ([SANTANA; BAHIA-FILHO, 1999](#)). Com o emprego desses índices, os proprietários rurais poderão oferecer um produto diferenciado, comprovando que as práticas de manejo, adotadas em suas propriedades, permitem a manutenção e a melhoria da qualidade do solo garantindo a preservação desse recurso para as gerações futuras. Além disso, o uso desses índices poderá também servir como referencial para a valoração das terras ([TÓTOLA; CHAER, 2002](#)).

Biomassa, Atividade e Diversidade Microbiana

Dentre os parâmetros utilizados para caracterizar o componente biológico dos solos, destacam-se as medidas de biomassa, atividade e diversidade microbiana. A biomassa microbiana do solo é constituída por fungos, bactérias e actinomicetos. Apesar da sua importância em relação ao teor total de C orgânico no solo, o tamanho dos componentes vivos da matéria orgânica é relativamente pequeno, variando de 1% a 5% do C orgânico total dos solos ([JENKINSON; LADD, 1981](#); [SMITH; PAUL, 1990](#)). Como de 95% a 99% da matéria orgânica é constituída por frações mortas, relativamente estáveis e resistentes a alterações, mudanças significativas nessas frações podem levar anos ou até décadas para serem percebidas ([RICE et al., 1996](#)).

Determinações da biomassa microbiana não fornecem indicações sobre os níveis de atividade das populações microbianas do solo, ou seja, podem ocorrer situações em que os solos apresentem elevadas quantidades de biomassa inativa e vice-versa. Daí a importância dos parâmetros que medem a atividade microbiana para avaliar o estado metabólico atual e potencial das comunidades de microrganismos do solo. Dentre esses, destacam-se as determinações de C e N prontamente mineralizáveis e as de atividade enzimática dos solos. A quantidade de CO₂ liberada pela respiração dos microrganismos (também denominada C prontamente mineralizável) é um dos métodos mais tradicionais e mais utilizados para avaliar a atividade metabólica da população microbiana do solo ([ZIBILSKE, 1994](#)). Da mesma forma que outras atividades metabólicas, a respiração depende do estado fisiológico das células e é influenciada por diferentes fatores tais como: umidade, temperatura e disponibilidade de

nutrientes. Enquanto os ensaios para determinação da respiração do solo como um todo podem ser realizados no campo, os ensaios para respiração microbiana são comumente realizados em vasos hermeticamente fechados, incubados sob condições de laboratório, utilizando-se de uma base (KOH) para capturar o CO₂ que é evoluído do solo.

As enzimas do solo participam das reações metabólicas intercelulares, responsáveis pelo funcionamento e pela manutenção dos seres vivos e também desempenham papel fundamental, atuando como catalizadoras de várias reações que resultam na decomposição de resíduos orgânicos (ligninases, celulases, proteases, glucosidases, galactosidases), ciclagem de nutrientes (fosfatases, amidases, sulfatases), formação da matéria orgânica e da estrutura do solo ([MENDES; VIVALDI, 2001](#)). Como os ensaios para determinação da atividade enzimática são realizados sob condições ideais de pH, temperatura e disponibilidade de substrato, eles representam a atividade potencial máxima e não a atividade enzimática real do solo ([ALEF; NANNIPIERI, 1995](#)). A atividade enzimática de um solo é o resultado do somatório da atividade enzimática dos organismos vivos (plantas, microrganismos e animais) e das enzimas abiônicas (enzimas associadas à fração não-viva que se acumulam no solo protegidas da ação de proteases através da adsorção em partículas de argila e na matéria orgânica). Vários trabalhos têm demonstrado o grande potencial das análises enzimáticas como indicadores sensíveis para detectar diferenças entre solos e mudanças que variam em função da influência antrópica nesses solos ([DICK, 1994; TRASAR-CÉPEDA et al., 1998](#)).

As avaliações de diversidade microbiana fornecem indicativos da variedade em termos de número de espécies presentes em determinado solo. O advento de técnicas moleculares tem permitido identificar que o número de espécies microbianas presentes no solo é bastante superior ao estimado com base em técnicas tradicionais de cultivo em placa ([WARD et al., 1990](#)). [Torsvik et al. \(1990\)](#), com base em dados de reassociação de DNA extraído de solo, estimaram que o número de genomas em um grama de solo estaria em torno de 10.000 dos quais pequena minoria (de 10 a 0,1%) teria capacidade de crescer em meio de cultivo no laboratório. Embora menos evidente, a diversidade microbiana é tão importante quanto à das plantas e dos animais. Quanto maior a diversidade, maior a estabilidade dos ecossistemas, pois o uso dos recursos disponíveis é mais eficiente, sendo menor o gasto de energia para sustentar a biomassa ali presente ([TÓTOLA; CHAER, 2002](#)). A diversidade microbiana

estaria, portanto, relacionada a um efeito tampão do solo contra estresses ambientais naturais ou causados pelo homem. Para determinado solo, as avaliações de diversidade envolvem aspectos genéticos (número/riqueza de genomas) e funcionais (variedade de funções de decomposição, transformação de nutrientes, promoção/supressão do crescimento de plantas). Conforme destacado por [Tótolá e Chaer, \(2002\)](#), a importância das análises de diversidade funcional reside no fato de que somente com base nas alterações na diversidade genética não é possível inferir se algumas funções do solo foram perdidas ou não. As análises de diversidade funcional permitem melhor compreensão do funcionamento da comunidade microbiana, uma vez que possibilitam averiguar a presença de redundância funcional no solo, isto é, a existência de populações que desempenham o mesmo papel funcional. Quanto maior a redundância funcional e a diversidade de organismos, mais rápido o ecossistema pode retornar às condições originais iniciais, ou seja, maior a sua resiliência.

Todos os procedimentos mencionados anteriormente para a avaliação da biomassa, atividade e diversidade microbiana permitem avaliar alguns aspectos do efeito do manejo do solo na biota. Entretanto, como uma única técnica não é capaz de fornecer todas as informações necessárias para se avaliar o que realmente está acontecendo no solo, é imprescindível a combinação das técnicas tradicionais e modernas.

