

**Documentos**

---

ISSN 1806-9193

Setembro 2004

**125**

**Ciclagem da Matéria  
Orgânica em Sistemas  
Agrícolas**

**Embrapa**

The logo for Embrapa, featuring the word "Embrapa" in a bold, blue, sans-serif font. To the right of the text is a stylized green leaf icon, which is part of the organization's branding.



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Centro de Pesquisa Agropecuária de Clima Temperado  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

ISSN 1806-9193

Setembro, 2004

## ***Documentos 125***

# **Ciclagem da Matéria Orgânica em Sistemas Agrícolas**

Clenio Nailto Pillon  
João Mielniczuk  
Ladislau Martin Neto

Pelotas, RS  
2004

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

**Embrapa Clima Temperado**

Endereço: BR 392 Km 78

Caixa Postal 403 - Pelotas, RS

Fone: (53) 275 8199

Fax: (53) 275 8219 - 275 8221

Home page: [www.cpact.embrapa.br](http://www.cpact.embrapa.br)

E-mail: [sac@cpact.embrapa.br](mailto:sac@cpact.embrapa.br)

**Comitê de Publicações da Unidade**

Presidente: Walkyria Bueno Scivittaro

Secretária-Executiva: Joseane M. Lopes Garcia

**Membros:** Cláudio Alberto Souza da Silva, Lígia Margareth Cantarelli Pegoraro,

Isabel Helena Vernetti Azambuja, Cláudio José da Silva Freire, Luís Antônio

Suita de Castro, Sadi Macedo Sapper, Regina das Graças V. dos Santos

**Suplentes:** Daniela Lopes Leite e Luís Eduardo Corrêa Antunes

Revisor de texto: Sadi Macedo Sapper

Normalização bibliográfica: Regina das Graças Vasconcelos dos Santos

Editoração eletrônica: Oscar Castro

**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).

---

Pillon, Clenio Nailto.

Ciclagem da matéria orgânica em sistemas agrícolas / Clenio Nailto Pillon, João Mielniczuk, Ladislau Martin Neto. - Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2004.

27p. -(Embrapa Clima Temperado. Documentos, 125).

1. Solo - Cobertura - Conservação - Resíduo - Ciclagem - Carbono - Nitrogênio. I. Mielniczuk, João. II. Martin Neto, Ladislau. III. Título. IV. Série.

---

CDD 631.451

---

# **Autores**

**Clenio Nailto Pillon, Doutor**

Eng. Agrôn. Dr. Embrapa Clima Temperado  
BR 392, km 78 - Cx. Postal 403,  
CEP 96001-970 Pelotas, RS  
Fone (53) 275 8222  
E-mail: pillon@cpact.embrapa.br

**João Mielniczuk**

Eng. Agrôn. PhD, UFRGS  
Av. Bento Gonçalves, 7712, Agronomia  
CEP 91540-000, Porto Alegre, RS  
Fone (51) 3316 6852  
E-mail: mieln@vortex.ufrgs.br

**Ladislau Martin Neto**

Dr., Físico  
Embrapa Instrumentação Agropecuária  
XV de novembro, 1452  
Cx. Postal 741, 13560-970, São Carlos, SP  
Fone (16) 224 2477  
E-mail: martin@cnpdia.embrapa.br

# Apresentação

A alteração no conteúdo de matéria orgânica (MO) ao longo do tempo é considerado um dos principais indicadores de qualidade do solo e do ambiente. De modo geral, sistemas conservacionistas de manejo do solo promovem a manutenção e até mesmo o acúmulo de MO no solo, enquanto que sistemas convencionais, baseados no revolvimento intenso da camada arável e na baixa adição de resíduos vegetais, promovem deterioração de atributos físicos, químicos e biológicos do solo, os quais são reflexos imediatos da perda de MO. Num mundo globalizado, o acúmulo de MO no solo poderá tornar-se, do ponto de vista ambiental, um grande mercado de créditos de carbono, pois o solo, quando bem manejado, passa a ser um dreno importante de gases do efeito estufa, como o CO<sub>2</sub>. Para isso, é preciso compreender os processos e a dinâmica do carbono no ambiente, de modo que se possa fazer as escolhas mais adequadas para cada condição edafoclimática.

Diante deste cenário, o presente trabalho propõe-se a fornecer conceitos e subsídios teóricos para o entendimento da dinâmica da MO no solo, incluindo mecanismos de proteção da MO, metodologias para avaliação e quantificação das adições e perdas de MO e exemplos de opções de sistemas de culturas e de preparo do solo oriundos de experimentos de longa duração existentes no Rio Grande do Sul.

