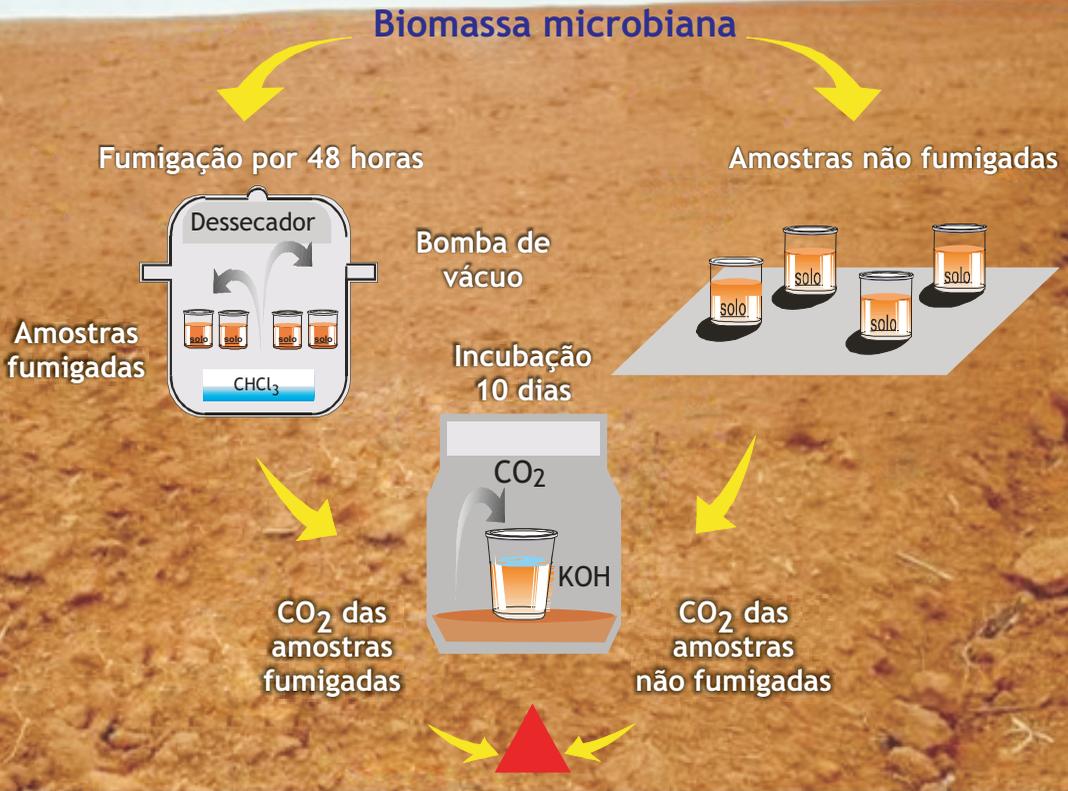


Biomassa Microbiana do Solo



ISSN 1517-5111

Dezembro, 2007

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

Documentos 205

Biomassa Microbiana do Solo

*Fábio Bueno dos Reis Junior
Iêda de Carvalho Mendes*

Embrapa Cerrados
Planaltina, DF
2007

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 da Unidade

Presidente: *José de Ribamar N. dos Anjos*

Secretário-Executivo: *Maria Edilva Nogueira*

Supervisão editorial: *Fernanda Vidigal Cabral de Miranda*

Revisão de texto: *Francisca Eljani do Nascimento*

Normalização bibliográfica: *Rosângela Lacerda de Castro*

Editoração eletrônica: *Jussara Flores de Oliveira*

Capa: *Jussara Flores de Oliveira*

Impressão e acabamento: *Divino Batista de Sousa*

Jaime Arbués Carneiro

Impresso no Serviço Gráfico da Embrapa Cerrados

1ª edição

1ª impressão (2007): 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).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Cerrados

R357b Reis Junior, Fábio Bueno.

Biomassa microbiana do solo / Fábio Bueno dos Reis Junior, lêda de Carvalho Mendes. – Planaltina, DF : Embrapa Cerrados, 2007.

40 p.— (Documentos / Embrapa Cerrados, ISSN 1517-5111 ; 205)

1. Solo - matéria orgânica. 2. Microbiologia. 3. Solo - Cerrado.

I. Mendes, lêda de Carvalho. II. Título. III. Série.

631.46 - CDD 21

© Embrapa 2007

Autores

Fábio Bueno dos Reis Junior

Eng. Agrôn., Ph.D.

Pesquisador da Embrapa Cerrados

fabio@cpac.embrapa.br

Iêda de Carvalho Mendes

Eng. Agrôn., Ph.D.

Pesquisadora da Embrapa Cerrados

mendes@cpac.embrapa.br

Apresentação

A biomassa microbiana é um componente essencial da matéria orgânica que, entre outras funções, regula a ciclagem de nutrientes no solo. Além de informações básicas sobre esse atributo biológico, este documento apresenta resultados de pesquisas desenvolvidas na Embrapa Cerrados sobre a dinâmica da biomassa microbiana em solos sob vegetação nativa e sob sistemas agrícolas.

Roberto Teixeira Alves
Chefe-Geral da Embrapa Cerrados

Sumário

Introdução	9
Os métodos de clorofórmio-fumigação-incubação (CFI) e clorofórmio-fumigação-extração (CFE)	12
Carbono da biomassa microbiana pelo método CFI	17
Carbono da biomassa microbiana pelo método CFE	18
A experiência da Embrapa Cerrados	19
Impactos dos sistemas de plantio direto e plantio convencional no C da biomassa microbiana do solo	21
Caracterização da biomassa e atividade microbiana em solos sob vegetação nativa no Bioma Cerrado	29
Efeitos do desmatamento de áreas nativas sobre propriedades microbiológicas do solo	31
Considerações finais	33
Referências	34
Abstract	40

Biomassa Microbiana do Solo

*Fábio Bueno dos Reis Junior
Iêda de Carvalho Mendes*

Introdução

Este documento tem como objetivo discutir as duas metodologias mais utilizadas para a determinação do carbono da biomassa microbiana do solo (CBMS) e apresentar os resultados de estudos recentes conduzidos por pesquisadores da Embrapa Cerrados, visando ampliar o conhecimento sobre as propriedades microbiológicas dos solos do Bioma Cerrado.

A biomassa microbiana do solo é considerada a parte viva e mais ativa da matéria orgânica, geralmente expressa em μg de C g^{-1} de solo seco ou mg de C kg^{-1} de solo seco. Essa biomassa é constituída por fungos, bactérias e actinomicetos que atuam em processos que vão desde a formação do solo (intemperização das rochas) até a decomposição de resíduos orgânicos, ciclagem de nutrientes, biorremediação de áreas contaminadas por poluentes, entre outros. A biomassa microbiana representa, em média, 2 % a 5% do C orgânico ([JENKINSON; LADD, 1981](#)) e 1 % a 5% do nitrogênio (N) total do solo ([SMITH; PAUL, 1990](#)).

A biomassa microbiana é um dos componentes que controla a decomposição e o acúmulo de matéria orgânica e as transformações envolvendo os nutrientes minerais. Por atuarem nos processos de mineralização/imobilização, os microrganismos do solo são considerados fonte e dreno de nutrientes

([SINGH et al., 1989](#)). Nos processos de mineralização, formas orgânicas de N, fósforo (P) e enxofre (S) na serapilheira são disponibilizadas para as plantas pela ação dos microrganismos do solo, que liberam formas inorgânicas desses elementos. Como os microrganismos também possuem seus próprios requerimentos nutricionais, parte dos nutrientes liberados durante o processo de decomposição pode ser imobilizada na biomassa microbiana. Dentre os elementos que são frequentemente imobilizados na biomassa microbiana, destacam-se o N, P e S ([SAGGAR et al., 1982](#); [WARING; SCHLESINGER, 1985](#)).

[Roscoe et al. \(2006\)](#) relatam que correlações positivas entre a matéria orgânica e a biomassa microbiana do solo são comumente reportadas, mostrando ser essa uma relação bastante estreita. Alterações significativas na biomassa microbiana podem ser detectadas com antecedência quando comparadas às mudanças na matéria orgânica. Assim, a avaliação da biomassa microbiana tem sido proposta como um indicador do estado e das alterações da matéria orgânica do solo e sugerida como uma medida sensível do aumento, ou decréscimo, de sua quantidade ([TÓTOLA; CHAER, 2002](#)). Seria possível, pelo uso desse bioindicador, adotar medidas de correção que evitassem perdas da matéria orgânica, componente essencial para a fertilidade dos solos brasileiros.