O Bioma Cerrado e a Agricultura Brasileira

O Bioma Cerrado, segundo maior bioma brasileiro com 204 milhões de hectares, possui grande destaque no cenário agrícola nacional e mundial, sendo ao mesmo tempo importante reserva da biodiversidade e um grande potencial produtor de alimentos. É possível, com tecnologia, incorporar ao sistema produtivo até 127 milhões de hectares, mantendo 38% do Cerrado como reserva natural.

Desde o início da ocupação agrícola do Cerrado, essa região vem apresentando desenvolvimento excepcional ([Tabela 1](#)). Para exemplificar, em 2004, o Cerrado brasileiro foi responsável por 60,2% da produção nacional de soja, com níveis de produtividade (2,728 kg/ha) superiores à média nacional (2,495 kg/ha). Exemplos como esse podem ser estendidos a outras culturas, como a do milho (primeira safra), em que as produtividade médias nos estados da Região Centro-

Oeste superaram em 55,2% a brasileira na safra 2004, atingindo médias de até 6000 kg/ha, como no Distrito Federal.

Um dos principais fatores responsáveis por essa performance invejável foi a geração de tecnologias que permitiram a incorporação desses solos ácidos, altamente intemperizados e pobres em nutrientes, ao processo agrícola. Entre essas tecnologias, as técnicas para a correção e adubação dos solos, as estirpes de rizóbio para a soja e o desenvolvimento de cultivares e de sistemas de produção para soja, milho e trigo adaptados à região constituem alguns dos triunfos da pesquisa agrícola nos trópicos.

Tabela 1. Evolução da produção de grãos em áreas de Cerrado de 1975 a 2004 e sua contribuição relativa (%) na produção brasileira.

Produto	Produção-mil toneladas (% da produção brasileira)				
	1975	1980	1985	1990	2004
Soja	310 (3.14)	1.833 (12.09)	5.961 (32.61)	6.348 (31.92)	36.984 (60.2)
Milho	2.824 (17.29)	3.706 (18.19)	4.132 (18.77)	4.352 (20.39)	14078 (32.6)
Arroz	2.335 (30.00)	3.555 (36.37)	2.634 (29.19)	1.464 (19.73)	4.329 (34)
Feijão	300 (13.14)	231 (11.73)	277 (10.85)	390 (17.51)	1375 (44.9)

Entretanto, apesar de excepcional, do ponto de vista de participação no cenário agrícola nacional, o desenvolvimento agrícola dessa região, muitas vezes, tem sido acompanhado do manejo inadequado do solo, resultando em decréscimos nos teores de matéria orgânica, destruição dos agregados, compactação e erosão [\(SILVA et al., 1994\)](#).

Embora os impactos de sistemas agrossilvipastoris nas propriedades químicas e físicas dos solos de Cerrado sejam relativamente bem documentados, o mesmo não pode ser dito sobre o impacto desses sistemas nas propriedades bioquímicas

(atividade enzimática) e microbiológicas (quantidade, atividade, composição e biodiversidade das comunidades microbianas) desses solos. A falta de informações sobre as comunidades microbianas e seu papel na ciclagem de nutrientes nas savanas tropicais contrasta com a abundância de informações nos ecossistemas das regiões temperadas e mesmo em outras regiões do Brasil, tais como as Regiões Norte e Sul.

Até 1998, os estudos de microbiologia do solo, realizados em áreas de Cerrado, foram concentrados em fungos micorrízicos e em rizobiologia (seleção de estirpes de rizóbio adaptadas às condições de Cerrado para as culturas da soja, feijão, ervilha e outras leguminosas). Existia, até então, desconhecimento sobre as propriedades microbiológicas dos solos do Bioma Cerrado, sob vegetação nativa, sobre os impactos de sistemas agrícolas no funcionamento dos processos microbiológicos desses solos e de suas conseqüências na manutenção, na melhoria ou na perda da qualidade deles, após sua incorporação à agricultura.

Neste documento são apresentados alguns dos resultados dos estudos iniciados em 1998 na Embrapa Cerrados. Com base nesses trabalhos, hoje dispõem-se de um volume considerável de informações sobre os processos microbiológicos dos solos do Bioma Cerrado sob vegetação nativa e sob diferentes sistemas agropastoris. Nesses estudos, foram monitoradas as alterações promovidas por diferentes sistemas de manejo (culturas anuais/plantas de cobertura sob plantio convencional e sob plantio direto; pastagens e sistemas integrados de culturas anuais/pastagens) na dinâmica da biomassa e atividade microbiana em solos de Cerrado. Também foram avaliadas as possibilidades do uso de indicadores microbiológicos para detectar, com maior antecedência, os níveis de recuperação do solo depois do estabelecimento de sistemas de manejo conservacionistas em áreas com níveis diferenciados de degradação. Além dos sistemas agrícolas, os estudos também contemplaram os efeitos do desmatamento de áreas nativas nas propriedades microbiológicas e bioquímicas do solo.

Nestes estudos, o carbono na biomassa microbiana (CBM) foi avaliado pelo método de clorofórmio fumigação-incubação (CFI). Também foram avaliadas as atividades de três enzimas do solo ([TABATABAI, 1994](#)) que fazem parte dos ciclos do C (β -glucosidase), P (fosfatase ácida) e S (arilsulfatase).

Impactos de Sistemas de Plantio Direto e Plantio Convencional nas Propriedades Microbiológicas e Bioquímicas do Solo

O plantio direto (PD) dispensa as práticas tradicionais de aração e gradagem e, hoje, já é uma realidade como alternativa conservacionista para solos como os do Brasil, frágeis e submetidos freqüentemente a estresses hídricos, térmicos e nutricionais ([SIDIRAS et al., 1982](#); [SIDIRAS; PAVAN, 1986](#); [LAL, 1993](#); [HUNGRIA et al., 1997](#); [COLOZZI-FILHO; BALOTA, 1999](#); [HUNGRIA, 2000](#)). De acordo com a Associação de Plantio Direto no Cerrado (APDC), no Bioma Cerrado mais de seis milhões de hectares são cultivados pelo sistema do PD.

