

Uso de biomassa microbiana para avaliação de qualidade do solo em sistemas silvipastoris



ISSN 1980-6841

Dezembro, 2009

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

Documentos 93

Uso de biomassa microbiana para avaliação de qualidade do solo em sistemas silvipastoris

Maria Luiza Franceschi Nicodemo

Embrapa Pecuária Sudeste
São Carlos, SP
2009

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Pecuária Sudeste

Rod. Washington Luis, km 234
Caixa Postal 339, São Carlos, SP
Fone: (16) 3411-5600
Fax: (16) 3361-5754
Home page: <http://www.cppse.embrapa.br>
Endereço eletrônico: sac@cppse.embrapa.br

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: Ana Rita de Araujo Nogueira
Secretário-Executivo: Simone Cristina Méo Niciura
Membros: Ane Lisye F. G. Silvestre, Maria Cristina Campanelli Brito,
Milena Ambrósio Telles, Sônia Borges de Alencar

Revisão de texto: Simone Cristina Méo Niciura
Normalização bibliográfica: Sônia Borges de Alencar
Editoração eletrônica: Maria Cristina Campanelli Brito
Foto(s) da capa: Maria Luiza Franceschi Nicodemo

1ª edição on-line (2009)

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 Pecuária Sudeste

Nicodemo, Maria Luiza Franceschi

Uso de biomassa microbiana para avaliação de qualidade do solo em
sistemas silvipastoris [Recurso eletrônico] / Maria Luiza Franceschi
Nicodemo. — Dados eletrônicos. — São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste,
2009.

Sistema requerido: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: Word Wide Web: <<http://www.cppse.embrapa.br/080servicos/070publicacaogratis/documentos/documentos93.pdf>>

Título da página na Web (acesso em 29 dezembro de 2009).

35 p. (Documentos / Embrapa Pecuária Sudeste, 93; ISSN: 1980-6841).

1. Sistemas silvipastoris. 2. Biomassa 3. Qualidade do solo. I. Nicodemo,
Maria Luiza Franceschi. II. Título. IV. Série.

CDD: 577.55

© Embrapa 2009

Autores

Maria Luiza Franceschi Nicodemo

Zootecnista, Ph.D em Agricultura Pesquisadora
da Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos, SP.
mlnicodemo@cppse.embrapa.br

Sumário

Introdução	7
A vida no solo	9
Fatores que afetam a decomposição pela microbiota do solo	11
Substrato	11
Disponibilidade hídrica	12
Temperatura	13
pH	13
Herbicidas	14
Diversidade de plantas cobrindo o solo	14
Estrutura do solo	15
Caracterização da vida no solo	15
Medidas utilizadas para caracterizar a biomassa microbiana	16
Uso da terra e os atributos biológicos	21
Sistemas agroflorestais	23
Sistemas silvipastoris	25
Comentários finais	28
Referências	28

Uso de biomassa microbiana para avaliação de qualidade do solo em sistemas silvipastoris

Maria Luiza Franceschi Nicodemo

Introdução

Os benefícios gerados pela agricultura são enormes. Áreas agrícolas e pastagens ocupam cerca de 40% da superfície terrestre. A produção de cereais dobrou em quarenta anos, e o aumento na produtividade pode ser atribuído principalmente ao resultado da “Revolução Verde”: adoção de tecnologias que incluem a utilização de cultivares de alta produção, fertilizantes químicos e defensivos agrícolas, mecanização e irrigação (FOLEY et al., 2005). Os sistemas de produção convencionais produziram um grande passivo ambiental (NICODEMO et al., 2008), isto é, levaram à degradação dos recursos naturais. Ao priorizar a produção de bens de consumo, a necessidade de manutenção dos serviços ambientais foi ignorada. Mais recentemente buscam-se sistemas de produção sustentáveis, que conciliem a produção de bens e de serviços ambientais (MATSON et al., 1997).

Os ecossistemas provêm serviços essenciais de suporte à vida, mediados pela ação dos seres vivos. Dentre esses serviços ambientais, podem ser listados: a manutenção da qualidade do ar e o controle da poluição, por meio da regulação da composição dos gases atmosféricos; o controle da temperatura e do regime de

chuvas, por meio do ciclo biogeoquímico do carbono e da evapotranspiração da vegetação, que contribui para manter a umidade relativa do ar; a regulação do fluxo de águas superficiais e o controle das enchentes; a formação e a manutenção do solo e da fertilidade do solo, pela decomposição da matéria orgânica e pelas interações entre raízes de plantas, bactérias e micorrizas; a degradação de dejetos industriais e agrícolas e a ciclagem de minerais; a redução da incidência de pragas e doenças pelo controle biológico; e a polinização de plantas agrícolas e de plantas silvestres (DAILY et al., 1997).

Embora a definição de sustentabilidade seja controversa (RIGBY et al., 2000), a qualidade do solo engloba conceitos relacionados às suas características químicas e físicas, biodiversidade e produtividade.

Os seres vivos são responsáveis por grande parte dos serviços ambientais. Ecossistemas sustentáveis dependem do fluxo de nutrientes pelas cadeias alimentares, mediado principalmente pelos microrganismos, que são a força motriz da ciclagem de matéria orgânica do solo (NOGUEIRA et al., 2006). A biomassa microbiana do solo (BMS) compreende a parte viva da matéria orgânica, desconsiderando as raízes e os organismos maiores de $5 \times 10^3 \mu\text{m}^3$. A BMS está relacionada a inúmeros processos: decomposição de resíduos orgânicos, ciclagem de nutrientes, solubilização de nutrientes, degradação de compostos xenobióticos e de poluentes, estruturação do solo e controle biológico de patógenos, sendo reconhecida, portanto, como um componente importante para a qualidade e produtividade do solo, já que responde mais rapidamente a mudanças ambientais que qualquer outro parâmetro agrônomo (KASCHUK et al., 2009).

A diversidade de organismos é essencial para manter a capacidade de recuperação dos agroecossistemas e sistemas naturais após distúrbios (LOREAU et al., 2001). Um exemplo dessa interdependência pode ser observado ao tomarmos o caso da decomposição da matéria orgânica

pelos microrganismos do solo: as bactérias, que são unicelulares, secretam enzimas no solo, e cada bactéria tem a capacidade de produzir até três enzimas diferentes. Uma combinação de diferentes organismos é necessária para assegurar a degradação de substâncias complexas, disponibilizando, assim, ao solo nutrientes que podem ser assimilados pelas plantas (PRIMAVESI, 2002).

Esta revisão visa caracterizar os organismos do solo, alguns fatores que afetam sua sobrevivência e as razões da utilização de atributos biológicos do solo como indicadores de sustentabilidade, mostrando que podem trazer informações valiosas sobre a qualidade do solo em sistemas silvipastoris.

A vida no solo

As comunidades biológicas do solo, compostas de microrganismos e de fauna, ocorrem em ordens de grandeza várias vezes maiores que as comunidades encontradas sobre sua superfície (BARDGETT, 2002). Os organismos que vivem no solo podem ser divididos em dois grupos, os macroorganismos, que são principalmente nematoides, anelídeos e artrópodes, e microrganismos: bactérias, actinomicetos, fungos, algas e protozoários (VARGAS e HUNGRIA, 1997). Bactérias e fungos são os integrantes predominantes da biota do solo (JASTROW et al., 2007). As espécies de bactérias do solo podem chegar à quantidade de 10^6 ou 10^7 por grama de solo (STALEY, 1997). Essa abundância tem sido atribuída à heterogeneidade de nichos existentes no solo, promovendo a especialização no uso de recursos e a coexistência de espécies. As espécies diferem bastante na sua resposta ao ambiente, o que assegura a manutenção de processos importantes no solo (BARDGETT, 2002).

