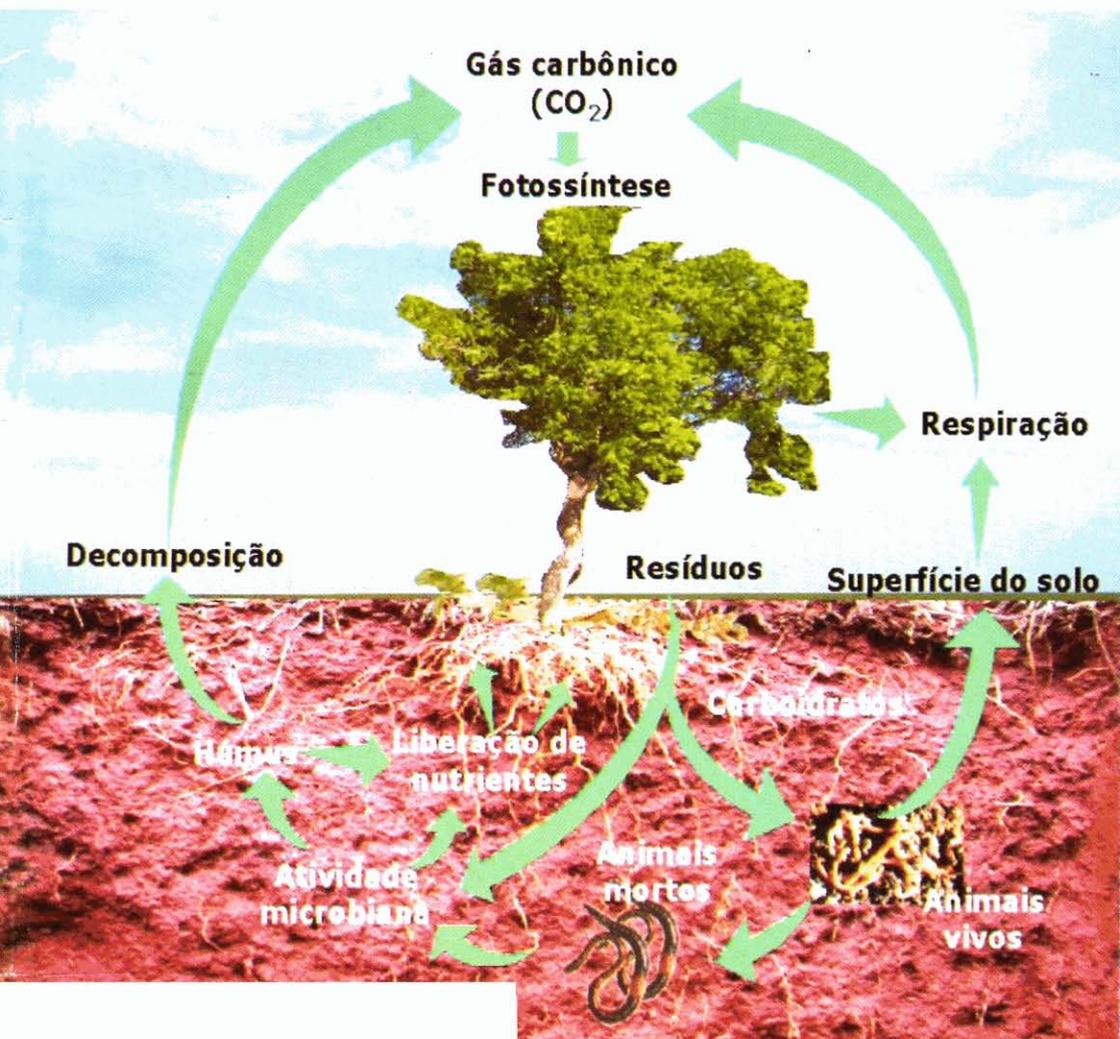


Matéria Orgânica do Solo



República Federativa do Brasil

Luiz Inácio Lula da Silva

Presidente

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

Roberto Rodrigues

Ministro

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Conselho de Administração

José Amauri Dimázio

Presidente

Clayton Campanhola

Vice-Presidente

Alexandre Kalil Pires

Ernesto Paterniani

Hélio Tollini

Luís Fernando Rigato Vasconcellos

Membros

Diretoria Executiva da Embrapa

Clayton Campanhola

Diretor-Presidente

Gustavo Kauark Chianca

Herbert Cavalcante de Lima

Mariza Marilena T. Luz Barbosa

Diretores-Executivos

Embrapa Meio-Norte

Valdemício Ferreira de Sousa

Chefe-Geral

Aderson Soares de Andrade Júnior

Chefe-Adjunto de Pesquisa e Desenvolvimento

Paulo Henrique Soares da Silva

Chefe-Adjunto de Comunicação e Negócios

Valdomiro Aurélio Barbosa de Souza

Chefe-Adjunto de Administração

Embrapa

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Centro de Pesquisa Agropecuária do Meio-Norte
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

ISSN 0104-866X

Novembro, 2004



Documentos 97

Matéria Orgânica do Solo

Luiz Fernando Carvalho Leite

Teresina, PI
2004

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Meio-Norte

Av. Duque de Caxias, 5650, Bairro Buenos Aires

Caixa Postal: 01

CEP: 64006-220

Teresina, PI

Fone: (86) 3225-1141

Fax: (86) 3225-1142

Home page: www.cpamn.embrapa.br

E-mail: sac@cpamn.embrapa.br

Comitê de Publicações

Presidente: Edson Alves Bastos

Secretária-executiva: Úrsula Maria Barros de Araújo

Membros: Aderson Soares de Andrade Júnior, Cristina Arzabe,
Maurisrael de Moura Rocha, Francisco José de Seixas Santos, José
Almeida Pereira e Maria do Perpétuo Socorro Cortez Bona do
Nascimento

Supervisor editorial: Lígia Maria Rolim Bandeira

Revisor de texto: Lígia Maria Rolim Bandeira

Normalização bibliográfica: Orlane da Silva Maia

Editoração eletrônica: Erlândio Santos de Resende

1ª edição

1ª impressão (2004): 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 Meio-Norte

Leite, Luiz Fernando Carvalho.

Matéria orgânica do solo / Luiz Fernando Carvalho Leite. - Teresina :
Embrapa Meio-Norte, 2004.

31p. ; 21 cm - (Embrapa Meio-Norte. Documentos ; 97).

1. Manejo do solo. 2. Matéria orgânica. 3. Carbono. 4. Plantio direto.
I. Embrapa Meio-Norte. II. Título. III. Série

CDD 631.51 (21. ed.)

© Embrapa, 2004

Autor

Luiz Fernando Carvalho Leite

Engenheiro Agrônomo, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, Embrapa Meio-Norte, Caixa Postal 01, CEP 64.006-220, Teresina, PI.

luizf@cpamn. embrapa.br

Apresentação

A matéria orgânica do solo tem sido pesquisada com maior intensidade nos últimos anos. Seu papel na melhoria das características físicas, químicas e biológicas do solo tem sido realçado por diversos pesquisadores, referenciando-a como o mais importante indicador de qualidade de solo.

O presente trabalho é uma valiosa contribuição para a otimização do conhecimento acerca da matéria orgânica do solo. A dinâmica, as funções e os compartimentos desse componente do solo são abordados didaticamente e numa linguagem atualizada. Há ainda apresentações de dados advindos de pesquisa com especial referência aos solos e sistemas de manejo adotados na Região do Meio-Norte e a inserção de linhas de pesquisa extremamente promissoras, como, por exemplo, a utilização de modelos de simulação.