No PD, os macroagregados do solo são mantidos, preservando o nicho principal de atividade dos microrganismos ([MENDES et al., 2003](#)). Ocorre, também, maior disponibilidade de matéria orgânica, fonte de energia e nutrientes para os microrganismos. Além disso, o PD proporciona teores mais elevados de umidade do solo, menores oscilações térmicas e temperaturas máximas inferiores, criando condições mais favoráveis aos microrganismos ([HUNGRIA et al., 1997](#); [COLOZZI-FILHO; BALOTA, 1999](#); [HUNGRIA, 2000](#); [MENDES et al., 2003](#)).

Devido à grande expansão desse sistema no Cerrado, áreas sob plantio direto e plantio convencional (PC) foram incluídas no estudo e serão enfatizadas nesse documento. Foram avaliados, em dois experimentos, os efeitos de diferentes culturas de cobertura, em PD e PC, na dinâmica do carbono da biomassa microbiana (CBM) e na atividade enzimática do solo (β -glucosidase, fosfatase ácida e arilsulfatase). As amostras de solo foram coletadas nas profundidades de 0 a 5 cm e de 5 a 20 cm, nos meses de janeiro (estação chuvosa) e agosto (estação seca) e tiveram início em agosto de 1998. O experimento I foi estabelecido em 1997, constando de sucessões de culturas de cobertura/milho em dois sistemas de manejo: incorporação em pré-plantio da cultura comercial e plantio direto. Os tratamentos utilizados como culturas de cobertura foram os seguintes: guandu cv. kaki e mucuna-cinza. Na testemunha absoluta, o solo permaneceu com vegetação espontânea. As culturas de cobertura foram semeadas no final da estação chuvosa e o milho no início. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, em parcelas subdivididas, com três

repetições. Os adubos verdes representaram as parcelas e os sistemas de manejo as subparcelas. A área das parcelas foi de 12 x 30 m e a das subparcelas de 12 x 15 m.

Para avaliação do efeito de um sistema consolidado de PD em comparação ao PC, as amostragens foram realizadas em um experimento iniciado em 1992 (experimento II). Esse experimento consiste de duas faixas de 320 m e envolve a avaliação dos efeitos de plantas de cobertura e sistemas de preparo do solo (PD e PC) na dinâmica da biomassa e da atividade microbiana numa rotação soja/milho. Uma das faixas é preparada anualmente pelo sistema convencional de preparo do solo (aração e gradagem antes do plantio da cultura comercial e gradagem para incorporação de invasoras logo depois da colheita) e a outra é preparada no sistema de PD, desde 1992. Na faixa sob PD, também são testadas como plantas de cobertura, em subfaixas de 34 x 50 m, o nabo-forrageiro e o milheto. A terceira área avaliada (área III) representa um solo de Cerrado nativo (Cerrado Ralo) e está localizada ao lado das áreas dos experimentos I e II, constituindo o referencial para avaliar as condições originais do solo.

Na área do experimento II e na área de Cerrado nativo (área III), também foi avaliada a distribuição da atividade enzimática (β -glucosidase e fosfatase ácida) no perfil do solo. As amostras de solo foram coletadas em fevereiro de 2003. Até a profundidade de 30 cm, a coleta foi realizada em intervalos de 5 em 5 cm. A partir dos 30 cm, as amostras foram coletadas de 10 em 10 cm até a profundidade de 70 cm, utilizando-se um trado. Cada área foi dividida em três quadrantes, sendo que em cada quadrante foram realizadas três amostragens.

Carbono da biomassa microbiana

Os níveis de biomassa-C, nas áreas dos experimentos I e II, foram inferiores aos observados na área de Cerrado nativo, independentemente da época e profundidade de amostragem. Ou seja, depois da incorporação dos solos nativos de Cerrado ao processo agrícola, ocorreu queda acentuada nos níveis de biomassa microbiana, isto é, da fração viva e mais ativa da matéria orgânica do solo. Entre os fatores responsáveis por condições mais favoráveis ao desenvolvimento microbiano, na área sob vegetação nativa, merecem destaque a ausência de preparo do solo e a maior diversidade florística dessas áreas. A ausência de revolvimento do solo favorece o acúmulo da serapilheira na sua superfície (o que propicia a ocorrência de menor variação e de níveis mais

adequados de temperatura e umidade), a preservação das hifas fúngicas e a maior presença de raízes finas (que aumentam a entrada de substratos carbonados no sistema, via exudatos radiculares). A diversidade florística das áreas nativas influencia não só a produção (quantidade), mas também a qualidade da serapilheira.

No experimento II (estabelecido em 1992), na profundidade 0 a 5 cm, desde a amostragem de janeiro de 1999, os tratamentos sob PD vêm apresentando níveis de carbono da biomassa microbiana (CBM) de 20% a 270% superiores aos do PC. No experimento I (estabelecido em 1997), nas avaliações de 1998 e 1999, não houve diferenças significativas entre os tratamentos em relação aos teores de CBM, nas profundidades 0 a 5 cm e 5 a 20 cm. Entretanto, na avaliação realizada em janeiro de 2000 (época chuvosa), na profundidade 0 a 5 cm, foi observada pela primeira vez, nos tratamentos sob PD, tendência de maiores níveis de biomassa (50% de aumento) a qual desapareceu na estação seca de 2001. Esses resultados evidenciam a sensibilidade dos indicadores microbiológicos para detectar as modificações iniciais que ocorrem depois do estabelecimento de sistemas de PD, em solos de Cerrado e a importância de acompanhar a evolução desses sistemas ao longo do tempo.