Waldyr Stumpf Jr.  
*Chefe-adjunto de Pesquisa e Desenvolvimento da  
Embrapa Clima Temperado*

# Sumário

<b>Introdução .....</b>	<b>9</b>
<b>Dinâmica da Matéria Orgânica no Ambiente .....</b>	<b>10</b>
<b>Cálculo da Adição Anual de C ao Solo .....</b>	<b>12</b>
<b>Cálculos da Produção de Matéria Seca da Parte Aérea do Aveia (exemplo hipotético) .....</b>	<b>13</b>
<b>Cálculos da Produção de Matéria Seca da Parte Aérea do Milho (exemplo hipotético) .....</b>	<b>15</b>
<b>Como Calcular o Conteúdo de Matéria Orgânica do Solo .....</b>	<b>18</b>
<b>Dinâmica da Matéria Orgânica do Solo em Experimentos de Longa Duração .....</b>	<b>20</b>
<b>Potencial de Adição de C e N pelos Sistemas de Cultura .....</b>	<b>21</b>
<b>Potencial de Acúmulo de Carbono Orgânico Total e Nitrogênio Total no Solo .....</b>	<b>22</b>

<b>Acúmulo de Carbono e Nitrogênio em Profundidade .....</b>	<b>24</b>
<b>Considerações Finais .....</b>	<b>27</b>
<b>Referências Bibliográficas .....</b>	<b>27</b>

# Ciclagem da Matéria Orgânica em Sistemas Agrícolas

---

*Clenio Nailto Pillon*  
*João Mielniczuk*  
*Ladislau Martin Neto*

## Introdução

O termo matéria orgânica (MO) do solo refere-se ao material orgânico total do solo, incluindo os resíduos identificáveis de plantas (recursos primários), resíduos de animais e de microorganismos (recursos secundários), MO dissolvida, exsudatos radiculares e substâncias húmicas (SHs) macromoleculares. Em regiões tropicais e subtropicais a matéria orgânica do solo constitui-se em um dos principais fatores determinantes da qualidade do solo. Um solo possui qualidade quando é capaz de atender às suas funções básicas: manter a saúde animal e humana; manter a qualidade da água e do ar e manter ou incrementar sua produtividade. Nos agroecossistemas, os sistemas de preparo de solo e o manejo dos resíduos vegetais afetam a ciclagem do carbono orgânico (C) no ambiente. Entretanto, nesses ambientes onde ocorrem perturbações antrópicas, o grande desafio consiste em identificar parâmetros que possam servir de indicadores das alterações da qualidade do solo ao longo do tempo, os quais, quando monitorados a curto e médio prazos (até cinco anos), possam prever se as práticas de manejo adotadas conduzirão um determinado sistema a sustentabilidade ou a degradação.

Diversos estudos têm mostrado que a alteração no conteúdo de MO ao longo do tempo constitui-se num importante indicador de qualidade do solo. Entretanto, tem-se observado que existem interpretações equivocadas de informações oriundas de análises de solos ou mesmo de tra-

balhos de pesquisa, gerando confusão e falta de clareza no entendimento da dinâmica da MO no ambiente. A partir de um resgate teórico e com base em resultados de pesquisa oriundos da região Sul do Brasil, este documento visa estabelecer relações entre práticas de manejo do solo e a ciclagem de C em agroecossistemas da região de clima temperado e discutir alguns mitos e verdades relacionados à dinâmica da MO no ambiente, especialmente em sistemas de transição à agricultura orgânica.

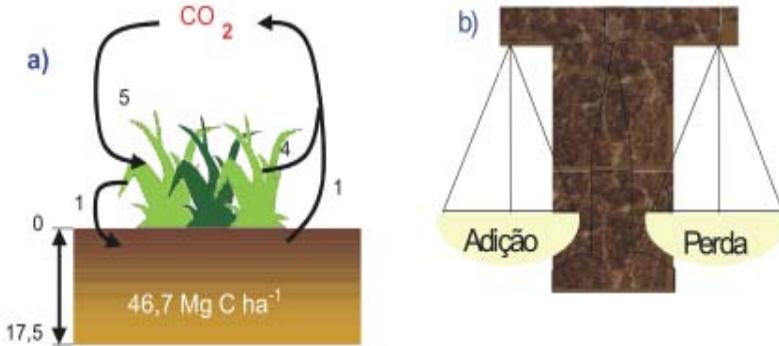
## **Dinâmica da Matéria Orgânica no Ambiente**