Espera-se que este documento possa fornecer subsídios para definição de sistemas de produção sustentáveis que adotem o manejo adequado da matéria orgânica do solo, visando aumento da produtividade aliado à manutenção da qualidade ambiental.

Valdemício Ferreira de Sousa
Chefe-Geral da Embrapa Meio-Norte

Sumário

Matéria Orgânica do Solo	9
Introdução	9
Compartimentos da matéria orgânica do solo	10
Fatores que regulam a dinâmica de matéria orgânica no solo	14
A modificação do ambiente solo	16
Manipulação da quantidade e qualidade dos aportes orgânicos	21
Manipulação da fauna do solo (agentes de decomposição) via preparo, cobertura morta ou uso de pesticidas	24
Modelagem da dinâmica da matéria orgânica do solo	25
Considerações finais	27
Referências Bibliográficas	28

Matéria Orgânica do Solo

Luiz Fernando Carvalho Leite

Introdução

Em ecossistemas terrestres, a matéria orgânica do solo (MOS) é importante reservatório de carbono, nutrientes e energia. Sem a presença da matéria orgânica, a superfície terrestre seria uma mistura estéril de minerais intemperizados. Além disso, não há dúvidas quanto à sua essencialidade na fertilidade, produtividade e sustentabilidade das áreas agrícolas ou não-agrícolas.

A matéria orgânica é um componente importante do solo, afetando diversos processos físicos, químicos e biológicos e, por meio desses, desempenhando importantes funções. Um efeito direto da atividade biológica, por exemplo, está associado à macroestrutura do solo, por meio da formação de poros do solo, como consequência da atividade da fauna e crescimento de raízes e fungos. Por outro lado, efeitos menos diretos são relacionados às mudanças em compostos orgânicos resultantes de processos como decomposição e concomitante mineralização e imobilização de nutrientes.

A importância relativa dessas funções varia com o tipo de solo, clima e sistemas de manejo. Em muitas situações, a função mais importante da MOS é atuar mesmo como reserva de nutrientes requeridos pelas plantas e em última análise pela população humana. No entanto, ainda atua no suprimento de nutrientes por meio da sua influência na capacidade de troca de cátions e na capacidade de absorver ânions; e essas funções têm implicações importantes para o impacto de íons tóxicos e agroquímicos biocidas.

O papel da matéria orgânica é também relevante na formação de agregados estáveis influenciando diretamente a estrutura do solo e, portanto, a infiltração de água, capacidade de retenção de água, aeração e resistência ao crescimento de raízes. Em situações em que a umidade do solo é o principal limitante para o crescimento das plantas, os maiores impactos da matéria orgânica são sobre os componentes físicos do solo.

Ultimamente, tem sido reconhecido que outro papel importante da MOS é funcionar como componente central do balanço global do carbono, sendo um compartimento de carbono muito maior do que àqueles observados na atmosfera e na biota, embora menor do que nos combustíveis fósseis e nos oceanos. O manejo da MOS pode ter implicações significativas no balanço global do C e, por isso, no impacto do aumento da concentração de CO₂ atmosférico sobre as mudanças climáticas.

Compartimentos da matéria orgânica do solo

Definir a qualidade, disponibilidade e atividade dos nutrientes nos substratos orgânicos em diferentes compartimentos do solo é a chave para entender e descrever os processos de mineralização-imobilização dos nutrientes na forma orgânica. Independente da forma orgânica do nutriente, a matéria orgânica dos diferentes tipos de solos difere muito quanto à qualidade e habilidade de suprir nutrientes para as plantas. Assim, a tentativa de compartimentalizar a MOS pode ser um bom instrumento para se compreender o seu potencial de fornecimento de nutrientes. Com base em vários trabalhos, Duxbury et al. (1989) sugeriram a organização da MOS em compartimentos protegidos e não-protégidos e Eswaran et al. (1995), em ativo, lento e passivo (Tabela 1).

Os compartimentos não-protégidos BIO e LAB, ou ativo, se caracterizam pela biomassa microbiana e pelos resíduos vegetais e microbianos parcialmente decompostos e seus respectivos produtos de transformação. O tamanho desses compartimentos está diretamente relacionado com o aporte de material orgânico e sua taxa de decomposição. O compartimento BIO pode representar até 4 % do carbono orgânico total do solo (COT) e é o de menor tempo de ciclagem da MOS sendo composto por células vegetativas em plena atividade funcional, o que o torna um importante reservatório de nutrientes potencialmente disponíveis para as plantas. Portanto, é esperado que a ciclagem dos nutrientes nos compartimentos não-protégidos (BIO e LAB) seja alta, fazendo com que os tamanhos desses compartimentos de carbono e de nutrientes sejam menores em regiões tropicais do que em regiões temperadas.

Tabela 1. Compartimentos da matéria orgânica do solo, generalizando a taxa de ciclagem e hipótese dos controles primários do tamanho dos compartimentos⁽¹⁾.

Compartimentos	Tempo de ciclagem	Controle do tamanho dos compartimentos
Não-protégido		
BIO (biomassa microbiana)	2,5 anos em clima temperado e 0,25 ano em clima tropical úmido	Disponibilidade de substrato (CA)
LAB (lábil)	20 anos em clima temperado e 5 anos em clima tropical úmido	Clima e disponibilidade de substrato (CA) (CL)
Protégido		
Matéria orgânica quimicamente protegida (proteção coloidal)	1.000 anos	Mineralogia e textura do solo (CL) (CP)
Matéria orgânica fisicamente protegida (proteção estrutural)	Dependente do manejo do solo (resistência física)	Sistemas de preparo do solo, quebra de agregados, textura do solo (CP)

⁽¹⁾CA = Compartimento ativo – macroagregados; CL = Compartimento lento – microagregados dentro de macroagregados; CP = Compartimento passivo – intra microagregados.

Fonte: Duxbury et al. (1989) e Eswaran et al. (1995), adaptado pelo autor.

Os tamanhos dos compartimentos físico e quimicamente protegidos, ou passivo, estão relacionados com o manejo, textura e mineralogia do solo (Tabela 1). A maior parte da matéria orgânica e dos nutrientes do solo está nesses compartimentos. O tempo de ciclagem dos nutrientes é controlado pelo grau de proteção, intra e inter-microagregados e pelo grau de interação do nutriente com a matéria orgânica. Os nutrientes que interagem com a matéria orgânica por meio de ligações eletrostáticas estarão prontamente disponíveis para serem absorvidos pelas plantas, enquanto nutrientes formando quelatos com a matéria orgânica quimicamente protegida terão um tempo de ciclagem maior. O tempo de ciclagem varia muito de situação de manejo e de como o nutriente pode interagir com a matéria orgânica.

As quantidades de nutrientes armazenados na fração não-protetida da MOS (compartimentos BIO e LAB) podem atingir valores bastante elevados, como 100 kg ha⁻¹ de N, 80 kg ha⁻¹ de P, 70 kg ha⁻¹ de K e 11 kg ha⁻¹ de Ca. Como a reciclagem da matéria orgânica desses compartimentos é cerca de dez vezes mais rápida que a da matéria orgânica morta do solo, grande parte dos nutrientes armazenados é liberada durante essa reciclagem, realçando a importância desses compartimentos para melhoria da qualidade do solo.