O quociente microbiano ($qMIC$) é um índice utilizado para fornecer indicações sobre a qualidade da matéria orgânica, sendo expresso pela relação entre o C da biomassa microbiana e o C orgânico total. Em condições estressantes para os microrganismos (pH, deficiências nutricionais, metais pesados, etc), a capacidade de utilização do C é menor, conduzindo ao decréscimo do $qMIC$ ([WARDLE, 1994](#)). Já com a adição de matéria orgânica de boa qualidade, ou com o término de uma situação de estresse, ocorre um incremento na biomassa microbiana, assim como no $qMIC$, ainda que os teores de C orgânico total do solo permaneçam praticamente inalterados ([POWLSON et al., 1987](#)).

Determinações da biomassa microbiana total, contudo, não fornecem indicações sobre a atividade das populações microbianas do solo. Desse

modo, torna-se importante utilizar outras análises, como, por exemplo, a taxa respiratória, o que permite avaliar a atividade microbiana, indicando o estado metabólico das comunidades de microrganismos do solo.

A quantidade de CO_2 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 ([ANDERSON, 1982](#); [ZIBILSKÉ, 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 no solo. Uma alta taxa de respiração pode ser interpretada como uma característica desejável quando se considera que a decomposição dos resíduos orgânicos irá disponibilizar nutrientes para as plantas. No entanto, uma alta atividade respiratória também pode resultar em decomposição da matéria orgânica mais estável, podendo levar ao comprometimento de processos químicos e físicos, como a agregação, a capacidade de troca catiônica e capacidade de retenção de água, podendo ocorrer, também, a perda de nutrientes. Portanto, como afirmado por [Islam e Weil \(2000\)](#), taxas de respiração mais elevadas podem indicar tanto um distúrbio, como um alto nível de produtividade do ecossistema, devendo ser analisadas em cada contexto.

O quociente metabólico ($q\text{CO}_2$) é um índice que expressa a taxa de respiração por unidade de biomassa microbiana ([ANDERSON; DOMSCH, 1985](#)). Uma biomassa mais eficiente seria aquela que perderia menos C na forma de CO_2 com a respiração e incorporasse mais C aos tecidos microbianos. Em amostras que apresentam os mesmos valores de biomassa, aquela que mostra uma menor taxa de respiração ($< q\text{CO}_2$) é considerada a mais eficiente. De acordo com [Anderson e Domsch \(1993\)](#), quocientes metabólicos elevados são um indicativo de comunidades microbianas em estágios iniciais de desenvolvimento, com maior proporção de microrganismos ativos em relação aos inativos, ou ainda um indicativo de populações microbianas sob algum tipo de estresse metabólico.

Os métodos de clorofórmio-fumigação-incubação (CFI) e clorofórmio-fumigação-extração (CFE)

Diferentes métodos podem ser utilizados para a determinação da biomassa microbiana. [Wardle \(1997\)](#) realizou uma extensa revisão dos trabalhos avaliando a biomassa microbiana e verificou que, em 58 estudos, 52,1 % foram realizados utilizando o método clorofórmio-fumigação-incubação CFI ([JENKINSON; POWLSON, 1976a, b](#)), 33,3 % o método clorofórmio-fumigação-extração CFE ([VANCE et al., 1987](#)), 12,5 % o método da respiração induzida por substrato ([ANDERSON; DOMSCH, 1978](#)) e 2,1 % com observação e contagem direta de células microbianas por microscopia direta.

De fato, ainda hoje, os métodos mais utilizados para a determinação da biomassa microbiana são os de CFI e CFE, ambos baseados na esterilização parcial de amostras de solos pela fumigação com clorofórmio. No método CFI, a determinação do tamanho da biomassa é feita com base no fluxo de CO_2 liberado das amostras de solo fumigadas e não fumigadas após um período de incubação de 10 dias. Esse fluxo de CO_2 nas amostras não fumigadas é considerado a respiração basal do solo, enquanto, nas amostras fumigadas, o fluxo de CO_2 deve-se em grande parte à decomposição da biomassa morta pelos microrganismos remanescentes. No CFE, essa determinação é feita a partir da extração e quantificação do C-orgânico das amostras fumigadas e não fumigadas.

Ambos os métodos apresentam limitações, vantagens e desvantagens. A simplicidade e o fato de que valores de taxa de respiração microbiana (liberação de CO_2) também podem ser determinados são as principais vantagens do método CFI. Dentre suas limitações, destaca-se o fato de que ele não deve ser utilizado em áreas que receberam adições recentes de material orgânico ([MARTENS, 1995](#)); solos com pH em água inferior a 5,0 ([POWLSON, 1994](#); [MARTENS, 1995](#)). O método CFE independe do estado fisiológico da população microbiana do solo. Quanto às desvantagens, destaca-se o fato de que, na ausência de um analisador total de carbono, os

procedimentos analíticos para determinação do C extraído das amostras são mais complexos e trabalhosos, envolvendo a utilização de produtos como o dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$), que é tóxico. [Jenkinson \(1988\)](#), [Sparling e Ross \(1993\)](#) e [Martens \(1995\)](#) também destacaram que, devido aos diferentes teores de argila e matéria orgânica dos solos, o coeficiente Kec (fator que representa a quantidade de carbono proveniente da biomassa microbiana que é extraída por K_2SO_4 após a fumigação), utilizado para determinação do CBMS pelo método CFE, pode apresentar variação maior que o coeficiente Kc (fator de mineralização do C – proporção do C microbiano liberado na forma de CO_2 durante a incubação), utilizado para cálculos de biomassa pelo método CFI. Ross (1990) observou que variações do coeficiente Kec ocorreram, inclusive, entre estações do ano, para um mesmo tipo de solo.

Vários trabalhos têm comparado a eficiência dos métodos CFI e CFE nas determinações de biomassa microbiana. A maioria desses estudos foi conduzida na Austrália e Nova Zelândia, onde grande parte dos solos possui problemas de acidez. Wardle e Ghani (1995) observaram elevada correlação entre os métodos CFI e CFE em solos sob pastagens nativas manejadas na Nova Zelândia. Nas poucas vezes em que os dois métodos não se correlacionaram, os autores atribuíram esse efeito ao fato de que os coeficientes Kc e Kec, utilizados nessas determinações, variaram entre as amostras. [Sparling e Zhu \(1993\)](#) também observaram boa correlação entre os métodos CFE e CFI nos solos arenosos e ácidos do oeste australiano, embora o método CFE tenha apresentado maior variabilidade que o CFI.

No Brasil, alguns estudos também foram conduzidos, envolvendo comparações entre os métodos CFE e CFI. Na Amazônia, [Pfenning et al. \(1992\)](#) observaram uma correlação positiva avaliando a eficiência dos métodos CFE e CFI. Os maiores coeficientes de variação foram obtidos com o método CFI num Latossolo muito argiloso. De acordo com os autores, as condições físicas do solo interferiram na homogeneidade da fumigação e na capacidade de recolonização da microbiota após a fumigação do solo. [Feigl et al. \(1995\)](#) compararam os métodos CFE e CFI em amostras de solo coletadas em Latossolos e Podzólicos da Amazônia

sob vegetação de mata nativa (profundidade 0 cm a 10 cm). Quando o controle não fumigado não foi subtraído das amostras fumigadas, houve boa correlação entre os teores de biomassa estimados pelo método CFI e pelo método CFE.

[Rodrigues et al. \(1994\)](#), em estudos conduzidos em três tipos de solo (Podzol Vermelho Amarelo, Gley Pouco Húmico e Planossolo) do Estado do Rio de Janeiro e em duas profundidades (0 cm a 5 cm e 5 cm a 20 cm), observaram correlação positiva e significativa ($r=0,66$) quando compararam os teores de carbono na biomassa microbiana determinados pelos métodos CFE e CFI, não havendo diferenças entre as profundidades. Foi observado também que a precisão dos métodos CFE e CFI diminuiu à medida que o teor de C total do solo diminuiu, tendo o método CFE apresentado maior precisão (menor coeficiente de variação).

Os dois métodos também foram comparados nas condições do Cerrado, região caracterizada por solos intemperizados, com elevados teores de óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, baixa saturação por bases e baixo pH, sendo considerados tanto solos incorporados ao processo agrícola como solos sob vegetação nativa ([OLIVEIRA et al., 2001](#)). Nos ensaios conduzidos em áreas cultivadas na Embrapa Cerrados, foram coletadas amostras de solo sob culturas anuais contínuas e sob pastagem consorciada contínua. A amostra de solo foi coletada em duas profundidades, 0 cm a 5 cm e 5 cm a 20 cm e em quatro épocas distintas: agosto de 1998 (época seca), janeiro (época de chuvas) e agosto de 1999 e janeiro de 2000. Nas áreas cultivadas, os resultados obtidos com os métodos CFE e CFI foram semelhantes independentemente dos tratamentos e das épocas amostradas, sendo que as pastagens consorciadas apresentaram maiores teores de CBMS do que as áreas sob culturas anuais. Contudo, a interação profundidade x métodos foi significativa, não havendo diferenças significativas entre as profundidades 0 cm a 5 cm e 5 cm a 20 cm quando se utilizou o método CFI, mas sim com o método CFE. Nas áreas nativas, os métodos CFI e CFE apresentaram as mesmas tendências, independentemente dos tratamentos, profundidades ou épocas analisadas, sendo que a Mata de Galeria apresentou níveis de CBMS superiores aos do

Cerradão e Campo Sujo. As interações profundidades x métodos e épocas x métodos foram significativas pelo fato de que as diferenças nos teores do carbono da biomassa microbiana, nas profundidades e épocas amostradas, foram mais acentuadas com o método CFE ([OLIVEIRA et al., 2001](#)).