A BMS é responsável pela decomposição da matéria orgânica e pela ciclagem de nutrientes. É fonte de nutrientes e ao mesmo tempo os imobiliza, tornando-os menos imediatamente acessíveis para as plantas e impedindo sua lixiviação do solo (CARDOSO, 2004).

A decomposição da matéria orgânica do solo produz CO_2 , NH_4^+ , NO_3^- ,

PO_4^{-3} e SO_4^{-2} . Nesse processo, C é reciclado da atmosfera como CO_2 , nitrogênio atmosférico torna-se disponível como amônio e nitrato, e outros elementos associados, como P, S e microelementos, tornam-se assimiláveis pelas plantas (VARGAS e HUNGRIA, 1997). Nos agroecossistemas, a biomassa microbiana imobiliza entre 100 e 600 kg/ha de N e 50 e 300 kg/ha de P até a profundidade de 30 cm no perfil do solo, quantidades que excedem a aplicação anual de fertilizantes (MARTENS, 1995).

As principais fontes de nutrientes para os organismos do solo chegam por meio de plantas vivas (raízes e outras estruturas subterrâneas) e por meio de detritos (serapilheira, raízes mortas, exsudatos de raízes e matéria orgânica derivada da flora e da fauna) (POWELL, 2007). Os organismos que se beneficiam primariamente de uma ou de outra fonte de alimentos podem ser identificados. Na cadeia herbívora do solo encontram-se os microrganismos simbioses mutualistas, que dão acesso a recursos limitantes ou protegem as plantas de antagonistas em troca de produtos da fotossíntese, os simbioses parasitas, que retiram produtos fotossintéticos em detrimento da planta hospedeira, e os invertebrados que se alimentam de raízes; os consumidores de segunda-ordem, ativos na rizosfera e no solo, predam esses organismos. Na cadeia alimentar baseada em detritos do solo encontram-se os fungos e as bactérias saprófitas, bem como alguns invertebrados. Os invertebrados, ao reduzir o tamanho de partículas e as barreiras estruturais, tornam recursos acessíveis para outros saprófitas. Também aqui se encontram os consumidores de segunda-ordem, que predam os saprófitas. Os predadores de fungos e de bactérias ocupam nichos diferentes no solo e têm velocidades diferentes de decomposição. Bactérias são mais sensíveis à umidade do solo e respondem rapidamente à disponibilidade de compostos lábeis, facilmente assimiláveis, enquanto fungos mantêm a atividade mais estável ao longo do tempo e podem quebrar compostos recalcitrantes. Nematoides, cupins e artrópodes maiores são consumidores de membros das cadeias de herbívoros e de saprófitas, integrando o fluxo de energia entre as duas cadeias (POWELL, 2007).

Para que a ciclagem de nutrientes nas formas orgânicas disponíveis (lábeis) para as plantas seja rápida, há necessidade de disponibilidade de uma fonte de energia (C) e de nitrogênio (VARGAS e HUNGRIA, 1997). A matéria orgânica do solo representa importante reserva de C na biosfera. Os fluxos anuais de C entre a atmosfera, o solo e a biota terrestre representam mais de 1/10 do C da atmosfera, de modo que a ciclagem de nutrientes no solo impacta sobre a concentração de CO₂ na atmosfera (VARGAS e HUNGRIA, 1997). No Brasil, as mudanças de uso dos solos e as queimadas são responsáveis por 70% das emissões de CO₂ para a atmosfera (BORN et al., 2007), contribuindo mais decisivamente para a produção de gases de efeito estufa do que a queima de combustíveis fósseis.

A eficiência da decomposição e a extensão de decomposição da matéria orgânica do solo são influenciadas por fatores bióticos e abióticos. Por meio do manejo é possível favorecer classes diferentes de organismos do solo, de modo a estimular ou deprimir processos biológicos específicos.

Fatores que afetam a decomposição pela microbiota do solo

Substrato

Hooper et al. (2000) consideram que a alta diversidade vegetal resulta em aumento da diversidade no solo, relacionando esse efeito à qualidade da serapilheira e à maior diversificação de decompositores e detritívoros. Foram observadas associações seletivas entre fungos, colêmbolas e centopeias e tipos específicos de serapilheira. Também a diversidade de herbívoros que vivem na rizosfera foi afetada pela diversidade de plantas. Outro efeito interessante é que a maior heterogeneidade do substrato pode aumentar também a diversidade genética dentro de espécies de microrganismos.

Fungos e bactérias têm características distintas e complementares nos processos que ocorrem no solo (JASTROW et al., 2007). De modo geral, fungos são considerados mais eficientes no uso do C disponível, respirando menor proporção do C metabolizado como CO_2 . As enzimas extracelulares sintetizadas por bactérias são principalmente lipases e celulases, que atacam o material não-lignificado; já os fungos produzem fenoloxidasas, lacases e peroxidases que atacam o material lignificado. Enquanto a celulose é decomposta por bactérias e por fungos, as bactérias só degradam a lignina depois do ataque inicial por fungos.

Os recursos imobilizados nos fungos estão menos disponíveis do que nas bactérias devido a sua composição. A biomassa bacteriana é composta por moléculas ricas em energia, facilmente degradáveis, como fosfolipídios e aminoácidos. Fungos, por outro lado, têm parede celular formada por moléculas complexas, como quitina e melanina, que tendem a persistir e a se acumular nos solos (JASTROW et al., 2007).

A composição do material orgânico também afeta a decomposição: fatores como a resistência das folhas, as concentrações de N, lignina e polifenóis, as razões C/N e lignina/N interferem na atividade microbiana e na utilização do substrato (HATTENSCHWILER et al., 2005). Monteiro e Gama-Rodrigues (2004) encontraram correlação positiva entre o C orgânico e os teores de lignina, celulose e polifenol e as relações lignina/N, polifenol/N, lignina + celulose/N e lignina + polifenol/N. Esses resultados indicam que os galhos e as raízes, por apresentarem material de maior recalcitrância, tendem a acumular maior quantidade de C orgânico no solo.

Disponibilidade hídrica

As bactérias se beneficiam de elevada umidade no ar do solo, encontrada quando a capacidade de retenção de água no solo está entre 50 e 75%. Fungos (principalmente actinomicetos, que são um grupo heterogêneo, com características de fungos e de bactérias)

podem crescer em solos mais secos (PRIMAVESI, 2002). Nogueira et al. (2006) relataram que o solo que apresentou maior atividade microbiana tinha também o maior teor de água. A presença de plantas que produzem bastante massa cobrindo o solo, como o capim-colonião (*Panicum maximum*), ajuda a reduzir a perda de umidade por evaporação superficial, mantendo por mais tempo a atividade microbiana mais elevada. Além disso, nesse caso há disponibilização não só de água como de substrato para degradação.