Os compartimentos da MOS devem ser quantificados por se mostrarem muito sensíveis às ações antrópicas e mudanças no manejo o que os credenciam como eficientes indicadores de qualidade do solo. Por isso, além dos teores ou dos estoques do COT, já determinados nas análises químicas de rotina, tem sido recomendado, nos últimos anos, a determinação desses compartimentos. Essa maior sensibilidade possibilita, de forma mais antecipada do que se utilizando apenas a medida do COT, a tomada de decisões em relação aos agroecossistemas mais adequados a determinado ambiente. No entanto, apesar da importância desses compartimentos para o estudo da dinâmica da MOS, são ainda escassos os métodos analíticos usados para referenciá-los. De forma geral, o C da biomassa microbiana, determinado pelo método irradiação-extração (Islam & Weil, 1998) e representando o compartimento ativo e o C da fração leve ou da matéria orgânica particulada, determinados por fracionamento densimétrico ou granulométrico (Cambardella & Elliott, 1992; Janzen et al., 1992; Roscoe & Machado, 2002) e relacionados ao compartimento lento, têm sido usados para estudos de dinâmica da MOS em solos tropicais (Leite et al., 2003a). Apesar da dificuldade na escolha de métodos para os compartimentos lábeis ou ativo, a maior dificuldade está em referenciar o compartimento passivo, caracterizado pela maior estabilidade, por causa da proteção física e da presença de compostos

quimicamente recalcitrantes. Neste sentido, em alguns trabalhos, tem-se sugerido a determinação do C das frações húmicas (ácidos húmicos + ácidos fúlvicos + huminas) obtido pelo método proposto por Swift (1996) para ser associado a este compartimento (Leite et al., 2003a).

A biomassa microbiana representa o componente vivo da MOS, excluindo-se animais e raízes das plantas. Embora normalmente constitua cerca de menos de 5 % da MOS, desempenha importantes funções no solo, como, por exemplo, servir como fonte e dreno de nutrientes, participar ativamente das transformações de C, N, P e S, atuar na degradação de compostos orgânicos xenobióticos e imobilização de metais pesados, além de participar da formação e estrutura do solo. Considerado por diversos autores como excelente indicador de qualidade do solo, o C da biomassa microbiana tem apresentado, entretanto, resultados muito variáveis e até contraditórios em diversos estudos (Gil-Stores et al., 2005).

A fração leve também tem sido muito referenciada como importante indicador de qualidade do solo. Essa fração é um intermediário entre os resíduos vegetais recém- incorporados ao solo e o húmus estabilizado. A quantidade e labilidade da fração leve variam intensamente entre solos tropicais e temperados, dependendo de vários fatores, tais como, o pH, temperatura, umidade, aeração, mineralogia do solo e estado de nutrientes do solo. As variações na fração leve no solo são indicativos das conseqüências sobre a dinâmica da MOS causadas pelas mudanças no manejo. A composição química da fração leve no solo é similar àquela dos tecidos vegetais. A variabilidade dos estoques de C e N medidos na fração leve tem sido associada a relação C:N do material vegetal originário, ao estoque de C no solo, ao pH e às condições climáticas. Além de indicador de qualidade do solo, a fração leve é fonte de C lábil, i.e., cicla rapidamente e por isso, contribui para ciclagem de nutrientes, pois é fonte de energia prontamente disponível para os microrganismos responsáveis por essa ciclagem.

Além da biomassa microbiana e da fração leve, há outros constituintes lábeis que poderiam referenciar compartimentos de MOS. As substâncias não húmicas compreendem diversos compostos quimicamente definidos, tais como, lignina, ceras, pectinas, além de vários polissacarídeos. Esses compostos são relacionados ao compartimento lábil da MOS, pelo menos em solos em que os processos biológicos não são restritos. Em geral, a labilidade das substâncias não húmicas nos solos é inversamente relacionada ao tamanho e complexidade

das moléculas que as formam. A maioria desses compostos pode persistir por vários anos, especialmente em solos com baixa atividade biológica, devido essencialmente às suas estruturas poliméricas recalcitrantes, i.e. de difícil decomposição ou a estabilização química por meio de interações com minerais ou outras substâncias, tais como, complexos proteínas-taninos.

Os compartimentos lábeis de MOS são extremamente importantes com fonte e dreno de nutrientes às plantas, especialmente em solos tropicais altamente intemperizados, como os Latossolos existentes em áreas de cerrados. Embora existam poucas informações disponíveis sobre os processos de mineralização e conseqüente liberação e ciclagem de nutrientes desses compartimentos em solos tropicais, esses processos são controlados por aspectos químicos, como em solos temperados. Entretanto, o tamanho do compartimento lábil é aparentemente menor e tem ciclagem mais rápida, com liberação mais rápida de nutrientes em regiões tropicais úmidas do que naquelas temperadas. Por outro lado, os compartimentos de MOS quimicamente protegidos são provavelmente maiores. O preparo intensivo do solo, entretanto, resulta na remoção parcial da proteção da MOS e uma rápida liberação de nutrientes em áreas tropicais úmidas.

Fatores que regulam a dinâmica da matéria orgânica no solo

Os estoques de MOS são controlados pelo balanço entre as entradas, acima e abaixo do solo e as saídas por meio da mineralização. Em uma situação de equilíbrio, como por exemplo, em uma floresta nativa, essas entradas são equivalentes a produtividade primária líquida (PPL) de um sistema, a qual é fortemente controlada pelo clima, com alguma influência do estado de fertilidade do solo, textura do solo e vegetação. Os resíduos vegetais recém-depositados sobre o solo são gradativamente modificados por meio da fragmentação física, interações fauna/microflora, mineralização e formação de húmus.

De forma geral, a mudança da floresta nativa para sistemas agrícolas propicia um declínio nos estoques de MOS. Essa redução pode ser atribuída ao aumento da erosão do solo, processos mais acelerados de mineralização da matéria orgânica e oxidação de C orgânico do solo, quantidades menores de aportes orgânicos e, ou, aportes orgânicos mais facilmente decompostos, em sistemas manejados comparativamente às florestas nativas. No entanto, em alguns sistemas manejados, o aumento nos estoques de MOS pode ocorrer, em face da maximização da produtividade das culturas e conseqüente aumento nos aportes

da parte aérea e do sistema radicular ao solo. Batjes (1999) relata que após um distúrbio, como por exemplo, o desmatamento de uma floresta nativa, um período de manejo constante é requerido para se alcançar um novo estado de equilíbrio nos estoques de C. Esse novo equilíbrio pode tornar os estoques de MOS menores, similares ou maiores do que àqueles no solo em condições originais (Fig. 1). Apesar dessas possibilidades, os estoques de MOS em solos cultivados são, via de regra, menores do que em solos sob florestas, ao menos que sistemas de manejo conservacionistas com alto aporte de resíduos sejam adotados.

A fração de C perdida, com esses distúrbios, está diretamente associada à quantidade inicialmente presente em solos não perturbados. Esse decréscimo é maior em áreas com monoculturas de baixa produtividade e com limitado retorno de resíduos culturais ao solo. Sob essas condições, o declínio ocorre por diversos processos, tais como, a remoção da camada superficial (topsoil), a ruptura de agregados, o aumento na oxidação da matéria orgânica e a maior acessibilidade dessa matéria orgânica aos microrganismos decompositores. Esses processos não apenas reduzem os estoques totais de MOS, mas também alteram as frações ou compartimentos presentes, reduzindo a disponibilidade de nutrientes e afetando negativamente as propriedades físicas do solo.