Embora os resultados de Oliveira et al. (2001) tenham indicado que os métodos CFI e CFE são apropriados para determinação do CBM em solos de Cerrado sob cultivo e sob vegetação nativa, alguns pontos importantes desse estudo merecem ser destacados:

- 1) Tanto nas áreas cultivadas como nas áreas nativas, a interação profundidade x métodos foi significativa, o que pode estar relacionado à extração de frações de C que não estejam associadas à biomassa microbiana, pelo método CFE. Esse efeito seria mais acentuado na profundidade 0 cm a 5 cm devido ao acúmulo de resíduos vegetais, passíveis de extração com K_2SO_4 , que ocorre na superfície do solo. [Merckx e Martin \(1987\)](#) e [Badalucco et al. \(1990\)](#) obtiveram evidências de que C de origem não microbiana pode ser disponibilizado após a fumigação com clorofórmio. A extração de C não microbiano acarretaria a superestimação dos valores de biomassa obtidos pelo método CFE, o que só poderia ser corrigido pela utilização de coeficientes de extração (Kec) diferenciados para as duas profundidades. Esse efeito não ocorre com o método CFI, uma vez que ele se baseia em um processo fisiológico relacionado à liberação de CO_2 .
- 2) [Jenkinson e Powlson \(1976b\)](#), em estudos conduzidos em solos com pH variando entre 3,9 e 4,6, observaram que os valores das taxas de CO_2 liberado das amostras fumigadas eram inferiores aos das amostras não fumigadas, o que resultava na ineficiência do método CFI para solos ácidos, gerando valores negativos de biomassa microbiana. Esse fato é considerado uma das principais desvantagens desse método. Contudo, assim como observado por [Feigl et al. \(1995\)](#) nos solos ácidos da Amazônia e também no estudo de [Oliveira et al. \(2001\)](#) conduzido no Cerrado, deve ser ressaltado que, nos solos sob vegetação nativa (pH em torno de 4,6), o método CFI foi adequado para estimar a biomassa microbiana nas condições testadas (com reumedecimento, limpeza e

pré-incubação das amostras), não tendo sido observadas as limitações descritas por [Jenkinson e Powlson \(1976b\)](#).

- 3) Nas amostras de solo sob cultivo, os valores de CBM obtidos pelo método CFE foram, em geral, superiores aos estimados pelo método CFI. Isso pode estar associado, em parte, ao fato de que os dois métodos utilizam coeficientes de correção (K_c) e extração (K_{ec}) diferentes. O K_{ec} utilizado para o cálculo da biomassa no método CFE (0,33) é inferior ao K_c utilizado para o cálculo da biomassa pelo método CFI (0,41), o que pode resultar numa superestimação dos valores no método CFE e numa subestimação no CFI.
- 4) Ao contrário do observado no Latossolo Vermelho sob pastagens e culturas anuais, os valores de biomassa estimados pelo método CFE, nas três fitofisionomias sob vegetação nativa, nem sempre foram superiores aos estimados pelo método CFI. É possível que cada um dos solos sob vegetação nativa possua um K_{ec} diferenciado, em virtude de suas propriedades químicas (particularmente qualidade e quantidade de matéria orgânica) e físicas (particularmente textura).
- 5) Mais importante do que comparar os valores de biomassa estimados pelos métodos CFE e CFI é avaliar as interações: tratamentos x métodos, épocas x métodos e profundidades x métodos para determinar se tendências observadas com os métodos CFE e CFI são ou não as mesmas em função dos tratamentos, épocas e profundidades amostradas. Neste estudo, tanto nas áreas cultivadas como nas áreas nativas, as interações tratamentos x métodos não foram significativas. Nos casos em que as interações foram significativas (1- profundidades x métodos nas áreas nativas e cultivadas; 2-épocas x métodos, áreas nativas), foi evidenciada a necessidade de refinamentos metodológicos para determinar a existência de coeficientes K_{ec} (método CFE) diferenciados para as profundidades e épocas amostradas (estações chuvosa e seca). Conforme destacado por De-Polli et al. (2000), em situações que exijam maior precisão, o fator de correção K_{ec} deverá ser calculado para cada tipo de solo. Joergensen (1996) menciona que devido aos teores de argila e matéria orgânica o K_{ec} pode apresentar maior variação em relação ao K_c com valores entre 0,30 e 0,84.

Após a apresentação das principais vantagens e desvantagens dos métodos CFI e CFE, pode-se concluir que, para cada situação, os técnicos e cientistas devem considerar qual a metodologia mais adequada. Finalmente, deve ser mencionado que, na Reunião de Fertilidade e Biologia do Solo (Fertbio), organizada pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo em Lages, SC, em 2004, os pesquisadores que trabalham com o intuito de identificar bioindicadores de qualidade do solo se reuniram e definiram sobre a padronização de algumas condições mínimas entre os laboratórios, visando permitir a construção de uma base nacional de dados. Principalmente pelo menor tempo despendido para as análises (não há necessidade de incubação das amostras) e boa repetibilidade na maioria dos ensaios, o método CFE foi escolhido, com amostragem de solo na camada de 0 cm a 10 cm. Essa decisão visou, também, incentivar a adoção dessa análise em um número maior de laboratórios. O maior desafio a essa metodologia, porém, consistirá em encontrar novos métodos para a análise do C, evitando produtos tóxicos e poluentes como o dicromato de potássio, uma vez que há uma demanda mundial de análises utilizando uma “química limpa”. Para fins de pesquisa, o método CFI continua a ser útil em diversas situações. Finalmente, é de grande importância mencionar que, em qualquer método utilizado, as medidas devem ser feitas sob condições padronizadas, a fim de permitir a reprodutibilidade e comparação dos resultados.

Carbono da biomassa microbiana pelo método CFI

Utilizam-se os procedimentos descritos por [Jenkinson e Powlson \(1976a\)](#), com algumas modificações ([Fig. 1](#)). Após a coleta no campo, quando necessário, o teor de umidade das amostras de solo (20 g) é elevado a 100 % da capacidade de retenção de água (equivalente ao teor de H₂O retido no solo à tensão de 6 KPa), e as mesmas são pré-incubadas, no escuro, por sete dias, à temperatura ambiente (26 °C ± 2 °C). A seguir, metade das amostras é fumigada (F) por 48 horas em um dessecador contendo uma placa de Petri com 25 mL de clorofórmio livre de álcool. Neste período, as amostras não fumigadas (NF) são mantidas à temperatura ambiente. Após a fumigação, as amostras F e NF são transferidas para recipientes de vidro

com tampas rosqueáveis e capacidade de 500 mL, contendo um frasco com 10 mL de KOH 0,3 mol L⁻¹. As amostras são então incubadas, no escuro, por 10 dias, à temperatura ambiente. A quantidade de CO₂ liberada do solo é determinada após titulação com HCl 0,1 mol L⁻¹, usando fenolftaleína 1 % como indicador.

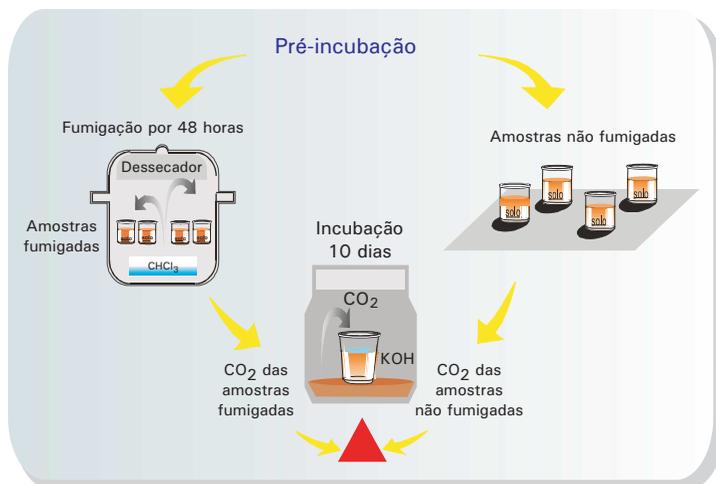


Fig. 1. Esquema da determinação do carbono da biomassa microbiana pelo método CFI.