As principais diferenças entre PD e PC foram observadas na profundidade de 0 a 5 cm, tendo sido mais acentuadas no experimento II onde o PD já estava consolidado. Isso ocorre por que, no sistema de PD, a aplicação localizada de adubos e a ausência de revolvimento do solo, favorecendo o acúmulo de restos culturais e de raízes nos cinco centímetros iniciais, propiciam, também, a estratificação das propriedades microbiológicas, de tal forma que a profundidade de 0 a 5 cm passa a apresentar propriedades químicas, bioquímicas e microbiológicas bem distintas quando comparada à profundidade de 5 a 20 cm. Nas áreas sob PC, onde o revolvimento do solo permite uma distribuição mais homogênea de adubos e restos culturais no perfil, essa diferenciação não é tão acentuada. As diferenças entre as profundidades de 0 a 5 cm e de 5 a 20 cm tendem a aumentar com o tempo de estabelecimento do PD. Por isso, as diferenças observadas entre os sistemas de PD e PC foram mais pronunciadas no experimento II onde o PD foi estabelecido em 1992.

Em nenhum dos dois experimentos, houve efeitos significativos das plantas de cobertura nos teores de CBM. Também não houve variações significativas nos teores de CBM nas avaliações realizadas nas épocas seca e chuvosa. A ausência

de variação sazonal pode estar relacionada ao fato de que as amostras coletadas nas épocas seca e chuvosa foram padronizadas quanto à umidade. Entretanto, outra hipótese estaria relacionada à adaptação gradativa da microbiota do solo às mudanças do ambiente podendo ter havido, ao longo dos sete meses que separaram a coleta das amostras, mudanças qualitativas, o que não é possível determinar pelo método clorofórmio fumigação-incubação, utilizado na determinação do CBM que é um método quantitativo.

Atividade enzimática do solo

Na profundidade de 0 a 5 cm, a atividade da enzima β -glucosidase foi superior à do PC e do Cerrado, nos tratamentos sob PD do experimento II. No experimento I, as atividades observadas no PC e no PD foram similares e superiores às do Cerrado. A β -glucosidase atua na etapa final do processo de decomposição da celulose, hidrolisando os resíduos de celobiose ([TABATABAI, 1994](#)). Como a celobiose é um dissacarídeo de rápida decomposição no solo, a maior atividade observada nas áreas agrícolas pode estar relacionada à quantidade e à qualidade do resíduo vegetal que é retornado ao solo. Nas áreas nativas, a maior diversidade de espécies de plantas contribui para que o resíduo orgânico (galhos, ramos, folhas, flores, frutos e sementes) que retorna ao solo seja mais complexo, o que explicaria as baixas atividades da β -glucosidase observadas nessas áreas, uma vez que outras enzimas (celulases, ligninases) também participariam dos processos de decomposição desses resíduos. Levando em consideração que as plantas também constituem fontes de enzimas para o solo é possível que a composição química das plantas cultivadas também influencie nesse aspecto. Por fim, deve-se mencionar que as diferenças entre as áreas nativas e as cultivadas também podem estar relacionadas a mudanças qualitativas na composição das comunidades microbianas presentes nessas áreas.

No experimento II, em todas as épocas de amostragem (seca e chuvosa), a atividade da arilsulfatase, na profundidade de 0 a 5 cm, nos tratamentos sob PD, foi superior à das áreas sob PC e vegetação nativa que foram similares. Na profundidade de 5 a 20 cm não houve diferenças entre as áreas nativas e cultivadas. Resultados semelhantes também foram obtidos no experimento I, porém, apenas nas amostragens realizadas na época chuvosa (as diferenças entre PD e PC desapareceram na época seca).

Independentemente da época de amostragem, nas duas profundidades avaliadas (0 a 5 cm e 5 a 20 cm), os maiores níveis de atividade da fosfatase ácida foram

observados nas áreas nativas. Isso se deve ao fato de que, como nessas áreas não existe entrada de fósforo (P) via adubos químicos, toda a ciclagem desse elemento é feita por processos de solubilização de fontes pouco solúveis e principalmente pela mineralização do P da matéria orgânica pelas fosfatases. A redução da atividade da fosfatase nas áreas cultivadas está relacionada ao efeito inibidor do uso de adubos fosfatados prontamente solúveis ([GUPTA; GERMIDA, 1988](#); [MENDES et al., 2003](#); [CARNEIRO et al., 2004](#)). Independentemente da época de amostragem, nas áreas sob PD do experimento II, profundidade de 0 a 5 cm, a atividade da fosfatase foi maior que nas áreas de PC, apesar das maiores concentrações de fósforo (Mehlich) observadas nas áreas de PD. No experimento I, esse efeito ocorreu apenas nas amostragens da estação chuvosa. A maior atividade da fosfatase ácida no PD está relacionada à ausência de revolvimento do solo e à aplicação localizada dos fertilizantes fosfatados, o que favorece a concentração do adubo fosfatado no sulco de plantio. Dessa forma, a inibição das fosfatases por esses adubos não é tão acentuada como no PC onde eles são misturados ao solo.

Os valores elevados de arilsulfatase e fosfatase ácida nas áreas de PD estão relacionados e refletem a estreita relação que existe entre a química e a bioquímica dos solos. A elevada atividade de arilsulfatase nas áreas de PD deve-se à competição entre os ânions H_2PO_4^- e SO_4^- pelos mesmos sítios de adsorção nos colóides do solo. Como o ânion H_2PO_4^- é adsorvido preferencialmente nesses sítios ([TISDALE et al., 1993](#)) e como eles são mais concentrados nas áreas de PD, ocorre deficiência de S que estimula a produção e a atividade da arilsulfatase nessas áreas. Assim, nas áreas de PD, a alta concentração de P extraível (P Mehlich) promove deficiência de S nos cinco centímetros iniciais do solo a qual é compensada pelo estímulo na atividade da arilsulfatase.