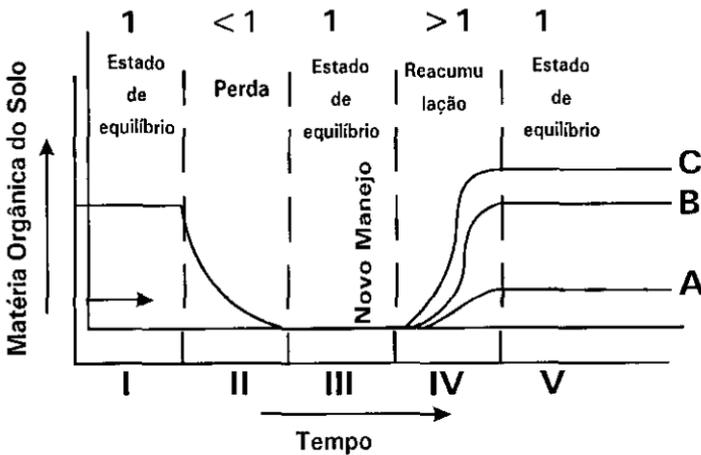


Fig. 1. Dinâmica da matéria orgânica do solo após distúrbio – A: estabilização abaixo do nível original; B: estabilização no nível original; C: estabilização acima do nível original.

Fonte: Batjes (1999), adaptado pelo autor.

As reduções nos estoques de C geralmente diminuem sensivelmente após os 10 primeiros centímetros de solo, embora em alguns estudos tenham sido reportados decréscimos até 100 cm de profundidade (Batjes, 1999). Em média, a perda de carbono (até um metro de profundidade), após a mudança da floresta nativa para agricultura sob monocultivos está, na maioria dos solos, em torno de 40% a 50%, de floresta para pastagem de 20% a 30% e de floresta para culturas consorciadas de 35% (Schlesinger, 1986). Nos solos sob pastagens e sob florestas, há uma tendência de perda nos estoques originais de C de 20% a 50% nos primeiros 50 anos de cultivo (Lal, 1998). Esse decréscimo nos estoques de C pode ser atribuído ao reduzido aporte de C, quando a produtividade vegetal diminui ou maior quantidade de resíduos são removidos e ao aumento das taxas de decomposição.

As principais formas nas quais se pode aumentar os estoques de MOS e seqüestrar C são: a) modificação do ambiente solo, pelo preparo, irrigação, fertilização, influenciando os processos biológicos de decomposição e mineralização; b) manipulação da quantidade e qualidade de aportes orgânicos, por meio da modificação do tempo e da localização desses aportes orgânicos, como forma de influenciar a sincronia entre a liberação de nutrientes a partir da MOS e a demanda da planta; c) manipulação da fauna do solo (agentes de decomposição) via preparo, cobertura morta ou uso de pesticidas.

A modificação do ambiente solo

A modificação do ambiente solo está calcada no uso de cobertura morta e na adoção de sistemas de preparo conservacionistas, tais como o plantio direto. Em sistemas de preparo convencional, baseados no revolvimento intensivo do solo, por meio de operações sucessivas de aração e gradagem, os resíduos vegetais são incorporados ao solo, distribuindo-se até a profundidade de atuação do implemento. Concomitantemente, a aeração e a temperatura, maiores nestes sistemas, e a destruição de agregados pela ação dos implementos, expõe a matéria orgânica protegida fisicamente ao ataque microbiano, promovendo a perda de COT e a diminuição da capacidade do solo em reservar carbono. Por outro lado, no sistema plantio direto (SPD), a maior quantidade de resíduos culturais na superfície do solo o protegerá contra as forças erosivas do vento, da água e do escoamento superficial. Além disso, a menor intensidade de perturbação e o aumento gradativo no aporte desses resíduos na superfície do

solo preservam os estoques de MOS intra-agregados, seqüestrando C, e influenciam no aumento da população de térmitas, provocando impacto favorável sobre a estrutura do solo e aeração. Ainda, como a atividade biológica e as reservas de C orgânico são concentradas próximo da superfície do solo, no sistema plantio direto, há maior potencial de imobilização de N disponível às plantas nas formas orgânicas.

Nos trabalhos de Leite et al. (2003a) foi observado, após quinze anos de adoção de diferentes sistemas de preparo, em um Latossolo Vermelho-Amarelo, em Viçosa-MG, aumento dos estoques totais de C e N no SPD em relação aos sistemas convencionais (arado de disco, grade pesada, arado de disco + grade pesada) embora, esse aumento tenha sido restrito à camada superficial (0-10 cm) (Tabela 2). Resultados similares foram observados em experimento com seis anos de existência, em Baixa Grande do Ribeiro, na região de cerrados do estado do Piauí, também sob Latossolo Vermelho-Amarelo, com a superioridade do SPD sendo constatada nas camadas 5-10, 10-20 e 20-40 cm, tanto em relação ao preparo convencional (grade pesada + grade niveladora) quanto à floresta nativa de cerrados (Tabela 3), (Lopes et al., 2005). Por outro lado, em Latossolo Amarelo, no Município de Chapadinha, cerrados maranhenses, Leite et al. (2004) não verificaram, após três anos de adoção do SPD, diferenças nos estoques de COT nas camadas de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, em relação aos sistemas semi-convencionais (escarificação) (Tabela 4).

O período necessário para o SPD aumentar os estoques de MOS e atuar no seqüestro de C em solos é variável, dependendo de muitos fatores, tais como, clima, textura e mineralogia do solo, embora, alguns autores estimem este período em aproximadamente 25 a 30 anos (Follet & McConkey, 2000; Follet, 2001).

Tabela 2. Teores e estoques totais de carbono orgânico (COT) e nitrogênio (NT) e relação C/N de um Argissolo Vermelho-Amarelo, nas camadas 0-10, 10-20 e 0-20 cm, 15 anos após início da utilização dos diferentes sistemas de preparo em Viçosa-MG (Leite et al., 2003a)⁽¹⁾

Sistema ⁽²⁾	dag kg ⁻¹			Mg ha ⁻¹	
	COT	NT	C/N	COT	NT
0-10 cm					
PD	1,67a	0,134a	12,5	22,0a	1,74a
AD	1,38b	0,107bc	12,9	16,7b	1,29bc
GPAD	1,29b	0,103c	12,5	15,48b	1,23c
GP	1,43b	0,113b	12,6	17,16b	1,36b
FA	3,50	0,259	13,5	35,0	2,59
10-20 cm					
PD	1,25ab	0,103a	12,1	16,75a	1,38a
AD	1,18ab	0,098a	12,0	14,51ab	1,20b
GPAD	1,27a	0,102a	12,4	15,62ab	1,25ab
GP	1,09b	0,100a	10,9	13,95b	1,28ab
FA	2,16	0,174	12,4	27,21	2,19
0-20 cm					
PD	1,46a	0,118a	12,4	38,54a	3,11a
AD	1,28b	0,102b	12,5	31,23b	2,49b
GPAD	1,28b	0,102b	12,5	30,97b	2,49b
GP	1,26b	0,107b	11,8	31,24b	2,64b
FA	2,83	0,216	13,1	63,95	4,88

⁽¹⁾Médias seguidas de letras iguais na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

⁽²⁾PD: plantio direto, AD: arado de disco, GPAD: grade pesada + arado de disco, GP: grade pesada, FA: Floresta Atlântica

A adoção do SPD, apesar das inúmeras vantagens propiciadas à qualidade do solo, nem sempre é suficiente para aumentar os estoques de MOS. Por isso, é necessário a utilização, de forma associada, de outras práticas de manejo, como por exemplo, a introdução de sistemas de culturas de cobertura com elevado aporte de resíduos. O incremento de fitomassa das culturas comerciais, somado a fitomassa de plantas de cobertura, representaria grande contribuição na adição de resíduos vegetais ao solo e, portanto, eficiente alternativa para seqüestrar C no solo. Alguns trabalhos reforçam esta assertiva, e enfatizam que o impacto de sistemas de preparo conservacionistas será significativo apenas se forem associados a sistemas de rotação de cultura intensivo que permitam maiores aportes de C (Batjes, 1999; Lal., 2003), causando sinergismo que aumentaria a retenção do C do solo. Além disso, a utilização de resíduos orgânicos com baixa relação C:N, combinada a maior diversidade temporal na seqüência dos cultivos também devem ser aspectos considerados.