Antes da titulação, são adicionados 3 mL de BaCl_2 20 %. A quantidade de CBMS é determinada pela diferença entre o CO_2 liberado das amostras F e NF, no período de 10 dias após a fumigação, utilizando-se um fator de correção (Kc) de 0,41 (ANDERSON; DOMSCH, 1978), ou seja, assume-se que apenas 41 % da biomassa microbiana presente no solo é convertida a CO_2 durante os 10 dias de incubação após a fumigação.

Carbono da biomassa microbiana pelo método CFE

Para as análises de CBMS pelo método CFE (Fig. 2), utiliza-se o procedimento proposto por Vance et al. (1987) e Tate et al. (1988). As amostras de solo são pré-incubadas e fumigadas conforme descrito para o método CFI. Após a fumigação, é feita a extração do C nas amostras

fumigadas e não fumigadas, adicionando-se 50 ml de K_2SO_4 0,5 mol L^{-1} às amostras de solo (10 g), que são posteriormente submetidas à agitação horizontal (150 rpm) por 30 minutos. Em seguida, o material é filtrado para que seja feita a determinação do C por dicromatometria, seguida de titulação com sulfato ferroso amoniacal. A determinação do carbono é utilizada para a estimativa da biomassa microbiana, segundo a fórmula: $(mg\ C\ de\ solo\ fumigado - mg\ C\ de\ solo\ não\ fumigado) / K_{ec}$. O K_{ec} representa a quantidade de carbono proveniente da biomassa microbiana que é extraída com K_2SO_4 após a fumigação.



Fig. 2. Esquema da determinação do carbono da biomassa microbiana pelo método CFI.

A experiência da Embrapa Cerrados

Apesar de excepcional do ponto de vista de participação no cenário agrícola nacional, o desenvolvimento agrícola da região do Cerrado, muitas vezes, tem sido acompanhado do manejo inadequado do solo, resultando em decréscimos nos teores de matéria orgânica, destruição dos agregados, compactação e erosão.

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 microbiológicas (quantidade, atividade, composição e diversidade das comunidades microbianas) desses solos. A identificação e o melhor conhecimento de indicadores microbiológicos em solos do Cerrado são fundamentais tanto para incentivar o agricultor que já está adotando sistemas agrícolas conservacionistas, bem como para alertar aquele que está adotando sistemas de manejo que levam à degradação do solo.

A falta de informações sobre a biomassa microbiana nas savanas tropicais contrasta com a abundância de informações nos ecossistemas das regiões temperadas e mesmo em outras regiões do Brasil, tais como a Amazônica e a Região Sul. Até 1998, os estudos de microbiologia do solo realizados na região do Cerrado foram concentrados em fungos micorrízicos e em rizobiologia (seleção de estirpes de rizóbio adaptadas às condições de Cerrado, para as culturas da soja, do feijão, da ervilha e de outras leguminosas). Existia, até então, um desconhecimento sobre as propriedades microbiológicas dos solos de Cerrado sob vegetação nativa, sobre os impactos de sistemas agrícolas no funcionamento dos processos microbiológicos desses solos e de suas conseqüências na manutenção, melhoria ou perda da qualidade dos mesmos, após sua incorporação à agricultura.

Com base nos trabalhos conduzidos na Embrapa Cerrados desde de 1998, existe hoje um volume considerável de informações sobre a dinâmica da biomassa microbiana em solos de Cerrado sob vegetação nativa e sob sistemas agropastoris (culturas anuais/plantas de cobertura sob plantio convencional e sob plantio direto; pastagens e sistemas integrados de culturais anuais/pastagens). Nesses trabalhos, optou-se pela utilização do método CFI devido ao fato de que o K_c (coeficiente de correção) utilizado nessas determinações não é tão sujeito a variações como o K_{EC} utilizado no método CFE (as variações no K_{EC} são mais evidentes em estudos que envolvem comparações entre tipos de solo, principalmente devido a fatores relacionados à textura, à mineralogia e aos teores de matéria orgânica).

Impactos dos sistemas de plantio direto e plantio convencional no C da biomassa microbiana do solo

Na área experimental da Embrapa Cerrados, em Planaltina, DF, com clima do tipo tropical estacional (Aw), precipitação média anual de 1.367 mm concentrada no período que vai de novembro a março e onde as médias das temperaturas máximas e mínimas são de 26,4 °C e 15,9 °C, respectivamente, foram avaliados em dois experimentos, sob Latossolo Vermelho-Amarelo argiloso, os efeitos de culturas de cobertura, em sistema de plantio direto (SPD) e sistema convencional (SC), na dinâmica do CBMS. As amostras de solo foram coletadas nas profundidades de 0 cm a 5 cm e de 5 cm a 20 cm, nos meses de janeiro (estação chuvosa) e agosto (estação seca), e a amostragem teve início em agosto de 1998.

O experimento I foi implantado em 1997, constando da sucessão das culturas mucuna-cinza (*Mucuna pruriens*) / milho, em dois sistemas de manejo: (a) preparo do solo com aração, gradagem e incorporação do adubo verde no pré-plantio da cultura comercial (SC) e (b) plantio direto (SPD). Na testemunha absoluta, o solo permaneceu com vegetação espontânea de invasoras. A mucuna foi semeada 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 (no caso, a mucuna cinza) representaram as parcelas, e os sistemas de manejo (preparo do solo) as subparcelas. A área das parcelas foi de 12 m x 30 m e a das subparcelas de 12 m x 15 m.

Para avaliação do efeito de um sistema consolidado de PD em comparação ao SC, amostragens foram realizadas num experimento iniciado em 1992 (experimento II). Esse experimento consistia de faixas de 320 m sob plantio e colheita mecanizadas e envolveu a avaliação dos efeitos de plantas de cobertura e sistemas de preparo do solo, na dinâmica da biomassa e da atividade microbiana numa rotação soja/milho. Uma das faixas era preparada anualmente com aração e gradagem antes do plantio da cultura comercial e gradagem para incorporação de invasoras logo após a colheita (SC), e a outra era cultivada sob SPD, desde 1992. Na faixa sob SPD, também eram testadas como plantas de cobertura, em subfaixas de 34 m x 50 m, o nabo forrageiro (*Raphanus sativus*) e o milheto (*Pennisetum americanum*). A

terceira área avaliada (área III) representa um solo de Cerrado nativo (Cerrado *sensu stricto*), localizada ao lado das áreas dos experimentos I e II, constituindo o referencial para avaliar as condições originais do solo.

Os níveis médios de CBMS nas áreas dos experimentos I (Fig. 3 e 4) e II (Fig. 5 e 6) foram inferiores aos níveis observados na área de Cerrado nativo, independentemente da época e da profundidade de amostragem. Ou seja, após a incorporação dos solos sob vegetação de Cerrado ao processo agrícola, ocorreu uma queda acentuada nos níveis de biomassa microbiana, isto é, da fração viva e mais ativa da matéria orgânica do solo. Entre os prováveis 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 a preservação das hifas fúngicas, o acúmulo da serapilheira na superfície do solo (propiciando a ocorrência de menor variação e de níveis mais adequados de temperatura e umidade) e resulta na maior presença de raízes finas, que aumentam a entrada de substratos orgânicos no sistema, via exsudatos radiculares. A diversidade florística das áreas nativas influencia não só a produção (quantidade), mas também a qualidade da serapilheira.

No experimento I (implantado em 1997), nas avaliações de 1998 e 1999, não houve diferenças significativas entre os tratamentos em relação aos teores de CBMS, nas profundidades 0 cm a 5 cm e 5 cm a 20 cm (Fig. 3 e 4). Entretanto, na avaliação realizada em janeiro de 2000 (época chuvosa), na profundidade 0 cm a 5 cm, foi observada, pela primeira vez, nos tratamentos sob SPD, uma tendência de maiores níveis de biomassa (em média, 50 % de incremento), a qual desapareceu na estação seca de 2001. Na estação chuvosa de 2002, os incrementos na biomassa microbiana nos tratamentos sob SPD foram de 25 %. Esses resultados evidenciam a sensibilidade dos indicadores microbiológicos para detectar as modificações iniciais, ainda que sutis, que ocorrem após o estabelecimento de sistemas de PD, em solos da região do Cerrado, e a importância de acompanhar a evolução desses sistemas ao longo do tempo. No experimento II (implantado em 1992), na profundidade 0 cm a 5 cm (Fig. 5), desde a amostragem de janeiro de 1999, os tratamentos sob SPD têm apresentado níveis de CBMS de 20 % a 270 % superiores aos do SC, à exceção da amostragem de agosto de 2000 e do tratamento com milho sob SPD em agosto de 2001.