As maiores atividades das três enzimas avaliadas nos cinco centímetros iniciais do solo, especialmente na área II, também são um reflexo do acúmulo de matéria orgânica observado nessa profundidade. A matéria orgânica atua protegendo e mantendo as enzimas do solo em suas formas ativas pela formação de complexos enzima-compostos húmicos ([DENG; TABATABAI, 1997](#)).

À semelhança do que foi observado com a biomassa microbiana, as plantas de cobertura também não influenciaram as atividades das três enzimas avaliadas. Em relação à dinâmica da atividade enzimática nas épocas seca e chuvosa, as

atividades determinadas na época chuvosa foram superiores às da época seca. Nas áreas cultivadas, as diferenças entre esses dois períodos foram observadas apenas na profundidade de 0 a 5 cm. Nas áreas nativas, as diferenças entre seca e chuva também foram observadas na profundidade de 5 a 20 cm, embora de forma menos acentuada que na profundidade de 0 a 5 cm.

Em relação à distribuição da atividade enzimática (β -glucosidase e fosfatase ácida), em profundidade, no perfil do solo, foi verificado que, devido à ausência de revolvimento mecânico do solo, o perfil de distribuição de atividade enzimática no PD foi o que mais se assemelhou ao do Cerrado nativo sendo as atividades mais concentradas nos cinco centímetros iniciais do solo. Na área sob PC, o revolvimento do solo com arado de disco permitiu distribuição mais homogênea de adubos e restos culturais no perfil do solo até a profundidade de 25 cm.

Concluindo, esses resultados sugerem que, também nas condições de Cerrado, o plantio direto altera o funcionamento do solo, concentrando a atividade biológica nas camadas mais superficiais. Eles também demonstram que os indicadores utilizados, em especial as avaliações de atividade enzimática, podem detectar essas mudanças, sobretudo, quando a amostragem é realizada na profundidade de 0 a 5 cm e na época chuvosa.

Efeitos do Desmatamento de Áreas Nativas nas Propriedades Microbiológicas e Bioquímicas do Solo

Como parte dos trabalhos para avaliar a sensibilidade dos indicadores microbiológicos e bioquímicos na detecção de mudanças que ocorrem no solo, foi avaliada uma área de Cerrado recém-desmatada. A vegetação presente originalmente na área era Cerrado Sentido Restrito e o solo um Latossolo Vermelho-Escuro argiloso. O desmatamento foi efetuado em agosto de 1999 (época seca), com correntão, seguido pela passagem de uma patrula para enleiramento de troncos, galhos e raízes. A seguir, foi efetuada a aplicação de calcário e incorporação com arado e grade aradora. Parte da área sob vegetação original foi preservada, servindo como referencial para avaliação das condições originais do solo. Foram determinados os teores de C na biomassa microbiana do solo, as taxas de respiração microbiana (C prontamente mineralizável) e a

atividade enzimática (β -glucosidase e fosfatase ácida). As avaliações foram realizadas aos quinze dias, aos três meses e um ano depois do desmatamento. A avaliação aos três meses foi feita antes do plantio do milho e antes da adubação corretiva de fósforo. Na avaliação efetuada aos quinze dias, as coletas de solo na área nativa e na área recém-desmatada foram realizadas na profundidade de 0 a 20 cm. Nas coletas realizadas aos três meses e um ano depois do desmatamento, as amostragens foram estratificadas em 0 a 5 cm e 5 a 20 cm.

Na primeira amostragem realizada aos 15 dias, na profundidade de 0 a 20 cm, foi observada redução de 17% no C da biomassa e aumento de 21% na taxa de respiração microbiana. Os níveis de atividade enzimática não foram alterados. Entretanto, na amostragem realizada aos três meses após o desmatamento, coincidindo com o início da estação chuvosa, foram observadas, nas áreas desmatadas, na profundidade de 0 a 5 cm, reduções no CBM, respiração microbiana e atividade da β -glucosidase de 43%, 32% e 42% respectivamente. Na amostragem realizada um ano depois do desmatamento, as reduções no CBM e na atividade da β -glucosidase acentuaram-se mais ainda atingindo 76% e 75%, enquanto a respiração microbiana apresentou valores similares aos da área nativa. Em relação à área nativa, a atividade da fosfatase apresentou aumento de 21% na avaliação aos três meses e redução altamente significativa de 80% na avaliação realizada um ano depois do desmatamento. Esse decréscimo foi consequência da adubação corretiva de fósforo realizada imediatamente após a amostragem de novembro, inibindo a atividade dessa enzima.

Na profundidade de 5 a 20 cm, o comportamento das propriedades microbiológicas e bioquímicas, após o desmatamento, foi totalmente distinto do relativo à profundidade de 0 a 5 cm. Os níveis de biomassa microbiana, na profundidade 5 a 20 cm, foram ligeiramente superiores aos da área nativa (23% e 15% de aumento nas amostragens realizadas aos três meses e um ano). Os níveis de atividade da β -glucosidase permaneceram inalterados, e a respiração microbiana dobrou nas duas amostragens. Os aumentos na respiração microbiana podem ser atribuídos à incorporação de restos vegetais quando da aração, aumentando dessa forma a entrada de carbono que pode ser prontamente mineralizado pelos microrganismos, o que resulta no aumento da liberação de CO_2 .

Comparando os resultados obtidos nas duas profundidades, fica claro que o impacto do desmatamento foi mais acentuado nos cinco centímetros iniciais do solo. Merece destaque a grande perda de biomassa microbiana que

possivelmente está associada à ruptura de hifas de fungos micorrízicos (embora menos numerosos que as bactérias, os fungos constituem a maior parte da biomassa microbiana do solo) e à perda de parte da camada superficial do solo, quando da passagem do correntão e da patola. Na área nativa, o maior teor de biomassa microbiana na profundidade de 0 a 5 cm é consequência do acúmulo de serapilheira na superfície do solo e da maior diversidade florística dessas áreas, conforme discutido anteriormente. Essa estratificação desaparece por ocasião do revolvimento do solo quando se faz a aração.