Tabela 3. Estoques totais de carbono orgânico (COT) e nitrogênio (NT) de um Latossolo Vermelho-Amarelo, nas camadas de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, sob diferentes sistemas de preparo em Baixa Grande do Ribeiro-PI.

Camada cm	Sistema ⁽²⁾	Teores		Estoques	
		COT dag	NT Kg ⁻¹	COT Mg ha ⁻¹	NT
0-5	FC	2,05a	0,17a	12,83 a	1,10 a
	PD	2,19a	0,20a	13,38 a	1,24 a
	PC	1,74a	0,15a	11,35 a	0,98 a
5-10	FC	1,47b	0,12b	9,90 b	0,85 b
	PD	3,02a	0,26a	18,43 a	1,59 a
	PC	1,06b	0,09b	8,91 b	0,80 b
10-20	FC	1,32b	0,11b	9,29 b	0,80 b
	PD	2,06a	0,17a	15,35 a	1,32 a
	PC	1,08b	0,09b	9,15 b	0,83 b
20-40	FC	0,97b	0,08b	7,00 b	0,60 b
	PD	1,33a	0,12a	9,24 a	0,80 a
	PC	0,64b	0,06b	5,24 b	0,45 b

⁽¹⁾Médias seguidas de letras iguais na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

⁽²⁾FC: floresta nativa de cerrado; PD: plantio direto; PC: preparo convencional (grade pesada+grade niveladora).

Fonte: Lopes et al. (2005).

Tabela 4. Estoques totais de carbono orgânico (COT) e teores de fósforo (P) e potássio (K) em um Latossolo Amarelo cultivado com soja, nas camadas de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, sob diferentes sistemas de preparo, em Chapadinha-MA⁽¹⁾.

Sistema ⁽²⁾	Nutrientes		
	COT Mg ha ⁻¹	P mg dm ⁻³	K mg dm ⁻³
0-5 cm			
PD	7,26a	33,88a	21,40a
E30	7,00a	22,45b	19,50a
E40	6,95a	40,50a	20,47a
PC	5,52b	12,00c	31,20a
FC	6,91	2,06	17,55
5-10 cm			
PD	6,81a	32,94a	16,57a
E30	6,77a	18,76b	16,50a
E40	6,63a	36,32a	19,5a
PC	6,20b	13,71c	18,5a
FC	5,38	1,40	13,65
10-20 cm			
PD	6,80a	15,59a	16,5a
E30	6,60a	14,90a	12,67a
E40	6,58a	18,08a	18,5a
PC	6,50a	7,60b	17,5a
FC	4,78	0,91	9,75
20-40 cm			
PD	6,28a	2,37b	14,62a
E30	6,41a	1,64b	12,65a
E40	6,17a	6,77a	16,42a
PC	6,46a	3,62b	18,5a
FC	3,90	0,90	7,8

⁽¹⁾Médias seguidas de letras iguais na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

⁽²⁾PD: Plantio direto; E30: Escarificação a 30 cm; E40: Escarificação a 40 cm; PC; Plantio Convencional; FC: floresta nativa de cerrado.

Fonte: Leite et al. (2004).

Além dos sistemas de preparo conservacionistas, melhorar o estado de N, P e S e a fertilidade do solo, de forma geral, pode resultar em melhoramento concomitante nos estoques de MOS. Para seqüestrar 10.000 kg de C na forma de húmus, cerca de 833 kg de N, 200 kg de P e 143 kg de S são necessários (Himes, 1998), o que realça a importância do manejo adequado da fertilidade do solo no seqüestro de C.

As mudanças ou os aumentos nos estoques de N são dependentes do manejo da fertilização nitrogenada e do estreitamento da relação C:N, indicando a manutenção preferencial de N em relação ao C, enquanto que, o aumento no estoque de P é devido à fertilização. Em regiões tropicais, na maioria dos sistemas agrícolas, a concentração de P no solo é insuficiente para o crescimento das culturas e, portanto deve ser fornecido por meio de aportes externos.

Em diversos trabalhos tem sido observado a importância do suprimento de N, P, K e S por meio da adição de fertilizantes, aplicação de rochas fosfáticas, culturas de cobertura, especialmente leguminosas ou adubação orgânica, no aumento dos aportes de C e conseqüente manutenção dos níveis de C do solo (Leite et al., 2003b). Neste sentido, sistemas agrícolas sustentáveis que contribuam diretamente para aumento da produção agrícola e para preservação de recursos naturais devem ser desenvolvidos, juntamente com políticas sociais e econômicas viáveis para determinada região. Estes sistemas podem ser caracterizados pelas seguintes estratégias: a) incorporação de P nos sistemas agrícolas por meio de culturas anuais e perenes; b) minimização de perdas de P; c) reciclagem de P nos sistemas agrícolas e entre os setores de produção e consumo; d) Aumento do uso de fertilizante fosfatado e de outros fertilizantes. Além da fertilização química, a aplicação regular de aportes orgânicos pode propiciar mudanças substanciais no C orgânico total em médio e longo prazos.

Manipulação da quantidade e qualidade dos aportes orgânicos

O manejo de resíduos culturais, especialmente por meio da quantidade e qualidade da biomassa aplicada ao solo tem provocado impactos significantes sobre a qualidade do solo, produtividade das culturas e emissões líquidas de gases de efeito estufa para a atmosfera. O aumento dos estoques de COT, por meio da aplicação desses resíduos depende, além da quantidade e da qualidade do material incorporado ao solo, das propriedades do solo, das condições

climáticas e do manejo do solo. Por exemplo, há variações na dinâmica do C derivado de resíduos de milho e soja, com diferenças observadas no tamanho e na estabilidade dos agregados do solo, na suscetibilidade à erosão e em outras características físicas do solo (Batjes et al., 1999). Lal (1997) apresentou uma estimativa de produção de resíduos para as principais culturas e considerou, em média, um aporte de 3,4 Pg por ano ($1\text{Pg} = 10^{16}\text{ g}$). Assumindo-se que o teor médio de C dos resíduos é de 45 %, °C total assimilado nos resíduos culturais é em torno de $1,5\text{ Pg C ano}^{-1}$. Considerando-se que 15 % de C assimilado no resíduo pode ser convertido nas frações húmicas, isso pode propiciar o seqüestro de C na taxa de $0,2\text{ Pg C ano}^{-1}$.