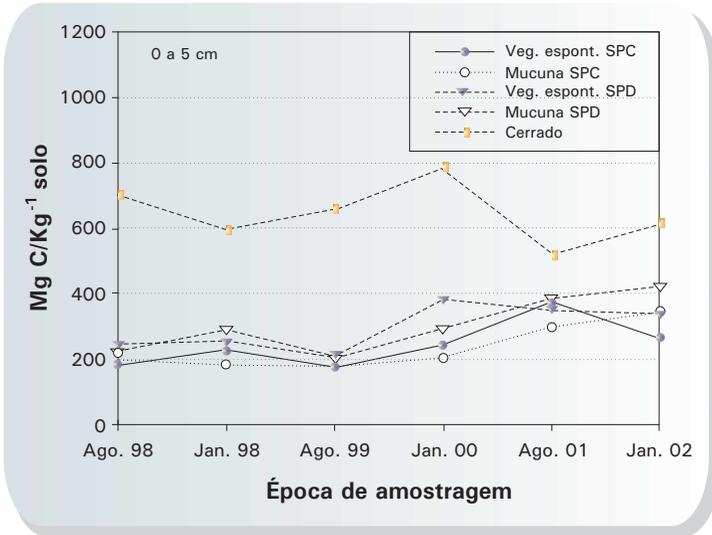


Fig. 3. Variação do carbono da biomassa microbiana, na profundidade 0 cm a 5 cm, nas estações seca (agosto) e chuvosa (janeiro), num Latossolo Vermelho-Amarelo de Cerrado onde o SPD foi iniciado em 1997.

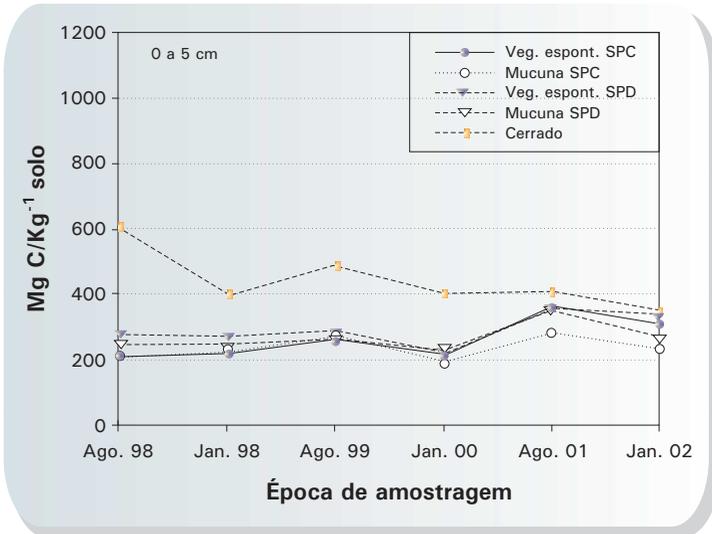


Fig. 4. Variação do carbono da biomassa microbiana, na profundidade 5 cm a 20 cm, nas estações seca (agosto) e chuvosa (janeiro), num Latossolo Vermelho-Amarelo de Cerrado onde o SPD foi iniciado em 1997.

Nas duas áreas, as principais diferenças entre o SPD e o SC foram observadas na profundidade 0 cm a 5 cm (Fig. 3 e 5), tendo sido mais acentuadas no experimento II, onde o SPD estava estabelecido desde 1992. Na profundidade de 5 cm a 20 cm, os teores de CBMS, para os tratamentos sob SPD e SC, praticamente não diferiram entre si (Fig. 4 e 6). As diferenças são mais acentuadas na profundidade de 0 cm a 5 cm, porque, no sistema de SPD, a aplicação localizada de adubos e a ausência de revolvimento do solo favorecem o acúmulo de restos culturais e de raízes na camada superficial, propiciando a estratificação das propriedades microbiológicas de tal forma que essa profundidade passa a apresentar propriedades químicas, bioquímicas e microbiológicas bem distintas quando comparada à profundidade de 5 cm a 20 cm. Nas áreas sob SC, onde o revolvimento do solo permite uma distribuição mais homogênea de adubos e restos culturais na camada arável, essa diferenciação não é tão acentuada. As diferenças entre as profundidades de 0 cm a 5 cm e de 5 cm a 20 cm tendem a aumentar com o tempo de implantação do SPD. Por isso, as diferenças entre essas duas profundidades foram mais pronunciadas no experimento II (Fig. 5 e 6), nos tratamentos onde o SPD foi estabelecido em 1992. Nessa área, os valores médios de biomassa-C nos tratamentos milho-SPD, nabo-SPD e SC, na profundidade 0 cm a 5 cm, foram de 313, 319 e 226 mg C/kg de solo, enquanto, para a profundidade de 5 cm a 20 cm, foram obtidos os valores 223, 195 e 220 mg C/kg de solo, respectivamente.

Em nenhum dos dois experimentos houve efeitos significativos das plantas de cobertura nos teores de CBMS. Também não houve variações significativas nos teores de CBMS nas avaliações realizadas nas épocas seca e chuvosa. A ausência de efeitos pronunciados das plantas de cobertura é consequência da baixa produção de matéria seca dessas plantas e reflete a dificuldade de estabelecimento das mesmas, na região do Cerrado, no plantio realizado em abril/maio, logo após a colheita das culturas comerciais. Por outro lado, a pequena variação sazonal dos valores de biomassa microbiana pode estar relacionada ao fato de que as amostras coletadas nas épocas seca e chuvosa foram padronizadas quanto à umidade. Outra hipótese estaria relacionada à adaptação gradativa da microbiota do solo às mudanças do ambiente podendo ter havido, ao longo dos 7 meses que separaram a coleta das amostras, mudanças qualitativas, o que não é possível determinar pelos métodos de fumigação com clorofórmio utilizados na determinação do CBMS.

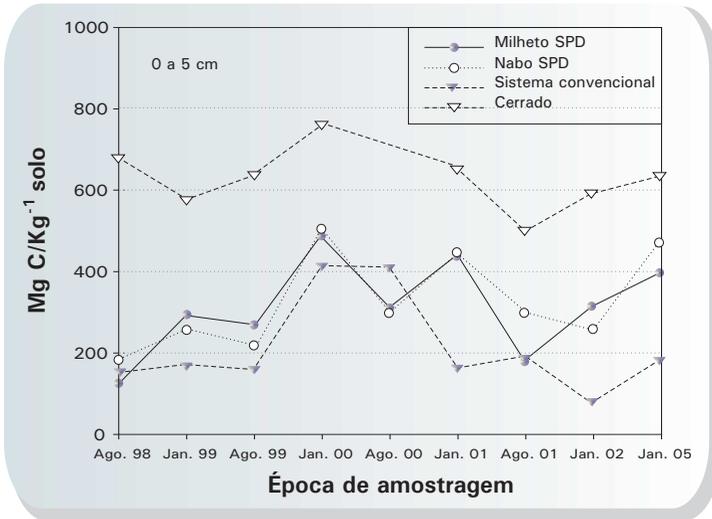


Fig. 5. Variação do carbono da biomassa microbiana, na profundidade 0 cm a 5 cm, nas estações seca (agosto) e chuvosa (janeiro), numa área onde o SPD foi iniciado em 1992. Em agosto de 2000, não foi possível determinar o CBMS na área de Cerrado nativo.

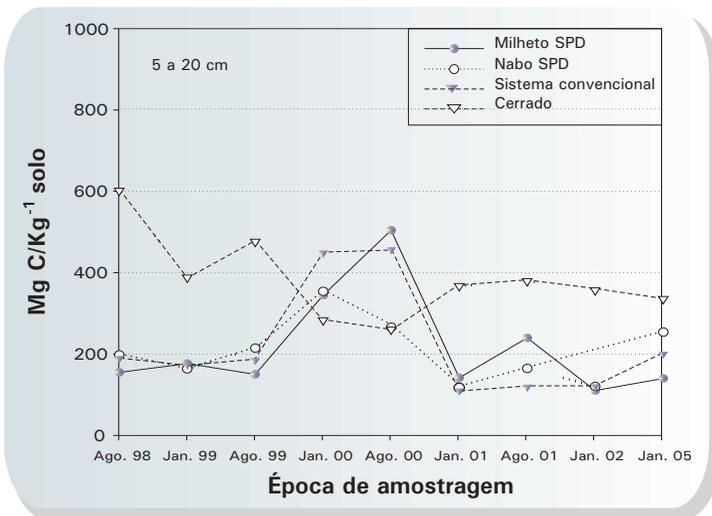


Fig. 6. Variação do carbono da biomassa microbiana, na profundidade 5 cm a 20 cm, nas estações seca (agosto) e chuvosa (janeiro), num Latossolo Vermelho-Amarelo de Cerrado onde o SPD foi iniciado em 1992.