Temperatura

O solo tem muitas enzimas, necessárias para a decomposição da matéria orgânica. Para a maior parte das bactérias ali presentes, a atividade enzimática se encontra na faixa ótima entre 25 e 32°C (PRIMAVESI, 2002). Em solo de climas tropical e subtropical, nos quais predominam temperaturas acima de 20°C, prevalecem bactérias, com menor número de fungos e actinomicetos (PRIMAVESI, 2002). A macrofauna é afetada rapidamente por temperaturas elevadas, de modo que a manutenção da cobertura sobre o solo e do sombreamento asseguram maior atividade biológica no solo.

pH

A atividade das enzimas do solo ocorre dentro de uma estreita faixa de pH. A microbiota dos solos tropicais está adaptada ao pH entre 5,3 e 6,1. A modificação do pH pode ativar enzimas ou reduzir expressivamente sua atividade. Caso o pH do solo esteja na faixa inadequada, as bactérias que dependem da atividade enzimática podem ter seu número reduzido. Práticas de manejo como calagem ou adubação amoniacal podem afetar os organismos do solo via modificação do pH (PRIMAVESI, 2002). Baixo pH exige maior gasto de energia pelos microrganismos para manutenção de condições celulares adequadas, reduzindo a produção de biomassa microbiana e a fixação de C no solo.

Herbicidas

Herbicidas prejudicam a sobrevivência microbiana e a BMS, sendo também capazes de reduzir a eficiência do uso de C da matéria orgânica, com mais altos valores de quociente metabólico (qCO_2). Herbicidas podem afetar organismos benéficos, como linhagens de rizóbios, comprometendo a ciclagem de nutrientes do solo (KASCHUK et al., 2009). Herbicidas parecem afetar a microbiota do solo também pela menor deposição de matéria orgânica, de modo a reduzir o aporte de nutrientes. O uso de herbicidas pode reduzir a cobertura do solo, provocando maior compactação, aumentando a temperatura e reduzindo a umidade do solo.

Diversidade de plantas cobrindo o solo

A vegetação que recobre o solo influencia sua colonização. A rizosfera é o espaço densamente enraizado do solo, onde existe um grande número de bactérias, fungos e actinomicetos que aproveitam os exsudatos radiculares, isto é, aminoácidos, açúcares, hormônios, vitaminas e ácidos orgânicos. Fungos são mais frequentes em solos associados a plantas não-leguminosas, porque preferem excreções açucaradas às excreções radiculares mais ricas em aminoácidos, características das leguminosas fixadoras de nitrogênio. Raízes de leguminosas atraem mais bactérias (PRIMAVESI, 2002). Práticas de manejo como adubação e rotação de culturas permitem modificar as excreções radiculares das plantas e a disponibilidade de minerais no solo, e, portanto, afetam a composição da microbiota do solo (PRIMAVESI, 2002). Com a ocupação do solo por espécies vegetais diferentes, a composição da matéria orgânica é variada, estimulando a proliferação de uma variedade de organismos (PRIMAVESI, 2002).

Kaschuk et al. (2009) comentaram que não é clara a relação entre rotação de culturas no Brasil e melhoria nos atributos biológicos do solo, que seriam detectados apenas em estudos de longo-prazo. Por outro lado esses autores comentam que há fortes evidências de mudanças qualitativas nas comunidades microbiológicas, com efeitos globais positivos na produtividade agrícola.

Dybzinski et al. (2008) observaram aumento na fertilidade de solos com maior diversidade de espécies. Atribuíram essa resposta a uma combinação de efeitos aditivos e interações entre diferentes grupos funcionais, levando à maior disponibilidade e retenção de nitrogênio.

Estrutura do solo

A estrutura do solo afeta a infiltração, o escoamento superficial, a drenagem, a aeração, a disponibilidade de água e a erosão; também a disponibilidade de substrato, de nutrientes e de outros solutos; controla o transporte de solutos; serve de habitat para as raízes, para os organismos da rizosfera e para a comunidade de decompositores. A estrutura do solo pode então afetar o desenvolvimento das plantas e a decomposição, com impactos na ciclagem e na estabilização do carbono orgânico do solo (JASTROW et al., 2007).

Caracterização da vida no solo

A BMS, em última instância, controla a produtividade dos sistemas (CARDOSO, 2004). Os microrganismos do solo respondem rapidamente às alterações causadas pelas formas de uso da terra, acusando mudanças antes dos atributos químicos em resposta ao manejo, de modo que têm papel primordial como ferramentas de monitoramento. Kaschuk et al. (2009) apresentaram um modelo conceitual ilustrando as relações que podem ser esperadas entre a BMS e a produtividade agrícola. Segundo esse modelo, pequenas perdas em BMS não apresentam reflexos na produtividade devido às adaptações possíveis de serem levadas a cabo pela resiliência do solo. Aumentos progressivos na perda de BMS resultam em menor fixação de nitrogênio e em depressão das atividades de micorrizas arbusculares, mas a produtividade pode ser mantida pela aplicação de maiores quantidades de fertilizantes. Caso a BMS seja estimulada por práticas de manejo, a produtividade agrícola pode aumentar pelo estímulo da ciclagem de nutrientes e

de simbioses benéficas entre planta e microrganismos. Altieri (1999) já havia chamado a atenção para a substituição dos serviços ambientais no agroecossistemas pela maior intervenção humana para manter a produtividade desejada.

Medidas utilizadas para caracterizar a biomassa microbiana

Os métodos para estimar a quantidade de BMS geralmente se baseiam na estimativa da quantidade de carbono, que ocorre em maior proporção nas células microbianas. Os fatores de correção utilizados nos diferentes métodos precisam ser mais bem estudados em condições tropicais (CARDOSO, 2004).

a) Quantificação da BMS (CARDOSO, 2004; KASCHUK et al., 2009):

A microscopia direta, alternativa inicial utilizada para quantificar microrganismos, necessita de equipamento especial e pessoal treinado. Além disso, apresenta dificuldades na separação de organismos vivos e mortos e devido à aderência de organismos a partículas de solo. Entretanto tem sido utilizada para padronização de outros métodos.

A BMS pode ser quantificada pelo método de extração de constituintes celulares, como o trifosfato de adenosina (ATP), ácido murâmico, a quitina, a clorofila e os ácidos nucleicos. Os métodos de extração de conteúdos celulares baseiam o cálculo da BMS na premissa de que células microbianas quiescentes mantêm a proporção aproximada de ATP:C:N:P:S de 1:250:40:9:2,6.

A respiração é o método mais usado para quantificar a atividade microbiana no solo. Pode ser avaliada pela **respiração basal**, que compreende a incubação de amostras de solo sem a adição de qualquer suplemento, e pela respiração induzida pelo substrato. A **respiração induzida pelo substrato** ou fisiologia da taxa de

respiração avalia o aumento inicial da taxa de respiração da população microbiana quando uma fonte de carbono solúvel, como a glicose, é adicionada ao solo. O aumento da respiração, medida como liberação de CO_2 , é acompanhada pelo tempo de incubação. Essa medida é considerada uma estimativa indireta da velocidade de decomposição da matéria orgânica ou de outro substrato no solo. Esse método permite calcular o **quociente metabólico** ($q\text{CO}_2$) ou a taxa de respiração específica, que é a razão da respiração microbiana em relação à biomassa, ou seja, quantidade de C-CO_2 produzida por unidade de C da biomassa microbiana. O quociente metabólico indica a eficiência de utilização da matéria orgânica pelos microrganismos do solo.