A importância das características químicas para determinar a qualidade do aporte orgânico e a disponibilidade de nutrientes é realçada em diversos trabalhos (Palm et al., 2001). Os percentuais de nitrogênio (N), lignina e polifenóis, e as relações C:N, lignina:N e polifenóis:N são os principais determinantes da composição química (Manfogoya et al., 1997). Quando a relação lignina/N ou polifenóis/N do material vegetal aumenta, a taxa de decomposição do material diminui e a disponibilidade de N em curto prazo pode diminuir. Quanto ao uso de aportes orgânicos para aumentar os estoques de C orgânico do solo sob condições tropicais, são necessárias quantidades elevadas de adições anuais (Snapp et al., 1998). Aproximadamente $7\text{ Mg ha}^{-1}\text{ ano}^{-1}$ de resíduos com alta relação C:N (raízes, galhos) ou $10\text{ t ha}^{-1}\text{ ano}^{-1}$ de resíduos com baixa relação C:N (folhas de adubos verdes) são requeridos para manter o teor de C orgânico no solo em $1,0\text{ dag kg}^{-1}$ (Janssen, 1993).

Por isso, o uso combinado de fertilizantes químicos e materiais orgânicos têm sido recomendado como importante sistema de manejo alternativo, possibilitando a manutenção de alta produtividade, com estabilidade, principalmente quando o material orgânico aplicado apresenta alta relação C:N, e altos conteúdos de lignina e polifenóis, e para regiões onde a recomendação de uso de fertilizante é disponibilizada. Em um experimento de longa duração (16 anos), sob Argissolo Vermelho-Amarelo, com cultivos de milho exclusivo e consorciado com feijão e fertilização química e orgânica (palhada de soja e feijão + esterco bovino), Leite et al. (2003b) observaram que os estoques totais de C e N foram maiores nos tratamentos com as duas adubações em comparação com aqueles com apenas uma fonte ou mesmo sem adubação (testemunha) (Tabela 5).

AI/SEDE

Tabela 5. Estoques totais de carbono orgânico (COT) e nitrogênio (NT) nas profundidades de 0-10 cm, 10-20 cm e 0-20 cm, de um Argissolo Vermelho-Amarelo, em função das adubações mineral e orgânica e em Floresta Atlântica.

Adubo mineral	Adubo orgânico		Média	Adubo orgânico		Média ⁽¹⁾
	0	AO		0	AO	
	COT (Mg ha ⁻¹)			NT (Mg ha ⁻¹)		
0-10 cm						
FA	35,00 ± 5,29			2,59 ± 0,41		
0	18,87 b ⁽¹⁾	23,35 a	21,10	1,54 b	1,98 a	1,76
AM1	21,65 b	26,50 a	24,07	1,64 b	2,11 a	1,87
AM2	20,61 b	25,91 a	23,26	1,56 b	2,09 a	1,82
10-20 cm						
FA	27,21 ± 2,00			2,19 ± 0,16		
0	18,04 b ⁽¹⁾	22,72 a	20,38	1,53 b	1,86 a	1,69
AM1	18,12 b	24,81 a	21,46	1,56 b	2,02 a	1,79
AM2	19,38 b	24,14 a	21,76	1,44 b	1,95 a	1,69
0-20 cm						
FA	63,95 ± 5,49			4,88 ± 0,51		
0	36,92 b ⁽¹⁾	48,06 a	42,49	3,07 b	3,84 a	3,45
AM1	39,71 b	51,30 a	45,50	3,20 b	4,13 a	3,66
AM2	39,98 b	50,05 a	45,01	3,01 b	4,04 a	3,52

⁽¹⁾Médias seguidas de mesma letra minúscula, na linha, não diferem entre si ao nível de 5 % (teste F). FA: Floresta Atlântica; : testemunha; AM1: 250 kg ha⁻¹ de 4-14-8 + 20 kg N ha⁻¹ em cobertura; AM2: 500 kg ha⁻¹ de 4-14-8 + 40 kg N ha⁻¹ em cobertura; AO: 40 m³ ha⁻¹.

Fonte: Leite et al. (2003b).

Na escolha do aporte orgânico, as leguminosas, via de regra, têm sido escolhidas, comparativamente àquelas espécies não-leguminosas, especialmente quando o aumento da disponibilidade de nutrientes é o principal objetivo. Isso é decorrente das espécies leguminosas geralmente possuírem maiores teores de N e menores de C do que espécies não-leguminosas e por isso, promoverem mineralização mais rápida de N quando aplicado ao solo. Os diversos benefícios obtidos pela cultura principal promovidos pelos resíduos de leguminosas ou

adubos verdes, tanto da parte aérea quanto das raízes, são largamente reportados na literatura (Kumar et al., 2003; Chaves et al., 2004; Biederbeck et al., 2005). Embora, o aporte de C por meio da parte aérea das plantas seja considerado como a mais importante fonte, há alguns estudos que relatam uma significativa transferência de C via rizosfera e isso é muito importante na formação da MOS (Lal, 2003).

A liberação de nutrientes, a partir de aportes orgânicos, para coincidir com a demanda de crescimento das plantas é outro fator essencial no manejo adequado da MOS, podendo ser afetada por vários fatores, incluindo-se o tempo de aplicação, a qualidade e quantidade desses aportes e o método de aplicação. Além disso, os diferentes padrões de absorção de nutrientes e desenvolvimento de raízes entre as culturas são aspectos importantes na seleção de práticas de manejo que objetivem aumentar a disponibilidade de nutrientes advindas dessas fontes.

Os efeitos em longo prazo dos aportes orgânicos sobre a produtividade do solo são componentes essenciais das estratégias de manejo sustentáveis para agroecossistemas. Os efeitos residuais desses aportes podem ser resultado dos compostos orgânicos físico e quimicamente estabilizados e podem constituir compartimentos recalcitrantes da MOS, os quais podem atuar como importantes reservatórios de C.

Manipulação da fauna do solo (agentes de decomposição) via preparo, cobertura morta ou uso de pesticidas

Os organismos do solo têm evoluído com três principais limitações: (1) mover-se em ambientes densos e compactados; (2) alimentar-se de recursos de baixa qualidade; (3) tolerar espaços porosos secos ou encharcados. A decomposição dos resíduos orgânicos é proximamente associada às atividades microbianas. Embora a comunidade microbiana seja numerosa e diversa, suas atividades são limitadas por microstítios devido muitas vezes a incapacidade de se mover em solos compactados. Eles dependem das raízes e da fauna do solo para ter acesso a novos substratos. Embora existam muitos tipos de invertebrados de solo (micro, meso e macrofauna) são as minhocas e os cupins do grupo da macrofauna que são mais prontamente acessíveis e potencialmente manejáveis no ambiente solo. Esses macrorganismos não somente ingerem grandes quantidades de liteira e solo, como também se movem ativamente no solo, desempenhando por isso um papel regulatório na dinâmica da MOS. A passagem de solo e de MOS através do

aparelho digestivo das minhocas e dos cupins aumenta fortemente a mineralização da MOS. Em poucas horas, a digestão desses macrorganismos pode resultar na fragmentação de resíduos orgânicos e conseqüente liberação de quantidades significativas de nitrogênio mineral e fósforo. Em médio e longo prazos, o efeito contínuo desse processo propicia significativa melhora da estrutura do solo.

Em ambientes com condições adequadas para suas atividades, a macrofauna, especialmente as minhocas e os cupins, tornam-se importantes reguladores da atividade microbiana. Esses macrorganismos, entretanto, são muito sensíveis à perturbação do solo e uso de herbicidas. Em alguns estudos têm sido relatado um declínio drástico na biomassa da macrofauna do solo em sistemas com monocultivos com alto aporte de insumos externos comparativamente a sistemas agroflorestais (Fernandes et al., 1997). Solos em processo de degradação tendem a apresentar baixa população de fauna do solo e uma significativa correlação existe entre o aumento na produtividade vegetal e a biomassa de cupins (Lavelle et al., 1992). Nesse sentido, práticas de manejo, tais como, o plantio direto e aporte de resíduos permanente ao solo, devem promover o desenvolvimento de uma fauna de solo ativa e diversa contribuindo diretamente para melhoria dos estoques de C orgânico do solo.