Em um outro estudo ([MENDES et al., 2003](#)), foi avaliada a distribuição do CBMS em agregados, coletados na profundidade de 0 cm a 5 cm, de um Latossolo Vermelho-Escuro argiloso, sob vegetação nativa de Cerrado e sob SPD e SC estabelecidos há 21 anos. A separação dos agregados foi realizada por via úmida. As classes de agregados de 8,00 mm a 2,00 mm; 0,50 mm a 0,25 mm e 0,25 mm a 0,106 mm e amostras denominadas soma de agregados foram selecionadas para as determinações biológicas.

Em relação à área nativa, os sistemas cultivados causaram quebra de macroagregados ([Fig. 7](#)) e perda de CBMS ([Tabela 1](#)). Na área sob SC, na qual utilizou-se arado de discos, a classe de macroagregados mais afetada foi a de 8,00 mm a 2,00 mm, que sofreu redução de 40 % em relação à área nativa. Na área sob SPD, essa redução foi de apenas 14 %, sugerindo a maior manutenção ou formação de macroagregados de 8,00 mm a 2,00 mm na profundidade de 0 cm a 5 cm nesse sistema em relação ao SC. Como a estabilidade dos macroagregados está associada à presença de raízes e hifas fúngicas, sistemas de manejo como o SPD, que além de favorecer esses fatores também apresentam maiores teores de matéria orgânica, na profundidade 0 cm a 5 cm, tendem a aumentar a estabilidade dos macroagregados quando comparados a sistemas de manejo que envolvem o revolvimento do solo, como o SC. Os microagregados (< 0,25 mm) e a soma dos agregados do SPD apresentaram maiores teores de CBMS, comparativamente ao SC. As diferenças entre a área sob vegetação nativa e o SC foram estatisticamente significativas em todas as classes de agregados e na amostra soma de agregados, já as diferenças entre a área sob vegetação nativa e o PD foram significativas somente na classe 0,500 mm a 0,250 mm e na soma de agregados.

Esses resultados mostram, novamente, que no Bioma Cerrado, semelhante ao observado em outras partes do mundo ([DORAN, 1980](#); [HERNÁNDEZ-HERNÁNDEZ; LOPEZ-HERNÁNDEZ, 2002](#)) e no Sul do Brasil ([BALOTA et al., 1998](#)), o estabelecimento do SPD, por vários anos, favorece um aumento da biomassa microbiana do solo comparativamente a solos sob SC, principalmente na profundidade de 0 cm a 5 cm.

Em novembro de 2000, foi realizado um outro trabalho em Primavera do Leste, um dos pólos de produção de grãos e algodão do Mato Grosso, com lavouras altamente tecnificadas ([MATSUOKA et al., 2003](#)). Nesse local, a precipitação média anual é de 1.700 mm, concentrada no período que vai de outubro a abril, e as médias das temperaturas máximas e mínimas são de 31 °C e 19 °C, respectivamente. A biomassa microbiana, o C prontamente mineralizável (respiração microbiana) e os teores de matéria orgânica foram avaliados num Latossolo Vermelho-Amarelo, sob vegetação nativa e sistemas agrícolas anuais e perenes. As amostras foram coletadas em duas profundidades (0 cm a 5 cm e 5 cm a 20 cm), no início da estação chuvosa, nas linhas e entrelinhas em uma área sob cultivo de videira (*Vitis vinifera*), em uma área sob cultivo anual de soja em SC e em uma área sob vegetação nativa de Cerradão.

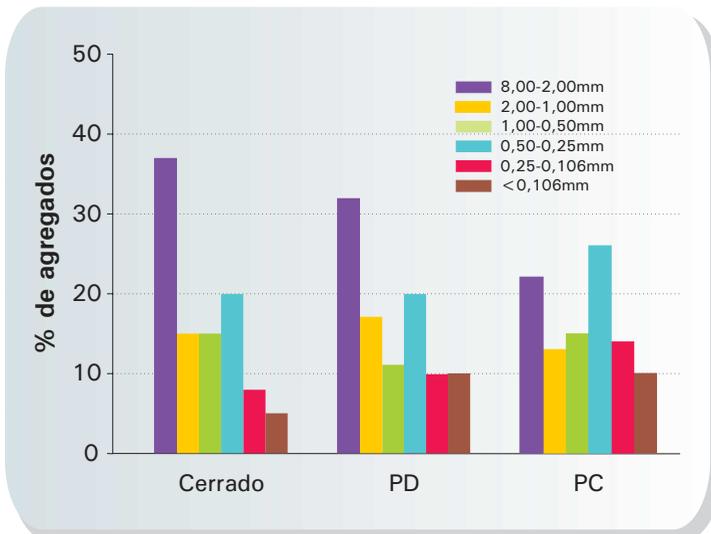


Fig. 7. Distribuição do solo em diferentes classes de agregados, coletados na profundidade de 0 cm a 5 cm, de um Latossolo Vermelho-Escuro, argiloso, sob vegetação nativa de Cerrado e sob SPD e SC estabelecidos há 21 anos ([MENDES et al., 2003](#)).

Tabela 1. Matéria orgânica e propriedades biológicas de agregados e de amostras de solo total, coletados na profundidade de 0 cm a 5 cm, de um Latossolo Vermelho-Escuro, argiloso, sob vegetação nativa de Cerrado sentido restrito e sob áreas cultivadas sob SPD e SC durante 21 anos (MENDES et al., 2003).

Tratamentos	Classes de agregados			
	8,00–2,00 mm	0,500–0,250 mm	0,250–0,106 mm	Soma dos agregados
	Matéria Orgânica (g kg ⁻¹ solo)			
Veg. nativa	37,5 aA	35,3 aA	25,5 aB	35,1 a
SPD	34,1 aA	29,6 aA	22,2 aB	32,7 a
SC	23,9 bA	21,3 bA	21,4 aA	23,2 b
	Carbono da biomassa microbiana do solo (mg C kg ⁻¹ solo)			
Veg. Nativa	478 aA	510 aA	282 aB	433 a
SPD	238 abA	172 bA	178 aA	209 b
SC	150 bA	84 bA	80 bA	122 c

Letras minúsculas, dentro de uma mesma coluna, referem-se à comparação entre tratamentos para uma mesma classe de agregados. Letras maiúsculas, dentro de uma mesma linha, referem-se à comparação entre classes de agregados de um mesmo tratamento. Em ambos os casos, valores seguidos pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Wilcoxon ($p < 0,10$).

De modo semelhante ao observado nos experimentos conduzidos no campo experimental da Embrapa Cerrados em Planaltina, DF, em Primavera do Leste, nas duas profundidades avaliadas, os sistemas de uso do solo com culturas perenes e anuais apresentaram reduções médias de 70 % no carbono da biomassa microbiana em relação à área sob vegetação nativa (Tabela 2). As reduções do CBMS nas áreas sob cultivo foram relacionadas a reduções nos teores de matéria orgânica do solo. Como as reduções nos teores de CBMS foram mais acentuadas que as reduções da matéria orgânica, esses resultados mostram que o carbono da biomassa microbiana, é mais sensível à remoção da cobertura vegetal nativa e cultivo do solo. O manejo diferenciado na entrelinha do parreiral, relacionado ao uso de restos culturais de soja, milho e algodão (*Gossypium hirsutum* L.) como cobertura morta e à utilização do capim-pé-de-galinha (*Eleusine indica*) como cobertura viva, proporcionou maior aporte de C prontamente mineralizável

em relação a videira, soja (SC) e Cerradão. A menor quantidade de C prontamente mineralizável, na área sob Cerradão, pode ser reflexo da maior diversidade de espécies vegetais e, conseqüentemente, a maior complexidade dos resíduos que atingem a superfície do solo (galhos, ramos, folhas, flores, frutos e sementes). Os resultados obtidos demonstraram a sensibilidade dos parâmetros microbiológicos e bioquímicos para identificar alterações no solo em função de diferentes sistemas de uso da terra.

Tabela 2. Carbono da biomassa microbiana (CBMS), C prontamente mineralizável e matéria orgânica de um Latossolo Vermelho-Amarelo da região de Primavera do Leste, MT, sob três sistemas de uso do solo, nas profundidades 0 cm a 5 cm e 5 cm a 20 cm ([MATSUOKA et al., 2003](#)).