Valores mais altos de $q\text{CO}_2$ indicam maior necessidade de energia de manutenção para os microrganismos. Assim, sob solos ácidos, onde há necessidade de manter o pH celular em torno de 6,0 apesar dos valores mais baixos do meio circulante, o $q\text{CO}_2$ se eleva. Nessa situação sobra menos energia para a produção de biomassa microbiana. Impactos nas células microbianas, como mudanças de temperatura, umidade e disponibilidade de nutrientes, devem se refletir em mudança no quociente metabólico (ANDERSON, 2003).

A quantificação da BMS pode se basear na fumigação-incubação (FI), que consiste na fumigação, re-inoculação com microrganismos vivos e incubação em condições controladas; o método envolve a medida de CO_2 resultante da decomposição da população microbiana na amostra fumigada em relação a uma amostra testemunha, não-fumigada. A biomassa, representada por C microbiano, pode ser estimada pela relação $\text{BMS} = \text{CI}/K_{\text{Cl}}$, onde $\text{C}_1 = (\text{C-CO}_2 \text{ liberado do solo fumigado menos C-CO}_2 \text{ liberado pelo solo testemunha})$ e K_{Cl} é o fator de mineralização do C , isto é, a proporção do C microbiano liberado como CO_2 no período de incubação. Geralmente usa-se $K_{\text{Cl}} = 0,41$ para solos tropicais. Muitas vezes, determina-se o N da BMS em amostras tratadas por esse método, mas a desnitrificação ou a imobilização podem alterar as quantidades de N , indicando-se, portanto, o método de fumigação-extração. Fatores ambientais

interferem acentuadamente nos resultados observados, de modo que seu uso não é indicado em uma ampla gama de condições, como em solos ácidos e com alto teor de Al, em solos que receberam recentemente adição de matéria orgânica, em solos da rizosfera de pastagens e em solos sob encharcamento ou sob seca; solos argilosos também podem apresentar valores alterados devido à menor decomposição da matéria orgânica e à menor atividade dos microrganismos.

Outra alternativa muito utilizada na quantificação da biomassa microbiana consiste na fumigação-extração (FE), que compreende a extração da biomassa microbiana logo após a fumigação. Considera-se que a BMS é proporcional ao aumento do C orgânico que pode ser extraído do solo após a fumigação. O material celular liberado após a exposição à fumigação é recuperado. A biomassa, representada pelo C microbiano, é estimada pela relação: $BMS = C_e \times 2,64$, onde $C_e = (C \text{ extraído do solo fumigado} - C \text{ extraído do solo testemunha})$ e 2,64 é K_{CE} , o fator de correção do C extraído em BMS. O N, P e S podem ser analisados nesse mesmo solo. O N da biomassa microbiana é calculado de maneira análoga ao C, e corrigido pelo fator K_{EN} de 0,45 ou 0,54 (valor utilizado na descrição original do método), sendo esse último o valor mais utilizado. K_{EN} indica a eficiência média de recuperação de N da biomassa microbiana do solo pelo extrator. P na biomassa microbiana é corrigido pelo fator K_p de 0,40 e S pelo fator K_s de 0,35.

O método de fumigação-extração foi recomendado pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo para avaliações de biomassa microbiana devido a sua maior sensibilidade ao carbono orgânico total do solo (KASCHUK et al., 2009).

O carbono microbiano indica a quantidade de C de reserva no solo que participa do processo de humificação. O nitrogênio microbiano indica o potencial de N mineralizável que estará disponível às plantas (PICCOLO et al., 2009). A imobilização do N pela biomassa

microbiana é temporária. À medida que ocorre a morte dos microrganismos, há mineralização e liberação dos nutrientes imobilizados. Portanto, quanto maior o conteúdo de N na biomassa microbiana, mais rápida será a sua reciclagem (Perez et al., 2005). Em solos pobres, quando os teores de N no solo são limitantes, o N será utilizado preferencialmente pelos microrganismos na decomposição da matéria orgânica, em detrimento de sua disponibilização para as plantas (PICCOLO et al., 2009).

Alguns parâmetros podem ser derivados de BMS. A razão entre C microbiano (BMS) e carbono orgânico total do solo (COT) é conhecida como **quociente microbiano** (BMS/COT). O quociente microbiano indica o carbono disponível para crescimento microbiano, de modo que valores mais altos devem estar relacionados a solos de melhor qualidade. Quando a qCO_2 é baixa, mais carbono estará disponível para a produção de biomassa, o que deve se refletir em maior porcentagem de C microbiano em relação ao C orgânico total (ANDERSON, 2003; KASCHUK et al., 2009). Os quocientes microbiano e metabólico (qCO_2) podem ser utilizados na avaliação da vulnerabilidade dos solos à perturbação, em termos de resiliência. Os distúrbios causam pouco efeito sobre BMS/COT e qCO_2 em solos resilientes (KASCHUK et al., 2009).

A relação entre C e N microbianos é utilizada na estimativa da capacidade de mineralização da matéria orgânica. Kummer et al. (2008) mencionam que substrato com teor de nitrogênio inferior a 18 g/kg e relação C:N superior a 20:1 tem menor taxa de mineralização. Nogueira et al. (2006) observaram que a taxa de amonificação tinha alta correlação positiva (0,98) com o teor de C orgânico do solo, já que a matéria orgânica é a principal fonte de N orgânico para ser mineralizado.

Goedert (2005) citado por Diniz (2007) propôs um conjunto mínimo de indicadores de qualidade do solo de uso agrícola. Além de atributos de natureza física (densidade, porosidade total, resistência

mecânica à penetração e grau de floculação) e de natureza química (teor de matéria orgânica e saturação de bases), indicou os atributos de natureza biológica e os valores de referência, que refletem resultados de pesquisa em solos tropicais. São eles: o carbono da biomassa microbiana do solo, que deve apresentar valores superiores a 200 mg C/kg de solo, e a respiração basal, que deve ser superior a 10 mg C/kg/dia.

Kaschuk et al. (2009) refletiram sobre o uso de atributos biológicos do solo, tecendo as seguintes considerações: como as taxas de crescimento das plantas e as necessidades de nutrientes são muito distintas entre áreas naturais e áreas cultivadas, não é possível compará-las em termos de produtividade considerando apenas BMS. Entretanto, para sistemas com estruturas vegetais semelhantes, como cultivos agrícolas, o aumento de BMS com o tempo está diretamente relacionado com o aumento da produção de biomassa vegetal. Esse aumento da produtividade foi atribuído à maior agregação do solo, aumento do C total do solo e de nutrientes lábeis na BMS, liberação adequada de nutrientes mineralizados para as plantas, estabilização da temperatura e da umidade do solo e favorecimento de simbioses.

b) Diversidade de organismos do solo

O aumento da biodiversidade em agroecossistemas pode ter como objetivo o aumento da produção agrícola e a promoção de serviços ambientais. Uma das maneiras de se estudar a biodiversidade é por meio de agrupamentos dos organismos em grupos funcionais, que englobam seres que provêm o mesmo serviço ambiental. **O aumento da diversidade dentro dos grupos funcionais pode aumentar a magnitude dos processos do agroecossistema.** Esses processos podem estar relacionados ao solo (como ciclagem de nutrientes, formação de matéria orgânica, estabilidade do agregado, regulação da água e taxa de decomposição), à cadeia alimentar, ao fluxo genético e diretamente à produção agrícola. Os agroecossistemas são geralmente pobres em biodiversidade considerando genes,

espécies e composição do habitat, de modo que o aumento da funcionalidade do sistema com o aumento da diversidade é alto. Além disso, alta diversidade dentro do grupo funcional deve promover um efeito de segurança em longo prazo e de tamponamento em curto prazo. A presença de várias espécies com a mesma função ganha importância depois de mudanças e estresses nos ecossistemas, assegurando a esses maiores resiliência e estabilidade (MOONEN e BÀRBERI, 2008).