Modelagem da dinâmica da matéria orgânica do solo

Os processos do C no solo afetam diretamente a qualidade e produtividade do solo. Nos últimos anos, dentro do contexto ambiental, o C orgânico do solo vem sendo sistematicamente quantificado tanto na forma de teores totais quanto em diferentes compartimentos no solo. Isto se dá pela alta relevância que o solo tem, por meio do seu manejo, em evitar que o carbono seja transferido para a atmosfera ou que ele seja retido no material de solo, minimizando os riscos do fenômeno de aquecimento global. A partir da otimização dos métodos experimentais, os pesquisadores acumularam ao longo do tempo, informações importantes acerca da dinâmica do C no solo aumentando a habilidade em manejar adequadamente o C orgânico do solo. Concomitantemente, modelos conceituais dos processos do C e também do nitrogênio (N) no solo passaram a ser desenvolvidos.

Nos primeiros modelos, há cerca de sessenta anos, enfocaram-se processos individuais, porém faltavam as ferramentas e o conhecimento necessários para a abordagem do complexo ambiente solo, como um sistema integrado. No entanto, os avanços na tecnologia de computadores, nas técnicas com elementos marcados e sensoriamento remoto, nos procedimentos de amostragem no campo e nos métodos analíticos de laboratório, permitiram precisar os processos de C e suas interações, o que possibilitou o desenvolvimento de modelos de simulação de sistemas e subsistemas de solo completos e integrados. Os modelos de simulação Century (Parton et al., 1987) e RothC 26.3 (Colleman & Jenkinson, 1996) de dinâmica de C, foram avaliados para uso em ecossistemas tropicais e apresentaram, entre outros nove modelos, os melhores resultados. Os modelos de dinâmica de C, embora ainda considerados prematuros para tomada de decisões, têm sido usados para analisar problemas agrícolas e ambientais, como o manejo dos fertilizantes químicos e orgânicos, a qualidade do ar e do solo e a avaliação de sistemas de preparo e de culturas.

Century é um modelo mecanístico que descreve em longo prazo a dinâmica da MOS e nutrientes no sistema solo-planta. O modelo simula o impacto de diferentes práticas de manejo sobre a dinâmica de C, N, P e S. Originalmente desenvolvido para simular pastagens naturais nas Planícies Norte Americanas, desde então, tem sido aplicado com sucesso a uma diversidade de ecossistemas e tipos de solo, sendo a grande maioria sob condições de clima temperado, o que tem, no entanto, estimulado seu uso em regiões tropicais. O Century possibilita relacionar MOS aos níveis de fertilidade, tipos de solo, e ao manejo atual e futuro, de forma que o entendimento dos processos de transformação de nutrientes em solos tropicais seja otimizado, auxiliando no desenvolvimento de sistemas de manejo sustentáveis. Apesar dessas qualidades, o modelo Century tem limitações para solos tropicais ácidos e altamente intemperizados, como no caso dos Latossolos dos cerrados, pois não inclui variáveis de entradas importantes, tais como, o pH e o teor de alumínio trocável. Nesses solos, os efeitos do pH sobre o carbono orgânico são associados à reduzida solubilidade dos compostos orgânicos, às alterações em interações organo-mineral, ao aumento das quantidades de cátions biologicamente tóxicos, tais como Al^{+3} e Mn^{+2} , às modificações na atividade microbiana, à atividade enzimática e à composição da população microbiana. Neste sentido, em ambientes nos quais umidade e temperatura do solo não são limitantes para a decomposição da MOS, o pH do solo deve ser um fator fundamental, especialmente pela influência direta na decomposição da MOS, o que justifica a sua inclusão em modelos como o

Century. Além disso, alguns trabalhos têm mostrado que elevada acidez e altos teores de alumínio são responsáveis pela estabilização da matéria orgânica de solos tropicais ácidos. Dessa forma, alguns questionamentos devem ser levantados com relação aos efeitos dessas características na dinâmica da MOS e se as mesmas devem ser consideradas nos modelos. Os resultados apresentados até agora com o Century em solos tropicais indicam que há possibilidade dessas características só influenciarem no estágio inicial de decomposição da matéria orgânica, não influenciando a dinâmica de MOS em longo prazo.

Mesmo considerando-se a necessidade de se realizar ajustes, os modelos de simulação são ferramentas extremamente úteis para se entender a dinâmica de matéria orgânica de solos tropicais e indicar caminhos que devem ser seguidos pela pesquisa para o melhor entendimento da dinâmica de nutrientes nos diferentes agroecossistemas.

Considerações Finais

O desenvolvimento de sistemas de produção que estejam calcados na melhoria da fertilidade do solo por meio do manejo adequado da MOS é um dos desafios atuais da agricultura desenvolvida nos trópicos. Para isso, é fundamental que sejam estabelecidas linhas de pesquisa que otimizem o conhecimento acerca da dinâmica da MOS em solos tropicais. Inseridos neste contexto, estão a identificação de novos métodos de determinação de C orgânico total e dos vários compartimentos de C, a criação de modelos de simulação adaptados às condições tropicais e que estimem os impactos do uso da terra sobre a dinâmica da MOS e seqüestro de C e o desenvolvimento de uma base de dados georeferenciada de informações biofísicas e sócioeconômicas com a intensificação do uso de Sistemas de Informação Geográfica.

É notório que há, ainda, muito que se pesquisar sobre o papel da MOS, especialmente em ambiente tropical. No entanto, o desafio mais urgente é aplicar o conhecimento já existente na criação de sistemas de uso da terra sustentáveis, particularmente em regiões em que a pressão para aumento de produção aliado a degradação ambiental é muito intensa.

Referências Bibliográficas

- BATJES, N. H. **Management options for reducing CO₂-concentrations in the atmosphere by increasing carbon sequestration in the soil.** Wageningen, HO: International Soil Reference and Information Centre, 1999. 114p. (NRP Report n.º.: 410 200 031; ISRIC Technical Paper, 30).
- BIEDERBECK, V. O.; ZENTNER, R. P.; CAMPBELL, C. A. Soil microbial populations and activities as influenced by legume green fallow in a semiarid climate. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, Inglaterra, v. 37, n. 10, p. 1775-1784, Oct. 2005.
- CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOT, E. T. Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, WI, v. 56, n. 3, p. 777-783, 1992.
- CHAVES, B.; DE NEVE, S.; HOFMAN, G.; BOECKX, P.; VAN CLEEMPUT, O. Nitrogen mineralization of vegetable root residues and green manures as related to their (bio) chemical composition. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, HO, v. 21, n. 2, p. 161-170, Aug. 2004.
- COLLEMAN, K.; JENKINSON, D. S. RothC 26.3- a model for the turnover of carbon in soil. In: POWLSON, D. S.; SMITH, P.; SMITH, J. U. (Ed.). **Evaluation of soil organic matter models: using existing long-term datasets.** New York: Springer, 1996. p. 237-246. (NATO ASI Series. Series I. Global Environmental Change, 38).
- DUXBURY, J. M.; SMITH, M. S.; DORAN, J. W. Soil organic matter as a source and sink of plant nutrients. In: COLEMAN, D. C.; OADES, J. M.; UEHARA, G. (Ed.). **Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems.** Honolulu: University of Hawaii, 1989. p. 33-67. (University of Hawaii. NifTAL Project).
- ESWARAN, H.; Van Den BERG, E.; REICH, P.; KIMBLE, J. Global soil carbon resources. In: LAL, R.; KIMBLE, E.; STEWART, B. A. (Ed.). **Soil and global change.** Boca Raton, FL: CRC Lewis Publishers, 1995. p. 27-43. (Advances in Soil Science).
- FERNANDES, E. C. M.; MOTAVALLI, P. P.; CASTILLA, C.; MUKURUMBIRA, L. Management control of soil organic matter dynamics in tropical land-use systems. **Geoderma**, Amsterdam, HO, v. 79, n. 1, p. 49-67, 1997.