Sistemas de uso do solo	CBMS		C prontamente mineralizável		Matéria orgânica	
	0-5 cm	5-20 cm	0-5 cm	5-20 cm	0-5 cm	5-20 cm
	mg C kg ⁻¹ solo					
Videira e belizita	124,0 ± 60,5	163,5 ± 47,9	306,5 ± 44,9	152,4 ± 24,3	33,0 ± 0,0	31,5 ± 3,7
Videira lita	132,4 ± 60,7	112,7 ± 3,8	194,9 ± 70,7	30,1 ± 17,0	24,6 ± 3,0	18,6 ± 0,4
Soja (SC)	96,8 ± 16,6	104,1 ± 50,7	130,3 ± 32,0	96,0 ± 8,2	22,3 ± 1,8	21,3 ± 0,4
Cerradão	391,6 ± 166,7	420,9 ± 79,0	215,2 ± 25,6	59,5 ± 28,8	36,2 ± 5,2	35,1 ± 0,0

Caracterização da biomassa e atividade microbiana em solos sob vegetação nativa no Bioma Cerrado

Os impactos ambientais causados pela destruição das áreas de vegetação nativa do Bioma Cerrado e os desafios que se impõem para a recuperação de áreas já degradadas têm atraído interesse crescente de pesquisadores das mais diversas áreas: biologia, botânica, fisiologia vegetal, ecologia, engenharia florestal, socioeconomia e pedologia, entre outras. Entre os aspectos relacionados aos solos de ocorrência das várias fitofisionomias

desse bioma, a maior parte dos trabalhos já realizados concentra-se na classificação desses solos e na caracterização de suas propriedades químicas e físicas, existindo uma carência de estudos sobre a dinâmica da biomassa e da atividade dos microrganismos nas áreas sob vegetação nativa. Por essa razão, uma outra linha de pesquisa da Embrapa Cerrados é dedicada à avaliação, nas épocas seca e chuvosa, da dinâmica da biomassa e da atividade microbiana em solos de fitofisionomias representativas do Bioma Cerrado: Campo Sujo, Cerrado Ralo, Cerrado Sentido Restrito, Cerradão e Mata de Galeria.

Os resultados já obtidos indicam que os níveis de biomassa-C são diferenciados entre as fitofisionomias avaliadas. Na Mata de Galeria, independentemente da época e da profundidade amostrada, os valores de biomassa C (em média, 1117 mg C g⁻¹ solo), na profundidade de 0 cm a 5 cm, foram 2,3; 2,4; 1,6 e 1,7 vezes superiores aos do Campo Sujo, Cerrado Ralo, Cerrado Sentido Restrito e Cerradão, respectivamente (MENDES; VIVALDI, 2001). Os valores de biomassa da Mata de Galeria e do Cerradão são superiores aos reportados por Feigl et al. (1995), utilizando o mesmo método e o mesmo Kc para o cálculo da biomassa microbiana em latossolos da Amazônia (profundidade 0 cm a 10 cm) sob vegetação de floresta nativa (536 mg C. kg⁻¹ solo a 635 mg C. kg⁻¹ solo). Pfenning et al. (1992) observaram valores de biomassa semelhantes a esses na profundidade 0 cm a 5 cm num Latossolo Amarelo distrófico muito argiloso em Manaus (822 mg C. kg⁻¹ solo) e num Latossolo Vermelho-Amarelo em Piracicaba (1314 mg C. kg⁻¹ solo), ambos sob vegetação de floresta. Em áreas agrícolas, na região do Cerrado, Mendes et al. (1999) e Oliveira et al. (1999) observaram que os valores de biomassa-C raramente ultrapassam 400 mg C. kg⁻¹ solo, o que é corroborado pelos dados apresentados nas Fig. 3 a 6 e Tabelas 1 e 2. Como o crescimento dos microrganismos é limitado pela disponibilidade de substratos orgânicos, verifica-se que, de modo semelhante às áreas sob vegetação nativa estudadas por Pfenning et al. (1992) e Feigl et al. (1995), a Mata de Galeria e o Cerradão são capazes de suprir C em quantidades suficientes para a manutenção de elevadas populações microbianas no solo, ocorrendo um decréscimo acentuado em áreas cultivadas (MENDES et al., 1999).

Em todas as fitofisionomias avaliadas, a quantidade de biomassa C determinada nos primeiros cinco centímetros do solo foi em média 1,4 vezes superior a da profundidade 5 cm a 20 cm. Não houve alterações significativas na biomassa C nas épocas seca e chuvosa nas cinco fitofisionomias avaliadas.

Ainda nesse estudo, os níveis de respiração microbiana (C prontamente mineralizável), na profundidade 0 cm a 5 cm em todas as fitofisionomias (em média 427 mg C. kg⁻¹ solo), foram superiores aos da profundidade 5 cm a 20 cm (em média 184 mg C. kg⁻¹ solo). Esse resultado pode ser atribuído ao acúmulo de liteira na superfície do solo, a qual constitui fonte abundante de C e energia para os microrganismos e também aos maiores teores de C orgânico nessa profundidade. As taxas de respiração da Mata de Galeria e do Cerradão, na profundidade 0 cm a 5 cm (em média 605 e 719 mg C. kg⁻¹ solo) foram 2,5 vezes superiores às das demais fitofisionomias avaliadas. Na profundidade 5 cm a 20 cm, os níveis de respiração da Mata de Galeria ainda foram superiores aos níveis das demais fitofisionomias em duas das cinco épocas avaliadas, nas demais épocas, praticamente não houve diferença entre as mesmas ([MENDES et al., 1999](#)).

Efeitos do desmatamento de áreas nativas sobre propriedades microbiológicas do solo

Como parte dos trabalhos para avaliar a sensibilidade da biomassa microbiana na detecção de mudanças que ocorrem no solo, uma área de Cerrado recém-desmatada foi estudada. A vegetação presente originalmente na área era do tipo 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 (motoniveladora) para enleiramento de troncos, galhos e raízes. A seguir, foi efetuada a distribuição 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 e a respiração microbiana (C prontamente mineralizável). As avaliações foram realizadas aos 15 dias, aos 3 meses e 1 ano após o desmatamento. A avaliação de 3 meses foi feita antes do plantio do milho e antes da adubação corretiva de fósforo. Na avaliação efetuada aos 15 dias, as coletas de solo na área nativa e na área recém-desmatada foram realizadas na profundidade 0 cm a 20 cm. Nas coletas realizadas aos 3 meses e 1 ano após o desmatamento, as amostragens foram estratificadas em 0 cm a 5 cm e 5 cm a 20 cm.

Na primeira amostragem realizada aos 15 dias, na profundidade 0 cm a 20 cm, foi observada, na área desmatada, redução de 17 % no C da biomassa e aumento de 21 % na taxa de respiração microbiana, em relação à área nativa. Quando a amostragem foi realizada aos três meses após o desmatamento, coincidindo com o início da estação chuvosa, foram observadas, nas áreas desmatadas, profundidade 0 cm a 5 cm, reduções no CBMS e na respiração microbiana de 43 % e 32 %, respectivamente. Na amostragem realizada 1 ano após o desmatamento, as reduções no CBMS acentuaram-se mais ainda, atingindo 76 %, enquanto a respiração microbiana apresentou valores similares aos da área nativa, o que se traduz em um qCO_2 mais elevado para a área desmatada, um indicativo de que a comunidade microbiana apresentava-se sob estresse metabólico.

Na profundidade 5 cm a 20 cm, o comportamento das propriedades microbiológicas, após o desmatamento, foi totalmente distinto da profundidade 0 cm a 5 cm. Os níveis de biomassa microbiana na área desmatada, na profundidade 5 cm a 20 cm, foram ligeiramente superiores aos da área nativa (23 % e 15 % de aumento nas amostragens realizadas aos 3 meses e 1 ano, respectivamente), enquanto a respiração microbiana dobrou nas duas amostragens. Esses aumentos na biomassa e respiração microbiana podem ser atribuídos à incorporação de restos vegetais quando da aração, aumentando a entrada de carbono que pode ser prontamente mineralizado pelos microrganismos, o que resulta no aumento da liberação de CO_2 .

Comparando-se os resultados obtidos, nas duas profundidades, observou-se que, à exceção do aumento da respiração na profundidade de 5 cm a 20 cm, o impacto do desmatamento foi mais acentuado nos cinco centímetros iniciais do solo. Merece destaque a 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 0 cm a 5 cm é consequência do acúmulo de serapilheira na superfície do solo. A presença dela aumenta a entrada de resíduos carbonados no sistema, favorecendo a comunidade microbiana do solo. Essa estratificação desaparece por ocasião do revolvimento do solo, por meio da aração.

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

Considerações finais

O próximo passo dessas pesquisas, na Embrapa Cerrados, será o estudo das implicações agrônômicas em curto, médio e longo prazo dos impactos causados por atividades agropecuárias nos atributos biológicos do solo. Ainda existem muitas dúvidas a serem respondidas, tais como: (a) até que ponto a perda de biomassa microbiana nas áreas agrícolas estará relacionada a perdas de biodiversidade genética e funcional e; (b) quais as implicações da perda de biomassa e diversidade microbiana no funcionamento dos sistemas agrícolas. Respostas para essas perguntas serão muito importantes para que, no futuro, além das propriedades químicas e físicas, determinações das propriedades biológicas possam também fazer parte das análises de solo de rotina.