Embora os processos que ocorrem no solo sejam protegidos pela redundância, ou seja, vários organismos têm a mesma função, há indicações de que determinados processos dependem de uma espécie em particular, cuja perda é irreparável (BARDGETT, 2002). Isso pode ser ilustrado pelo trabalho de Laakso e Setälä (1999), que verificaram que a perda de uma espécie decompositora foi suficiente para reduzir a produção de biomassa vegetal e a utilização de N pela planta.

A diversidade biológica do solo é pouco conhecida, mas os avanços recentes nas técnicas de biologia molecular permitem estudar melhor a composição, a diversidade e a funcionalidade das comunidades microbianas do solo (COSTA e SIQUEIRA, 2004).

Usos da terra e os atributos biológicos

Cerca de 10% da terra do planeta está sob agricultura intensiva, 17% sob uso extensivo com menor uso de insumos e 40% está ocupada por animais domésticos em pastejo. Com a previsão de que a produção de alimento deverá ser duplicada até 2050, é necessário assegurar que a produção agrícola ocorra de forma sustentável (JACKSON et al., 2007).

O sistema convencional de preparo da terra causou grandes perdas de qualidade e de produtividade aos solos, ao contrário de métodos que envolvem o revolvimento mínimo do solo. Usando meta-análise, Kaschuk et al. (2009) relataram que a BMS aumentou 58% com o uso de cultivo

mínimo em um período de 10 a 15 anos, ficando estável por até 25 anos. Há melhora gradativa da qualidade do solo avaliada por atributos biológicos do solo com o uso de cultivo mínimo em comparação ao cultivo convencional. Acredita-se que esses sistemas sejam capazes de acumular mais COT devido à maior eficiência de uso do C do substrato (indicada por menor qCO_2) pela BMS, ao favorecer a maior razão entre fungos e procariontas e, assim, aumentar a manutenção das redes de hifas no solo. Os fungos têm menores requisitos de energia para manutenção que os procariontas, de modo que transformam C do substrato em C-microbiano com maior eficiência. O BMS/COT também aumentou nesses sistemas na avaliação por meta-análise, indicando melhores condições ambientais, reduzindo os extremos de temperatura do solo, mantendo maior umidade e menor densidade do solo.

As pastagens ocupam 180 milhões de hectares no Brasil. De 50 a 80% das pastagens são consideradas degradadas (MACEDO et al., 2000; MARTHA JÚNIOR e CORSI, 2001), isto é, apresentam perdas de produtividade. Os sistemas de produção de bovinos baseados em pastagens são muito diversificados. Enquanto na região Sul as áreas de pastagem nativa tenham sido capazes de manter a BMS, na Amazônia, a conversão de floresta em pastagem foi acompanhada por declínio na BMS como resultado de menor COT promovido pelas queimadas, pelas taxas de decomposição altas e pela liberação de NO_3^- solúvel.

É interessante notar, no entanto, que alguns estudos atribuíram melhoria gradual nos atributos biológicos do solo nas pastagens bem manejadas devido ao denso sistema radicular, à deposição de matéria orgânica no solo e de nutrientes via fezes e urina e ao aumento no aporte de C da fotossíntese de plantas C4. Gramíneas produtivas, com raízes abundantes, produzem exsudatos que estimulam a atividade microbiana. A maioria das pastagens, no entanto, está degradada, mostrando perdas da qualidade do solo (menores valores de BMS, COT, BMS/COT e maior qCO_2 em relação a áreas de vegetação nativa) e menor produtividade, que estão associados à maior densidade do solo, à retirada de nutrientes e à erosão (KASCHUK et al., 2009).

Sistemas agroflorestais

Sistemas agroflorestais têm como característica a modificação do microclima, como estabilidade da temperatura e umidade do ar, redução da temperatura do solo e modificação das características químicas e físicas do solo. O efeito sobre a umidade do solo é variável, já que ao mesmo tempo em que as árvores podem minimizar o efeito dessecante dos ventos sobre o solo e sobre o ar, elas podem perder água por evapotranspiração, ressecando mais o solo nas suas proximidades. As árvores servem de anteparo às gotas de chuva, podendo reduzir seu impacto sobre o solo e aumentar também a rugosidade, formando barreiras que ajudam a reduzir o escoamento superficial e aumentam a infiltração de água no solo. Diversos estudos mostraram incremento da fauna em sistemas agroflorestais, se comparados aos sistemas convencionais, especialmente às monoculturas agrícolas. Além disso, ao contrário da agricultura tradicional, esses sistemas têm como característica o aumento da diversidade de espécies vegetais que compõem os sistemas produtivos. Espera-se que o incremento da diversidade vegetal disponibilize substratos com características bastante variadas, diversificadas também ao longo do tempo, o que estimularia a maior diversidade de espécies na microbiota do solo, aumentando a magnitude dos serviços ambientais disponíveis nesses sistemas (BALIEIRO et al., 2004; NICODEMO e PRIMAVESI, 2007; DUBOC, 2009).

O sombreamento favorece a degradação da matéria orgânica por oferecer melhores condições microclimáticas à atividade microbiana no solo, aumentando a ciclagem de nutrientes. É possível que a atividade microbiana não seja reduzida por temperaturas do solo de até 40 a 50°C. Entretanto, acredita-se que o sombreamento deve favorecer a fauna do solo, como as minhocas, que suportam temperaturas de até no máximo 25 a 35°C. As minhocas também seriam beneficiadas pelo maior teor de umidade no solo nas áreas sombreadas (WILSON, 1996).

Há preocupação em melhorar a retenção de carbono nos solos, como ferramenta para atenuação das mudanças climáticas (JASTROW et al., 2007). Sistemas agroflorestais associados a algumas técnicas de manejo podem representar uma alternativa viável. Nesse contexto, há interesse em aumentar a eficiência de uso do carbono, beneficiada pelo aumento da comunidade de fungos, que também apresentam características estruturais que contribuem para a maior retenção de C no solo.

Vários estudos avaliaram o efeito da implantação de sistemas agroflorestais sobre a microbiota do solo em diferentes biomas. Wandelli et al. (2009) relataram a utilização de sistemas agroflorestais na Amazônia para a recuperação de solos de pastagem degradada. Ao comparar sistemas agroflorestais de complexidade variável, observaram que o sistema mais diversificado em termos florísticos promoveu maior favorecimento à atividade microbiana do solo do que o sistema de maior cobertura vegetal. A atividade da biomassa microbiana foi maior nos sistemas agroflorestais do que na capoeira, sendo um pouco mais alta no sistema multiestratificado, que possui maior diversidade, do que nos demais. Foi encontrada relação positiva entre a biomassa microbiana e os atributos físico do solo como densidade aparente, porosidade total e umidade do solo.