Um ano depois do desmatamento, a ruptura do equilíbrio microbiológico do solo também acarretou perdas de 30% da matéria orgânica na profundidade de 0 a 5 cm. Nesse mesmo período, os teores de matéria orgânica na profundidade de 5 a 20 cm permaneceram inalterados.

A Experiência Brasileira com Indicadores Biológicos

Baseado nos dados dos estudos de microbiologia de solos disponíveis atualmente para as condições brasileiras, fica evidente a possibilidade de uso dos parâmetros microbiológicos como indicadores de qualidade do solo.

Nos estudos que foram conduzidos, até o momento, no Brasil, foi constatado, na Região Sul que a biomassa microbiana, na profundidade de 0 a 10 cm, é superior em solos sob o sistema PD à de solos sob PC ([CATTELAN; VIDOR, 1990](#); [CARVALHO, 1997](#); [CATTELAN et al., 1997](#); [HUNGRIA et al., 1997](#); [BALOTA et al., 1998](#); [HUNGRIA et al., 2002](#)). Além disso, no Paraná, observou-se decréscimo no quociente metabólico (qCO_2) microbiano que, aliado à maior biomassa, determinaria, a longo prazo, maior acúmulo de C no solo ([BALOTA et al., 1998](#); [HUNGRIA et al., 2002](#)). As alterações verificadas nesses ensaios ocorreram em um estágio anterior ao das mudanças nos parâmetros químicos e físicos, sendo um primeiro indicativo de que as avaliações microbiológicas poderiam ser utilizadas para a determinação da qualidade do solo ([BALOTA et al., 1998](#); [HUNGRIA et al., 2002](#)).

Nos estudos conduzidos na Embrapa Cerrados, os resultados obtidos confirmaram que os impactos da atividade agrícola nas propriedades microbiológicas foram mais acentuados na camada superficial do solo (0 a 5 cm)

e envolveram, em relação às áreas nativas, reduções nos teores de C da biomassa microbiana e nas atividades das enzimas fosfatase ácida e arilsulfatase (relacionadas à ciclagem de P e S orgânicos respectivamente), sendo acompanhados de aumentos no C prontamente mineralizável e na atividade da enzima glucosidase, associada ao ciclo do C ([MENDES; VIVALDI, 2001](#); [OLIVEIRA et al., 2001](#); [MATSUOKA et al., 2003](#); [MENDES et al., 2003](#); [CARNEIRO et al., 2004](#)).

Os parâmetros microbiológicos foram eficientes para detectar mudanças que ocorreram no solo, em virtude do sistema de manejo e da sua incorporação à atividade agrícola. Por exemplo, no experimento onde o plantio direto foi estabelecido em 1997, não foi possível, por meio dos teores de matéria orgânica do solo, diferenciar os sistemas de PD e PC. Entretanto, observou-se que, entre os vários parâmetros microbiológicos avaliados, a atividade das enzimas arilsulfatase e fosfatase ácida, na profundidade de 0 a 5 cm, diferenciou os dois sistemas na estação chuvosa. Nesse contexto, deve ser destacada a importância da escolha correta não só da época de amostragem, mas também da profundidade de coleta das amostras, uma vez que a maior parte das diferenças foi percebida na profundidade de 0 a 5 cm.

O tempo de estabelecimento do PD acentua as diferenças entre os dois sistemas. No experimento II, iniciado em 1992, as diferenças entre os sistemas de PD e PC estavam mais consolidadas e foram verificadas nas épocas seca e chuvosa. No experimento I, iniciado em 1997, as diferenças entre PD e PC foram observadas apenas na época chuvosa.

Embora os estudos mencionados acima realizados no Brasil tenham identificado que o uso de parâmetros biológicos para avaliações de impactos de diferentes sistemas de manejo e uso do solo seja promissor, deve-se destacar que eles foram realizados de forma pontual. Visando à construção de uma base de dados consistente sobre os atributos biológicos de diferentes solos brasileiros, existe a necessidade de um esforço em nível nacional para a realização de avaliações sistemáticas para medir e interpretar os parâmetros que servirão adequadamente como indicadores, padronizando os métodos, desde a amostragem, a estocagem e o pré-tratamento das amostras até os procedimentos analíticos e a apresentação dos resultados ([OLIVEIRA et al., 2001](#); [TÓTOLA; CHAER, 2002](#)).

Perspectivas

O próximo passo dessas pesquisas, na Embrapa Cerrados, será o estudo das implicações agrônômicas em curto, médio e longo prazos desses impactos. Ainda persistem interrogações tais como: até que ponto a perda de biomassa microbiana nas áreas agrícolas estará relacionada a perdas de diversidade genética e funcional; quais as implicações da perda de biomassa e da diversidade microbiana no funcionamento dos sistemas agrícolas e até que ponto o aumento na atividade de enzimas, como a fosfatase ácida, poderá implicar ou não em redução no uso de adubos. Respostas para essas perguntas serão muito importantes para que, no futuro, além das propriedades químicas e físicas, determinações das propriedades biológicas e bioquímicas possam fazer parte das rotinas de análises de solo.

É grande a demanda por parâmetros que definam a qualidade de um solo. Contudo, ainda não existem informações, em número suficiente e analisadas em conjunto, que permitam a identificação de um ou mais parâmetros para avaliar o estado atual do componente biológico do solo e nem para monitorar sua evolução ao longo do tempo. A carência de um banco de dados com essas informações também dificulta a interpretação dos valores desses parâmetros, bem como seu enquadramento (muito baixo, baixo, médio, adequado, alto).