- FOLLETT, R. F.; McCONKEY, B. The role of cropland agriculture for C sequestration in the Great Plains, In: GREAT PLAINS SOIL FERTILITY CONFERENCE, 8., 2000, Denver, CO. **Proceedings...** Manhattan, KS: Kansas State University, 2000. p. 1-15.
- FOLLETT, R. F. Soil management concepts and carbon sequestration in cropland soils. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, HO, v. 61, n. 1/2, p. 77-92, Aug. 2001.
- GIL-SOTRES, F.; TRASAR-CEPEDA, C.; LEIROS, M. C.; SEOANE, S. Different approaches to evaluating soil quality using biochemical properties. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, Inglaterra, v. 37, n. 5, p. 877-887, May 2005.
- HIMES, F. L. Nitrogen, sulfur and phosphorus and the sequestering of carbon. In: LAL, R.; KIMBLE, J. M.; FOLLETT, R. F.; STEWART, B. A. (Ed.). **Soil processes and the carbon cycle**. Boca Raton, FL: CRC Press, 1998. p. 315-319. (Advances in Soil Science).
- ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Microwave irradiation of soil for routine measurement of microbial biomass carbon. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 27, n. 4, p. 408-416, 1998.
- JANSSEN, B. H. Integrated nutrient management: the use of organic and mineral fertilizers. In: REULER, H. V.; PRINS, W. H. (Ed.). **The role of plant nutrients for sustainable food crop production in sub-Saharan Africa**. Leidschendam, Netherlands: Dutch Association of Fertilizer Producers, 1993. p. 89-106.
- JANZEN, H. H.; CAMPBELL, C. A.; BRANDT, S. A.; LAFOND, G. P.; TOWNLEY-SMITH, L. Light-fraction organic matter in soils from long-term crop rotations. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, WI, v. 56, p. 1799-1806, 1992.
- KUMAR, U. M.; SINGH, G.; VICTOR, U. S.; SHARMA, K. L. Green manure: its effect on soil properties and crop growth under rice-wheat cropping systems. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, HO, v. 19, p. 225-237, 2003.
- LAL, R. Global potential of soil carbon sequestration to mitigate the greenhouse effect. **Critical Reviews in Plant Sciences**, Boca Raton, FL, v. 22, n. 2, p. 151-184, 2003.

LAL, R. Residue management, conservation tillage and soil restoration for mitigating greenhouse effect by CO₂ enrichment. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, HO, v. 43, p. 81-107, 1997.

LAL, R. Soil processes and the greenhouse effect. In: LAL, R.; BLUM, W. H.; VALENTINE, C.; STEWART, B. A (Ed.). **Methods for assessment of soil degradation**. Boca Raton, FL: CRC Press, 1998. p. 199-212. (Advances in Soil Science).

LAVELLE, P.; SPAIN, A. V.; BLANCHART, E.; MARTIN, A.; MARTIM, S. The impact of soil fauna on the properties of soils in the humid tropics. In: LAL, R.; SANCHEZ, P. A. (Ed.). **Myths and Science of Soils of the Tropics**. Madison, WI: Soil Science Society of America, 1992. p. 157-185. (Soil Science Society of America. Special Publication, 29).

LEITE, L. F. C.; MENDONÇA, E. S.; MACHADO, P. L. O. A.; MATOS, E. S. Total C and N storage and organic C pools of a Red-Yellow Podzolic under conventional and no tillage at the Atlantic Forest Zone, South-Eastern Brazil. **Australian Journal of Soil Research**, Victoria, Austrália, v. 41, p. 717-730, 2003a.

LEITE, L. F. C.; MENDONÇA, E. S.; NEVES, J. C. L.; MACHADO, P. L. O. A.; GALVÃO, J. C. C. Estoques totais de carbono orgânico e seus compartimentos em Argissolo Vermelho sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 27, n. 5, p. 821-832, set./out. 2003b.

LEITE, L. F. C.; AZEVEDO, D. M. P.; TEIXEIRA NETO, M. L. Estoques de carbono e teores de fósforo e potássio em Latossolo Amarelo sob sistemas de plantio direto e preparo convencional nos cerrados do Meio-Norte do Brasil. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 2004, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: SBCS, 2004. 1 CD-ROM.

LOPES, A. C. L.; LEITE, L. F. C.; MELO, F. B.; CARDOSO, M. J.; ARAÚJO, A. Estoques de carbono e teores de fósforo e potássio em Latossolo Amarelo sob sistemas de plantio direto e preparo convencional nos cerrados do Meio-Norte do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30., 2005, Recife. **Anais...** Recife: SBCS, 2005. 1 CD-ROM.

MANFOGOYA, P. L.; DZOWELA, B. H.; NAIR, P. K. Effect of multipurpose trees, age of cutting and drying method on pruning quality. In: CADISCH, G.; GILLER, K. E. (Ed.). *Driven by nature: plant litter quality and decomposition*. Wallingford, UK: CAB International, 1997. p. 167-174.

PALM, C. A.; GACHENGO, C. N.; DELVE, R. J.; CADISCH, G.; GILLER, K. E. Organic inputs for soil fertility management in tropical agroecosystems: application of an organic resource database. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Amsterdam, HO, v. 83, n. 1/2, p. 27-42, Jan. 2001.

PARTON, W. J.; SCHIMEL, D. S.; COLE, C. V.; OJIMA, D. S. Analysis of factors controlling soil organic matter levels in Great Plains grasslands. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, WI, v. 51, n. 5, p. 1173-1179, Sept./Oct. 1987.

ROSCOE, R.; MACHADO, P. L. O. A. *Fracionamento físico do solo em estudos da matéria orgânica*. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. 86 p.

SCHLESINGER, W. H. Changes in soil carbon storage and associated properties with disturbance and recovery. In: TRABALKA, J. R.; REICHLER, D. E. (Ed.). *The changing carbon cycle: a global analysis*. New York: Springer-Verlag, 1986. p. 175-193.

SNAPP, S. S.; MANFOGOYA, P. L.; WADDINGTON, S. Organic matter technologies for integrated nutrient management in smallholder cropping systems of southern Africa. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Amsterdam, HO, v. 71, n. 1/3, p. 185-200, Dec. 1998.

SWIFT, R. S. Organic matter characterization. In: SPARKS, D. L.; PAGE, A. L.; HELMKE, P. A.; LOEPPERT, R. H.; SOLTANPOUR, P. N.; TABATABAI, M. A.; JOHNSTON, C. T.; SUMMER, M. E. (Ed.). *Methods of soil analysis*. Part 3. Chemical methods. Madison, WI: Soil Science Society of America: American Society of Agronomy, 1996. p. 1011-1020. (Soil Science Society of America Book Series, 5).

Embrapa

Meio-Norte

Ministério da Agricultura,
Pecuária e Abastecimento