Almeida et al. (2007) estudaram a biomassa microbiana em cultivo de café sob sistema agroflorestal com *Inga subnuda* ou em cultivo a pleno sol e na mata nativa. As avaliações foram feitas nas profundidades 0 cm a 5 cm e 5 cm a 10 cm. Considera-se que a biomassa microbiana concentra-se nos cinco centímetros superficiais, onde há substrato mais abundante (PICCOLO et al., 2009). Na camada superficial, o solo sob mata nativa apresentou maiores teores de C e N microbianos (mas semelhantes ao sistema agroflorestal), maior respiração basal e menor quociente metabólico, o que indica maior atividade microbiana e maior fixação de C. Verifica-se que em áreas não perturbadas, onde há manutenção de resíduos vegetais na superfície, há maior concentração de N microbiano. A razão

C-microbiano/COT foi mais elevada para o café a pleno sol, indicando maior disponibilidade de substrato para degradação. A razão N-microbiano/N orgânico total, por outro lado, foi maior na mata nativa e nos sistemas agrofloretais (SAF), indicando que é possível que ocorra ciclagem e disponibilização mais rápidas do N associado a esses solos do que no café a pleno sol, ainda que esse último apresentasse maiores valores de N microbiano, provavelmente em função de seu cultivo associado a leguminosas herbáceas.

No Mato Grosso do Sul, em região de mata estacional semidecídua, Pereira et al. (2008) relataram comportamento semelhante em relação aos atributos biológicos (C-BMS, respiração basal, quociente metabólico, quociente microbiano e matéria orgânica do solo) em solos sob cobertura verde ou sob um sistema agroflorestral com 52 espécies nativas. Atividade microbiana satisfatória no sistema agroflorestral pode ser inferida por baixo quociente metabólico ($5,71 \text{ } \mu\text{g C-CO}_2 / \text{ } \mu\text{g C-BMS/h}$), indicando boa utilização do carbono disponível, e por valores mais altos de quociente microbiano (3,55%), encontrados em solos de maior qualidade, indicando a capacidade do solo de estimular o crescimento microbiano. O solo descoberto, arado e gradeado, apresentou os valores mais desfavoráveis nessas avaliações.

Sistemas silvipastoris

Há poucos estudos em que se avaliou a biomassa microbiana do solo em sistemas silvipastoris, embora a concentração de matéria orgânica e a deposição de serapilheira (CARVALHO, 1998; ANDRADE et al., 2002; PORFIRIO-DA-SILVA, 2010), bem como a macrofauna do solo (CAMPIGLIA, 2002; JARDEVESKI e PORFÍRIO-DA-SILVA, 2005; DIAS et al., 2006, 2007) tenham sido investigadas.

De modo geral, pode-se verificar que há incremento na biomassa microbiana em sistemas silvipastoris. Menezes et al. (2002) relataram que solos de sistemas silvipastoris compostos por capim-buffel (*Cenchrus ciliaris*) e por *Prosopis juliflora* ou por *Ziziphus joazeiro* no

semi-árido apresentaram maior mineralização líquida de N que parcelas de gramínea solteira. As temperaturas do solo e do ar foram em média 15,6 e 2,8°C menores sob a sombra do *P. joazeiro* comparado com a pastagem. Essa espécie florestal também tem potencial de fixar N, o que junto com a melhoria das condições de solo para a microbiota pode ter contribuído para o resultado observado. A estrutura de copa das árvores afetou o microclima, sendo que os benefícios trazidos pelo *Z. joazeiro* (interceptação de 65% a 70% da luz entre 10 h e 14 h) foram maiores que aqueles da *P. juliflora* (interceptação de 20 a 30% da luz).

Assis Junior et al. (2003) estudaram a atividade microbiana em sistemas agroflorestais compostos por eucalipto + soja, eucalipto + milho e eucalipto + pastagens; eucalipto sem e com sub-bosque; e área desmatada e mata nativa (cerradão). A atividade biológica, avaliada pelo CO₂ desprendido durante o processo de decomposição da matéria orgânica, apresentou valores acumulados de 3,56 meq C-CO₂/100 g de solo para as taxas de respiração do solo aos 20 dias para a área desmatada e de 6,03, 5,28 e 5,08 meq C-CO₂/100 g de solo nas áreas de mata nativa, de pastagem solteira e de pastagem consorciada com eucalipto, respectivamente. As pastagens, quando bem manejadas, produzem grande quantidade de biomassa, fornecendo proteção e nutrientes para o solo. O pastejo por animais implica em deposição de excretas, favorecendo o desenvolvimento de microrganismos. Os solos sob eucalipto podem apresentar menor teor de bases e relações C:N desfavoráveis, o que explicaria as menores atividades microbianas (cerca de 3,8 meq C-CO₂/100 g de solo) nesse sistema. Nogueira et al. (2006) relataram menor crescimento de fungos e tendência ao menor crescimento de bactérias no solo ocupado com eucalipto, atribuindo esse resultado à relação C:N alta associada ao menor teor de N na biomassa.

Da mesma maneira, a atividade biológica não-instantânea, avaliada pela quantidade total de CO_2 desprendido durante o processo de decomposição da matéria orgânica no campo, mantida a serapilheira, apresentou taxas de respiração no solo de 559,37 $\text{mg CO}_2/\text{m}^2.\text{h}$ no cerradão e de 538,25 e 488,81 $\text{mg CO}_2/\text{m}^2.\text{h}$ nas pastagens solteiras e consorciada com eucalipto, respectivamente. Essas três formas de uso da terra apresentaram significativamente maior atividade microbiana que as demais. Na área desmatada, a taxa de respiração foi de apenas 165,16 $\text{mg CO}_2/\text{m}^2.\text{h}$ (ASSIS JUNIOR et al., 2003).

Gutmanis (2004) encontrou resultados distintos: os sistemas silvipastoris com *Pinus ellioti* apresentaram redução do desenvolvimento microbiano. A atividade microbiana avaliada pela produção diária de CO_2 média à sombra foi 28% menor que a pleno sol (2,31 vs 1,67 $\text{mg CO}_2/\text{g}$ de solo seco). Entretanto, nos sistemas estudados, o grau de sombreamento (interceptação de 71% a 79% da luz incidente) foi capaz de reduzir significativamente a produção de capim, o que pode ter resultado na menor disponibilização de substrato, ainda que de melhor qualidade do que a serapilheira das árvores. A produção média anual de biomassa pelos capins na sombra foi 19,47% inferior na densidade de 200 árvores/ha e 35,94% inferior na densidade de 400 árvores/ha, quando comparada com a produção a pleno sol. Os maiores valores de C à sombra foram apresentados pelos capins tanzânia e brizanta (3,8 t C/ha/ano cada), seguidos pelos capins *green panic* (3,1 t C/ha/ano), aruana (2,9 t C/ha/ano), tifton 85 (2,4 t C/ha/ano) e humidícola (2,0 t C/ha/ano). Nas parcelas a pleno sol, o capim tanzânia também teve a maior quantidade de carbono (5,2 t C/ha/ano), superior ao capim tifton 85 (3,7 t C/ha/ano), mas sem diferenças entre os demais capins, que apresentaram valores intermediários. O C na sombra foi cerca de 30% menor do que a pleno sol.