Em 2004, foi iniciado pela Embrapa, no Brasil, um projeto de abrangência nacional visando avaliar o uso de atributos microbiológicos (biomassa, atividade e diversidade microbiana) como bioindicadores de qualidade de solo mediante o monitoramento de diferentes agroecossistemas nas Regiões Centro-Oeste, Sul, Sudeste e Nordeste. Para atingir o objetivo do projeto serão avaliados cultivos anuais de grãos em sistemas de plantio direto e plantio convencional (Regiões Sul e Centro-Oeste), sistemas de cultivos orgânicos com hortaliças e culturas anuais (Regiões Sul e Centro-Oeste), sistemas semiperenes com cana-de-açúcar (Regiões Nordeste e Sudeste) sistemas perenes com pastagens (Regiões Centro-Oeste e Nordeste) e sistemas integrados lavoura/pecuária (Região Centro-Oeste). Em cada local, as comparações entre os diferentes sistemas de manejo serão estabelecidas utilizando como referência (*base line*) áreas nativas próximas às áreas experimentais. As metodologias utilizadas em cada área experimental serão padronizadas desde a coleta (profundidade de 0 a 10 cm) e preparo até a análise das amostras. Serão avaliados, ainda, parâmetros químicos e físicos do solo, bem como os

rendimentos das culturas ou da produção de biomassa de pastagens, obtidos em cada local. Dentre os resultados esperados podem ser destacados (i) ampliação do conhecimento sobre os impactos de sistemas agrícolas no funcionamento dos processos microbiológicos dos solos brasileiros e de suas conseqüências na manutenção, melhoria ou perda da qualidade deles, depois de sua incorporação à agricultura; (ii) determinação dos indicadores microbiológicos mais apropriados para esse tipo de estudo levando em consideração as dimensões continentais do Brasil e a diversidade de agroecossistemas; (iii) formação de uma base de dados microbiológicos até então inexistente no País; e (iv) elaboração de um índice para avaliação da qualidade dos solos e da sustentabilidade dos agroecossistemas, utilizando os atributos microbiológicos, químicos e físicos avaliados no projeto. Os pesquisadores envolvidos no projeto vislumbram a possibilidade de que, num futuro próximo, além das propriedades químicas e físicas, determinações das propriedades biológicas poderão fazer parte das rotinas de análises de solo. Por possibilitar a identificação rápida e precisa de alterações no solo, o conhecimento e o uso dos bioindicadores pelos agricultores serão importantes tanto com a finalidade de incentivar aqueles que já estão adotando sistemas de manejo conservacionistas, bem como para alertar agricultores que estejam adotando sistemas de manejo que possam levar à degradação do solo. Outros empregos dos bioindicadores envolvem a valoração de terras e produtos agrícolas, o monitoramento de programas de recuperação de áreas degradadas e a oferta de subsídios visando à implementação e à fiscalização de políticas agrícolas e legislação ambiental, entre outros.

A agricultura do terceiro milênio não poderá ignorar o fato de que o solo possui vida e que ela é fundamental para a manutenção das outras formas de vida existentes no planeta. Considerando as perspectivas de esgotamento de importantes fontes de recursos naturais não renováveis, o melhor entendimento do componente biológico do solo será decisivo para a resolução da equação, envolvendo manutenção de altas produtividades e sustentabilidade de sistemas agrícolas.

Referências Bibliográficas

ALEF, K.; NANNIPIERI, P. Enzyme activities. In: ALEF, K.; NANNIPIERI, P. (Ed.). **Methods in applied microbiology and biochemistry**. London: Academic Press, 1995. p. 311-374.

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**, Campinas, v. 22, p. 641-649, 1998.

CARNEIRO, R. G.; MENDES, I. de C.; LOVATO, P. E.; CARVALHO, A. M. Indicadores biológicos associados ao ciclo do fósforo em solos de Cerrado sob plantio direto e plantio convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 39, n. 7, p. 661-669, 2004.

CARVALHO, Y. **Densidade e atividade dos microrganismos do solo em plantio direto e convencional, na região de Carambeí – PR**. 1997. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

CATTELAN, A. J.; GAUDÊNCIO, C. A.; SILVA, T. A. Sistemas de culturas em plantio direto e os microrganismos do solo, na cultura da soja, em Londrina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, p. 293-301, 1997.

CATTELAN, A. J.; VIDOR, C. Sistemas de culturas e a população microbiana do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 14, p. 125-132, 1990.

COLOZZI-FILHO, A.; BALOTA, E. L. Plantio direto: microrganismos e processos. In: SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S.; LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R.; FAQUIN, V.; FURTINNI, A. E.; CARVALHO, J. G. (Ed.). **Soil fertility, soil biology and plant nutrition interrelationships**. Lavras: SBCS; UFLA-DCS, 1999. p. 597-620.

DENG, S. P.; TABATABAI, M. A. Effect of tillage and residue management on enzyme activities in soils: 3. phosphatases and arylsulfatase. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 24, n. 2, p. 141-146, 1997.

DICK, R. P. Soil enzymes activities as indicators of soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (Ed.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 107-124. (Special Publication, 35).

DORAN, J. W. Soil microbial and biochemical changes associated with reduced tillage. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, 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.; STEWART, B. A. (Ed.). **Defining**

soil quality for a sustainable environment. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 107-124. (Special Publication, 35).

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

HUNGRIA, M. Características biológicas em solos manejados sob plantio direto. In: REUNIÃO DE LA RED LATINOAMERICANA DE AGRICULTURA CONSERVACIONISTA, 5., 1999, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: EPAGRI, 2000. CD-ROM.

HUNGRIA, M.; ANDRADE, D. S.; BALOTA, E. L.; COLOZZI-FILHO, A. **Importância do sistema de semeadura direta na população microbiana do solo.** Londrina: Embrapa-CNPSO, 1997. 9 p. (Embrapa-CNPSO. Comunicado Técnico, 56).