Por possibilitar a identificação rápida e precisa de alterações no solo, o uso de bioindicadores (entre eles a biomassa microbiana), pelos agricultores,

será importante, tanto no sentido de incentivar aqueles que já estão adotando sistemas de manejo conservacionistas, como no sentido de alertar agricultores que estejam adotando sistemas de manejo que possam levar à degradação do solo.

Uma das principais estratégias para evitar a expansão da fronteira agrícola, com o desmatamento de novas áreas, é recuperar as áreas que se encontram em algum estágio de degradação e manter ou melhorar a qualidade das áreas utilizadas atualmente na atividade agropecuária. Nesse contexto, o melhor entendimento do componente biológico do solo será decisivo para a resolução da equação, envolvendo manutenção de altas produtividades e sustentabilidade de sistemas agropecuários nos Cerrados.

Referências

- ANDERSON, J. P. E. Soil respiration. In: PAGE, A. L.; MILLER, R. H.; KEENEY, D. R. (Ed.). **Methods of soil analysis**. 2. ed. Madison: American Society of Agronomy: Soil Science Society of Agronomy, 1982. Part 2, p. 831-872.
- ANDERSON, J. P. E.; DOMSCH, K. H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 10, p. 215-221, 1978.
- ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. Determination of ecophysiological maintenance carbon requirements of soil microorganisms in a dormant state. **Biology and Fertility of Soils**, v. 1, p. 81-89, 1985.
- ANDERSON, J. P. E.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient for CO₂ (qCO₂) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental condition, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 25, p. 393-395, 1993.
- BADALUCCO, L.; NANNIPIERI, P.; GRECO, S.; CIARDI, C. Microbial biomass and anthrone-reactive carbon in soils with different organic matter contents. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 22, p. 899-904, 1990.
- 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. 31, p. 641-649, 1998.

DE-POLLI, H.; GAMA-RODRIGUES, E. F. da; GUERRA, J. G. M. Determinação da biomassa microbiana do solo: avanços e limitações. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DAS PLANTAS, 24.,; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 8.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 6.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 3., 2000, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo: Sociedade Brasileira de Microbiologia, 2000. 1 CD-ROM.

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

FEIGL, B. J.; SPARLING, G. P.; ROSS, D. J.; CERRI, C. C. Soil microbial biomass in amazonian soils: evaluation of methods and estimates of pool sizes. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 27, p. 1467-1472, 1995.

HERNANDEZ-HERNANDEZ, R. M.; LOPEZ-HERNANDEZ, D. Microbial biomass, mineral nitrogen and carbon content in savanna soil aggregates under conventional and no-tillage. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 34, p. 1563-1570, 2002.

ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh. **Agriculture Ecosystems and Environment**, v. 79, p. 9-16, 2000.

JENKINSON, D. S. Determination of microbial biomass carbon and nitrogen in soils. In: WILSON, J. R. (Ed.). **Advances in nitrogen cycling in agricultural systems**. Wallingford: CAB International, 1988. p. 368-386.

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: Marcel Dekker, 1981. v. 5, p. 415-471.

JENKINSON, D. S.; POWLSON, D. S. The effect of biocidal treatment on metabolism in soil. V. A method of measuring soil biomass. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 8, p. 209-213, 1976a.

JENKINSON, D. S.; POWLSON, D. S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil - I. Fumigation with chloroform. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 8, p. 167-177, 1976b.

JOERGENSEN, R. G. The fumigation-extraction method to estimate soil microbial biomass: calibration of the kec value. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 28, p. 25-31, 1996.

MARTENS, R. Current methods for measuring microbial biomass C in soil: potentials and limitations. **Biology and Fertility of Soils**, v. 19, p. 87-99, 1995.

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.

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**, 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 Cerrados, 2001. p. 664-687.

MENDES, I. C.; VIVALDI, L.; OLIVEIRA, J. R. A.; VARGAS, M. A. T.; RIBEIRO, J. F. **Biomassa-C e atividade microbiana em solos do bioma cerrado sob vegetação nativa**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 1999. 3 p. (Embrapa Cerrados. Pesquisa em Andamento, 4).

MERCKX, R.; MARTIN, J. K. Extraction of microbial biomass components from rhizosphere soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 19, p. 371-376, 1987.

OLIVEIRA, J. R. A.; MENDES, I. C.; VILELA, L.; VIVALDI, L.; VARGAS, M. A. T. **Biomassa-C e atividade microbiana em solos sob sistemas integrados de culturas anuais e pastagens**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 1999. 3 p. (Embrapa Cerrados. Pesquisa em Andamento, 35).

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**, v. 25, p. 863-871, 2001.

PFENNING, L.; EDUARDO, B. P.; CERRI, C. C. Os métodos da fumigação-incubação e fumigação-extração na estimativa da biomassa microbiana de solos da Amazônia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 16, p. 31-37, 1992.

POWLSON, D. S. The soil microbial biomass: before, beyond and back. In: RITS, K.; DIGHTON, J.; GILLER, K. E. (Ed.). **Beyond the biomass: compositional and functional analysis of soil microbial communities**. Chichester: John Wiley, 1994. p. 3-20.

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

RODRIGUES, E. F. G.; GUERRA, J. G. M.; ALMEIDA, D. L.; DE-POLLI, H. Biomassa microbiana de carbono de solos de Itaguaí (RJ): comparação entre os métodos fumigação-incubação e fumigação-extração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 18, p. 427- 432, 1994.

RODRIGUES, E. F. G. **Biomassa-C microbiana de solos de Itaguaí: comparação de métodos de fumigação-incubação e fumigação-extração**. 1992. 108 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Itaguaí.

ROSCOE, R.; BODDEY, R. M.; SALTON, J. C. Sistemas de manejo e matéria orgânica do solo. In: ROSCOE, R.; MERCANTE, F. B.; SALTON, J. C. (Ed.). **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: modelagem matemática e métodos auxiliares**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006. p. 17-42.

ROSS, D. J. Estimation of soil microbial C by a fumigation-extraction method: influence of seasons, soils and calibration with the fumigation-incubation procedure. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 22, p. 295-300, 1990.

SAGGAR, S.; BETTANY, J. R.; STEWART, J. W. B. Measurement of microbial biomass sulfur in soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 13, p. 493-498, 1982.

SINGH, J. S.; RAGHUBANSHI, A. S.; SINGH, R. S.; SRIVASTAVA, S. C. Microbial biomass acts as source of plant nutrients in dry tropical forest and savanna. **Nature**, v. 338, p. 499-500, 1989.

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

SPARLING, G.; ZHU, C. Evaluation and calibration of biochemical methods to measure microbial biomass C and N in soils from western Australia. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 25, p. 1793-1801, 1993.

SPARLING, G. P.; ROSS, D. J. Biochemical methods to estimate soil microbial biomass: current developments and applications. In: MULONGOY, K.; MERCKX, R. (Ed.). **Soil organic matter dynamics and sustainability of tropical agriculture**. Chichester: John Wiley, 1993. p. 21-37.

TATE, K. R.; ROSS, D. J.; FELTHAM, C. W. A direct extraction method to estimate soil microbial C: effects of experimental variables and some different calibration procedures. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 20, p. 329-335, 1988.

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.

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

WARDLE, D. A. Controls of temporal variability of soil microbial biomass: a global-scale synthesis. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 30, p. 1627-1637, 1997.

WARDLE, D. A. Metodologia para quantificação da biomassa microbiana do solo. In: HUNGRIA, M.; ARAUJO, R. S. (Ed.). **Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola**. Brasília: Embrapa-SPI, 1994. p. 419-436.

WARDLE, D. A.; GHANI, A. Why is the strength of relationships between pairs of methods for estimating soil microbial biomass often so variable? **Soil Biology and Biochemistry**, v. 27, p. 821-828, 1995.

WARING, R. H.; SCHLESINGER, W. H. **Forest ecosystems: concepts and management**. San Diego: Academic Press, 1985.

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.

Soil Microbial Biomass

Abstract

The microbial biomass, respiration and their derivative indexes are proposed as indicators of the state and changes of the soil organic matter. This document presents basic information about these indicators and the two methodologies most used for C-microbial biomass determinations, the fumigation-incubation and the fumigation-extraction methods. The basic principles behind these methods, advantages, disadvantages and limitations are discussed. As the main objective of this review, recent results from research in this field developed at the Embrapa Cerrados are presented.

Index Terms: soil quality, microbial respiration, Cerrados, fumigation-incubation, fumigation-extraction.