Comentários finais

Os atributos biológicos do solo são bastante sensíveis ao manejo e às condições ambientais. A utilização de parâmetros descritivos da atividade microbiana em conjunto com parâmetros químicos e físicos que já são costumeiramente monitoradas no solo pode representar um avanço na busca de práticas mais sustentáveis nos sistemas de produção. Como a biomassa responde rapidamente às intervenções, é possível avaliar o efeito produzido e corrigir as estratégias utilizadas se necessário.

Referências

ALMEIDA, E. F.; POLIZEL, R. H. P. ; GOMES, L. C.; XAVIER, F. A. da S.; MENDONÇA, E. de S. Biomassa microbiana em sistema agroflorestal na zona da mata mineira. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 2, n. 2, p. 740-742, 2007.

ALTIERI, M. A. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 74, p. 19-31, 1999.

ANDERSON, T. H. Microbial eco-physiological indicators to assess soil quality. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 98, p. 285-293, 2003.

ANDRADE, C. M. S.; VALENTIM J. F.; CARNEIRO. J. C. Árvores de baginha (*Stryphnodendron guianense* (Aubl.) Benth.) em ecossistemas de pastagens cultivadas na Amazônia Ocidental. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 31, p. 574-582, 2002.

- ASSIS JUNIOR, S. L.; ZANUNCIO, J. C.; KASUYA, M. C. M. Atividade microbiana do solo em sistemas agroflorestais, monoculturas, mata natural e área desmatada. **Revista Árvore**, v. 27, n. 1, 2003.
- BALIEIRO, F. C.; FRANCO, A. A.; DIAS, P. F.; SOUTO, S. M.; CAMPELLO, E. F. C. Sistemas agrossilvipastoris: a importância das leguminosas arbóreas para as pastagens na região centro-sul. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 41., 2004, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande: SBZ, 2004.
- BARDGETT, R. D. Causes and consequences of biological diversity in soil. **Zoology**, v. 105, p. 367-374, 2002.
- BORN, R. H.; PICCHIONI, S.; PIVA, L. **Mudanças climáticas e o Brasil. Contribuições e diretrizes para incorporar questões de mudanças de clima em políticas públicas**, 2007. Disponível em: <<http://www.vitaecivilis.org.br/anexos/mudancas%20climaticas%5B1%5D.pdf>>. Acesso em: 22 dez 2009.
- CAMPIGLIA, M. **A influência de sistemas silvipastoris sobre a dinâmica populacional de besouros coprófagos**. 2002, 127 f. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- CARDOSO, M. O. Métodos para quantificação da biomassa microbiana no solo. **Agropecuária Técnica**, v. 25, n.1, p. 1-12, 2004.
- CARVALHO, M. M. **Arborização de pastagens cultivadas**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 1998. 37 p. (Embrapa Gado de Leite. Documentos, 64).

COSTA, J. L.; SIQUEIRA, E. R. Análise de DNA dos solos e atividade enzimática como bioindicadores de diversidade microbiana em sistemas de restauração florestal na Mata Atlântica. In: SEMINÁRIO DE PESQUISA FAP-SE, 2., 2004, Aracaju. **Anais...** Aracaju: FAP-SE, 2004. 3 p.

DAILY, G. C.; ALEXANDER, S.; EHRLICH, P. R.; GOULDER, L.; LUBCHENCO, J.; MATSON, P. A.; MOONEY, H. A.; POSTEL, S.; SCHNEIDER, S. H.; TILMAN, D.; WOODWELL, G. M. Ecosystem services: benefits supplied to human societies by natural ecosystems. **Issues in Ecology**, v. 1, n. 2, p. 1-18, 1997.

DIAS, P. F.; SOUTO, S. M.; CORREIA, M. E. F.; ROCHA, G. P.; MOREIRA, J. F.; RODRIGUES, K. de M.; FRANCO, A. A. Árvores fixadoras de nitrogênio e macrofauna do solo em pastagem de híbrido de Digitaria. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 6, P.1015-1021, 2006.

DIAS, P. F.; SOUTO, S. M.; CORREIA, M. E. F.; RODRIGUES, K. de M.; FRANCO, A. A. Efeito de leguminosas arbóreas sobre a macrofauna do solo em pastagem de Brachiaria brizantha cv. Marandu. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 37, p. 38-44, 2007.

DINIZ, L. T. **Efeito da adubação nitrogenada, via fertirrigação, no nitrogênio da biomassa microbiana do solo e na qualidade de grãos de cevada**. 2007. 115 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Universidade de Brasília, Brasília.

DUBOC, E. **Sistemas agroflorestais e o cerrado**. Disponível em: <http://simposio.cpac.embrapa.br/simposio/projeto/palestras/capitulo_31.pdf>. Acesso em: 09 nov 2009.

DYBZINSKI, R.; FARGIONE, J. E. ; ZAK, D. R.; FORNARA, D.; TILMAN, D. Soil fertility increases with plant species diversity in a long term biodiversity experiment. **Oecologia**, v. 158, n.1, p. 85-93, 2008.

FOLEY, J. A.; DEFRIES, R.; ASNER, G. P.; BARFORD, C.; BONAN, G.; CARPENTER, S. R.; CHAPIN, F. S.; COE, M. T.; DAILY, G. C.; GIBBS, H. K.; HELKOWSKI, J. H.; HOLLOWAY, T.; HOWARD, E. A.; KUCHARIK, C. J.; MONFREDA, C.; PATZ, J. A.; PRENTICE, I. C.; RAMANKUTTY, N.; SNYDER, P. K. Global consequences of land use. **Science**, v. 309, n. 5734, p. 570-574, 2005.

GUTMANIS, D. **Estoque de carbono e dinâmica ecofisiológica em sistemas silvipastoris**. 2004. 142 f. Tese (Doutorado em Biociências) - Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.

HATTENSWILER, S.; TIUNOV, A.V.; SCHEU, S. Biodiversity and litter decomposition in terrestrial ecosystems. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v. 36, p. 191-218, 2005.

HOOPER, D. U.; BIGNELL, D. E.; BROWN, V. K.; BRUSSAARD, L.; DANGERFIELD, J. M.; WALL, D. H.; WARDLE, D. A.; COLEMAN, D. C.; GILLER, K. E.; LAVELLE, P.; PUTTEN, W. H. V. D. ; RUITER, P. C. D.; RUSEK, J.; SILVER, W. L.; TIEDJE, J. M.; WOLTERS, V. Interactions between aboveground and belowground biodiversity in terrestrial ecosystems: patterns, mechanisms, and feedbacks. **Bioscience**, v. 50, n. 12, p. 1049-1060, 2000.

JACKSON, L. E.; PASCUAL, U.; HODGKIN, T. Utilizing and conserving agrobiodiversity in agricultural landscapes. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 121, p. 196-210, 2007.

JARDEVESKI, R.; PORFÍRIO-DA-SILVA, V. Minhocas em uma pastagem arborizada na Região Noroeste do Estado do Paraná, Brasil. **Boletim Pesquisa Florestal**, n. 51, p.17-31, 2005.