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; FRANCHINI, J. C.; CHUEIRE, L. M. O.; MENDES, I. C.; ANDRADE, D. S.; COLOZZI-FILHO, A.; BALOTA, E. L.; LOUREIRO, M. F. Microbial quantitative and qualitative changes in soils under different crops and tillage management systems in Brazil. In: INTERNATIONAL TECHNICAL WORKSHOP ON BIOLOGICAL MANAGEMENT OF SOIL ECOSYSTEMS FOR SUSTAINABLE AGRICULTURE. **Program, abstracts and related documents...** Londrina: Embrapa Soja, 2002. p. 76

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

LAL, R. Role of no-till farming in sustainable agriculture in tropics. In: ENCONTRO LATINO AMERICANO SOBRE PLANTIO DIRETO NA PEQUENA PROPRIEDADE, 1., 1993, Ponta Grossa. **Anais...** Ponta Grossa: IAPAR, 1993. p. 29-62.

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**, Viçosa, v. 27, p. 425-433, 2003.

MENDES, I. C.; SOUZA, L. V.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C. Propriedades biológicas em agregados de um LE sob plantio convencional e direto no Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 435-443, 2003.

MENDES, I. C.; VIVALDI, L. Dinâmica da biomassa e atividade microbiana em uma área sob mata de galeria na região do DF. In: RIBEIRO, J. F.; FONSECA, C. E. L. da; SOUSA-SILVA, J. C. (Ed.). **Cerrado**: caracterização e recuperação de Matas de Galeria. Planaltina, DF: Embrapa-CPAC, 2001. p. 664-687.

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

RICE, C. W.; MOORMAN, T. B.; BEARE, M. Role of microbial biomass carbon and nitrogen in soil quality. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J. (Ed.). **Methods for assessing soil quality**. Madison: Soil Science Society of America, 1996. p. 203-216. (Special Publication, 49).

SANTANA, D. P.; BAHIA-FILHO, A. F. C. Indicadores de qualidade do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27., 1999, Brasília. **Resumos...** Brasília: Embrapa Cerrados; UnB, 1999. CD-ROM.

SIDIRAS, N.; HENKLAIN, J. C.; DERPSCH, R. Comparison of three different tillage systems with respect to aggregate stability, the soil and water conservation and the yields of soybean and wheat on an oxisol. **Journal of Agronomy and Crop Science**, Berlin, v. 151, p. 137-148, 1982.

SIDIRAS, N.; PAVAN, M. A influência do sistema de manejo do solo na temperatura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 10, p. 181-184, 1986.

SILVA, J. E.; LEMAINSKI, J.; RESK, D. V. S. Perdas de matéria orgânica e suas relações com a capacidade de troca catiônica em solos da região dos cerrados do oeste baiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 18, p. 541-547, 1994.

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

TABATABAI, M. A. Soil enzymes. In: WEAVER, R. W.; SCOTT, A.; BOTTOMLEY, P. J. (Ed.). **Methods of soil analysis: microbiological and biochemical properties**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. Part 2, p. 778-835. (Special Publication, 5).

THENG, B. K. G.; TATE, K. R.; SOLLINS, P.; MORIS, N.; NADKARNI, N.; TATE III, R. L. Constituents of soil organic matter in temperate and tropical soils. In: COLEMAN, D. C.; OADES, J. M.; UEHARA, G. (Ed.). **Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems**. Hawaii: University of Hawaii; NifTAL Project, 1989. p. 5-31.

TISDALE, S.; NELSON, W. L.; BEATON, J. D.; HAVLIN, J. H. **Soil fertility and fertilizers**. New York: Macmillan Publishing Company, 1993. 634 p.

TORSVIK, V.; GORSOYR, J.; DAEE, F. L. High diversity in DNA soil bacteria. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v. 56, p. 782-787, 1990.

TÓTOLA, M. R.; CHAER, G. M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos. In: ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R.; BARROS, N. F.; MELLO, J. W. V.; COSTA, L. M. (Ed.). **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. v. 2, p. 195-276.

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

TURCO, R. F.; KENNEDY, A. K.; JAWSON, M. D. Microbial indicators of soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (Ed.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 107-124. (Special Publication, 35).

WARD, D. M.; WELLER, R.; BATESON, M. M. 16S rRNA sequences reveal numerous uncultured microorganisms in a natural community. **Nature**, London, v. 345, p. 63-65, 1990.

ZIBILSKE, L. M. Carbon mineralization. In: WEAVER, R. W.; SCOTT, A.; BOTTOMLEY, P. J. (Ed.). **Methods of soil analysis: microbiological and biochemical properties**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. Part-2, p. 836-864. (Special Publication, 5).

Use of Microbial Indicators to Assess Soil Quality and the Sustainability of Agroecosystems

Abstract - Every factor that has a negative impact on soil microorganisms sooner or later will reflect in a deterioration of soil chemical and physical properties specially, those related to soil organic matter losses. This paper was based on a talk presented at "The International Symposium of Indicators of Soil Quality" held on Marco Juarez-Argentina. Some of the aspects related to the concept of soil quality and biological indicators of soil quality, were reviewed. Results of the studies related to the characterization of soil microbial biomass, respiration and enzymes activities on different agroecosystems of the Cerrado region also are presented. Soil microbial biomass, microbial respiration, and the activities of soil enzymes (acid phosphatase, β -glucosidase and arilsulfatase) have been evaluated at Embrapa Cerrados, since 1998. The objective of these studies is to determine the impact of different agricultural management systems (conventional tillage and no-tillage) on soil functioning and to evaluate the possibility of using these parameters as biological indicators of soil quality. Soil samples were collected at the 0 to 5 cm and 5 to 20 cm depths, during the dry (August) and the rainy (January) seasons. In relation to a native Cerrado, located near the experiments, significant reductions in microbial biomass and phosphatase activity were observed in the agricultural areas. At the 0 to 5 cm depth, the no-tillage (NT) system presented higher levels of phosphatase, arilsulfatase and β -glucosidase activities as compared to the conventional tillage (CT). These effects were related to the lack of soil mechanical preparation, fertilizers' placement, and to the accumulation of crop residues at the soil surface.

Index Terms: microbial biomass, phosphatase, agroecosystem.