JASTROW, J. D.; AMONETTE, J. E.; BAILEY, V. L. Mechanisms controlling soil carbon turnover and their potential application for enhancing carbon sequestration. **Climatic Change**, v. 80, p. 5-23, 2007.

KASCHUK, G.; ALBERTON, O.; HUNGRIA, M. Three decades of soil microbial biomass studies in Brazilian ecosystems: lessons learned about soil quality and indications for improving sustainability. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 42, n. 1, p. 1-13, January, 2009.

KUMMER, L.; BARROS, Y. J.; SCHAFER, R. F.; FERREIRA, A. T. dos S.; FREITAS, M. P.; PAULA, R. A. de; DIONÍSIO, J. A. Respiração e biomassa microbiana em solos sob diferentes sistemas de uso. **Scientia Agraria**, v. 9, n. 4, p. 559-563, 2008.

LAAKSO, J.; SETALA, H. Sensitivity of primary production to changes in the architecture of belowground food webs. **Oikos**, v. 87, p. 57-64, 1999.

LOREAU, M.; NAEEM, S.; INCHAUSTI, P.; BENGTSSON, J.; GRIME, J. P.; HECTOR, A.; HOOPER, D.U.; HUSTON, M. A.; RAFFAELLI, D.; SCHMID, B.; TILMAN, D.; WARDLE, D.A. Biodiversity and ecosystem functioning: current knowledge and future challenges. **Science**, v. 294, p. 804-808, 2001.

MACEDO, M. C. M.; KICHEL, A. N.; ZIMMER, A. H. **Degradação e alternativas de recuperação e renovação de pastagens**. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2000. 4 p. (Embrapa Gado de Corte. Comunicado Técnico, 62).

MARTHA JÚNIOR, G. G.; CORSI, M. Pastagens no Brasil: situação atual e perspectivas. **Preços Agrícolas**, 2001. Disponível em: <<http://docs.google.com/viewer?a=v&q=cache:qbx576bdQHlJ:pa.esalq.usp.br/~pa/pa0101/geral0101.pdf+pastagens+degradadas+no+Brasil+%C3%A1rea+ocupada&hl=pt-BR&sig=AHIEtbTknfopQXy7lgJqxx7rLZqazfMrw>>. Acesso em: 22 dez 2009.

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.

MATSON, P. A.; PARTON, W. J.; POWER, A. G.; SWIFT, M. J. Agricultural intensification and ecosystem properties. **Science**, v. 277, p. 504-509, 1997.

MENEZES, R. S. C.; SALCEDO, I. H.; ELLIOTT, E. T. Microclimate and nutrient dynamics in a silvopastoral system of semiarid northeastern Brazil. **Agroforestry Systems**, v. 56, n. 1, p. 27-38, 2002.

MONTEIRO, M. T.; GAMA-RODRIGUES, E. F. Carbono, nitrogênio e atividade da biomassa microbiana em diferentes estruturas de serapilheira de uma floresta natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 5, p. 819-826, 2004 .

MOONEN, A. C.; BÀRBIERI, P. Functional biodiversity: an agroecosystem approach. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 127, p. 7-21, 2008.

NICODEMO, M. L. F.; PRIMAVESI, O. Sistemas agrofloretais – em busca de sistemas de produção sustentáveis. In: SEMANA DO ESTUDANTE, 18., 2007, São Carlos. **Anais...** São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2007. p.11.

NICODEMO, M. L. F.; VINHOLIS, M. M. B.; PRIMAVESI, O.; ARMANDO, M. S. **Conciliação entre produção agropecuária e integridade ambiental: o papel dos serviços ambientais**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2008. 71 p. (Documentos/ Embrapa Pecuária Sudeste, 82).

NOGUEIRA, M. A.; ALBINO, U. B.; BRANDÃO-JÚNIOR, O.; BRAUN, G.; CRUZ, M. F.; DIAS, B. A.; DUARTE, R. T. D.; GIOPPO, N. M. R.; MENNA, P.; ORLANDI, J. M.; RAIMAN, M. P.; RAMPAZO, L. G. L.; SANTOS, M. A.; SILVA, M. E. Z.; VIEIRA, F. P.; TOREZAN, J. M. D.; HUGRIA, M.; ANDRADE, G. Promising indicators for assessment of agroecosystems alteration among natural, reforested and agricultural land use in southern Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 115, p. 237-247, 2006.

PEREIRA, F. H.; MERCANTE, F. M.; PADOVAN, M. P. Biomassa microbiana do solo sob sistemas de manejo com diferentes coberturas vegetais. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 3, p. 130-133, 2008.

PEREZ, K. S. S.; RAMOS, M. L. G.; MCMANUS, C. Nitrogênio da biomassa microbiana em solo cultivado com soja, sob diferentes sistemas de manejo, nos Cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 2, p. 137-144, 2005.

PICCOLO, M. C.; FEIGL, B. J.; CERRI, C. C. **Avaliação da biomassa microbiana do solo** – revisão. Disponível em: <http://sbcs.solos.ufv.br/solos/artigos/971_06/971_06.doc>. Acesso em: 09 nov 2009.

POWELL, J. R. Linking soil organisms within food webs to ecosystem functioning and environmental change. **Advances in Agronomy**, v. 96, p. 307-350, 2007.

PORFIRIO-DA-SILVA, V. Sistema silvipastoril (grevílea + pastagem): uma proposição para o aumento da produção no arenito Caiuá. In: SEMINÁRIO SOBRE SISTEMAS AGROFLORESTAIS NA REGIÃO SUL DO BRASIL, 1., 1994, Colombo. **Anais...** Colombo: EMBRAPA-CNPQ, 1994. p.139-146. Disponível em: <http://www.cnpq.embrapa.br/pesquisa/safs/pg139_145.pdf>. Acesso em: 05 fev 2010.

PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais**. São Paulo: Nobel, 2002. 549 p.

RIGBY, D.; HOWLETT, D.; WOODHOUSE, P. **A review of indicators of agricultural and rural livelihood sustainability**. Manchester: Manchester University. Institute for Development Policy and Management, 2000. 29 p.

STALEY, J.T. Biodiversity: are microbial species threatened? **Current Opinion in Biotechnology**, v. 8, p. 340-345, 1997.

VARGAS, M. A. T.; HUNGRIA, M. **Biologia dos solos dos cerrados**. Planaltina: Embrapa-CPAC, 1997. 524 p.

WANDELLI, E. V.; FERNANDES, E. C. M; BONFIM, E.; MATOS, J. C. de S.; KOKAY, M.; PERIN, R.; LIMA, L.; SOUSA, S. G. A. de; OLIVEIRA FILHO, A. M. de; BARROS, E.; GALLARDO, J.; RODRIGUES, L. C.; SANTOS, M. J. dos. **Recuperação de áreas de pastagens abandonadas e degradadas através de sistemas agroflorestais na Amazônia Ocidental**. Disponível em: <http://www.livrosgratis.com.br/arquivos_livros/ci000034.pdf>. Acesso em: 09 nov 2009.

WILSON, J. R. Shade-stimulated growth and nitrogen uptake by pasture grasses in a subtropical environment. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 47, p. 1075-1093, 1996.