A adição de MO ao solo ocorre pela deposição de resíduos orgânicos, principalmente de origem vegetal, os quais contêm, em média, 40% de C na matéria seca. Através da fotossíntese, as plantas captam o  $\text{CO}_2$  atmosférico, fixando-o na forma de compostos orgânicos no tecido vegetal. Através da liberação de exsudatos radiculares no perfil do solo, durante o período de crescimento dos vegetais, parte do C fixado fotossinteticamente é incorporado ao solo. O restante é depositado sobre o solo ou no seu interior pelas raízes das plantas, quando da sua senescência ou morte.

A quantidade de C adicionada ao solo em um agroecossistema depende das condições edafoclimáticas e da produtividade biológica das plantas utilizadas em cada sistema de cultura. Quando os resíduos vegetais são depositados ao solo, estes sofrem, inicialmente, a ação da fauna e, posteriormente, dos microorganismos decompositores. Para os microorganismos, os compostos orgânicos presentes nos resíduos representam fontes de C e de energia para seu metabolismo. A oxidação desses substratos na cadeia respiratória dos microorganismos resulta em perda de grande parte do C na forma de  $\text{CO}_2$ , que retorna à atmosfera. Somente uma pequena porção do C presente nos resíduos vegetais (cerca de 20%) permanece como MO do solo (Figura 1).

As adições de C são diretamente dependentes da taxa de adição de resíduos vegetais ao solo e, por outro lado, as perdas de C do solo ocorrem principalmente pela oxidação microbiana dos resíduos vegetais e da MO já presente no solo, pela lixiviação de compostos orgânicos solúveis e por erosão. A magnitude das adições e perdas de C num

determinado agroecossistema determina sua direção a sustentabilidade ou a degradação. Ambos, adição e perda de C do solo, dependem direta ou indiretamente do manejo do solo.



**Figura 1.** Fluxos de C ( $\text{Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ) e conteúdo de carbono orgânico total para a camada de 0-17,5 cm de um ARGISSOLO VERMELHO sob campo nativo com  $220 \text{ g kg}^{-1}$  de argila (sistema natural) (a) e representação esquemática do estado estável do conteúdo de carbono orgânico total do solo no sistema natural ao longo do tempo (b).

Considerando-se a MO como uniforme e adotando-se um modelo de análise unicompartmental para o período de um ano (cinética anual), o balanço ou as alterações no conteúdo de C do solo em um determinado período é definido pela seguinte expressão:

$$dC/dt = K_1 \cdot A - K_2 \cdot C$$

onde  $dC/dt$  expressa a variação no conteúdo de C orgânico do solo ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) no tempo;  $K_1$  é o coeficiente de humificação, ou seja, o quanto do carbono que é adicionado anualmente e que fica retido na MO do solo;  $A$  é a adição anual de C ao solo ( $\text{Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ );  $K_2$  é o coeficiente de oxidação anual do carbono ( $\text{ano}^{-1}$ ), ou seja, o quanto do carbono orgânico que está no solo na forma de MO é perdido anualmente e  $C$  o conteúdo de carbono orgânico total do solo ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ). Sob condições naturais, como em um campo nativo ou uma floresta nativa, o conteúdo de C orgânico do solo encontra-se em estado estável, já que as quantidades adicionadas e perdidas (Figura 1a e Figura 1b) se equivalem. Portanto,  $dC/dt = 0$ . Logo, na estabilidade,  $K_1 \cdot A = K_2 \cdot C$ . Para o exemplo da Figura 1a, na camada 0-17,5cm, o conteúdo de carbono orgânico total (COT) do solo é  $46,7 \text{ Mg ha}^{-1}$ , considerado em estado estável ( $C_e$ ), e a adição anual de C ao solo ( $A$ ) é  $5 \text{ Mg ha}^{-1}$ . Assumindo-se o valor de  $K_1$  como 20% e a não ocorrência de remoção

de carbono orgânico por erosão, pode-se estimar a taxa de decomposição anual da MO do solo, conforme segue:

$$C_e = K_1 \cdot A / K_2 \qquad K_2 = K_1 \cdot A / C_e$$

Logo, a taxa de decomposição é expressa por:  $K_2 = (20/100) \times 5 \text{ Mg ha}^{-1} / 46,7 \text{ Mg ha}^{-1}$   $K_2 = 0,0214 \cdot \text{ano}^{-1}$  ou 2,14% ao ano. Esta taxa anual de decomposição da MO já presente no solo significa que, a cada ano, 2,14% de todo o conteúdo de MO presente naquela camada de solo será oxidada pela ação microbiana, onde o gás resultante ( $\text{CO}_2$ ) retornará para a atmosfera. Quantitativamente, em um estoque de  $46,7 \text{ Mg ha}^{-1}$  de COT no solo, uma perda anual de 2,14% significa uma redução de  $1 \text{ Mg ha}^{-1}$  no conteúdo de MO do solo. Caso as adições anuais de C ao solo sejam inferiores à perda anual, o conteúdo total de MO do solo tenderá à redução ao longo do tempo, com reflexos negativos para a qualidade do solo e do ambiente. No exemplo da Figura 1a, a adição de  $1 \text{ Mg ha}^{-1}$  equivale a perda anual de MO do solo e espera-se que este sistema mantenha o conteúdo de MO ao longo do tempo numa condição de equilíbrio dinâmico.

## Cálculo da Adição Anual de C ao Solo

Assumindo-se a produção anual de biomassa vegetal (matéria seca) por unidade de área como a principal fonte de ingresso de C em um determinado sistema, a quantidade anual de C adicionada (A) (Figura 1a) pode ser obtida indiretamente através da quantificação da produção de matéria seca da parte aérea das plantas por unidade de área, ou seja, por hectare. O exemplo descrito a seguir ilustra o conjunto de etapas para o cálculo da adição de C ao solo em um determinado sistema de culturas.

Exemplo:

Sistema de cultura: aveia preta no inverno e milho no verão

**Passo 1.** Cálculo da produção de biomassa vegetal da aveia (ou qualquer espécie semeada a lanço ou em linha, com pequeno espaçamento entre linhas).

No pleno florescimento da cultura, com o auxílio de um quadro de ferro ou madeira medindo  $1\text{m}^2$  ( $1\text{m} \times 1\text{m}$ ), efetuar os seguintes passos:

Etapa	Cuidados
1) selecionar cinco a sete pontos por unidade de área homogênea ou por hectare	escolher locais que sejam representativos do padrão de crescimento vegetativo das plantas em toda área
2) atirar o quadro sobre o solo	
3) proceder o corte de toda a parte aérea das plantas logo acima do solo com o auxílio de uma foice	cuidar para cortar somente as plantas que pertencem à área do quadro, retirando plantas que são externas ao quadro
4) acondicionar o material cortado num saco plástico	podem ser utilizados sacos de rafia ou plástico limpos
5) proceder à determinação da massa do saco + plantas frescas	descontar a massa do saco
6) retirar uma subamostra do material vegetal e acondicionar em saco de papel	deve ser representativa da amostra original
7) proceder à determinação da massa do saco papel + subamostra verde	descontar a massa do saco de papel
8) proceder à secagem do material a $\pm 60^{\circ}\text{C}$ até massa constante	pode ser feita em estufa ou forno
9) proceder à determinação da massa do saco papel + subamostra seca	descontar a massa do saco de papel
10) cálculo da produção de matéria seca	

## Cálculos da Produção de Matéria Seca da Parte Aérea da Aveia (exemplo hipotético)

### Dados:

Ponto amostrado: 1 (para os demais pontos amostrados, seguir a mesma memória de cálculo e, ao final, calcular a média)

Área quadro:  $1\text{m}^2$

Massa saco plástico + matéria fresca de planta: 900g

Massa saco plástico: 50g

Massa saco papel + subamostra matéria fresca de planta: 200g

Massa saco papel: 15g

Massa saco papel + subamostra seca de planta: 130g

### Cálculos:

Massa matéria fresca de planta/ $\text{m}^2 = 900\text{g} - 50\text{g} = 850\text{g}$

Massa subamostra matéria fresca de planta:  $200\text{g} - 15\text{g} = 185\text{g}$

Massa subamostra seca de planta:  $130\text{g} - 15\text{g} = 115\text{g}$

Em 185g de subamostra de matéria fresca de planta existem 115g de subamostra de matéria seca de planta. Logo, em 850g amostra de matéria fresca, tem **528g** de matéria seca.

Assim:

Em 1m<sup>2</sup> existem 528g de matéria seca de planta; logo, em 10.000 m<sup>2</sup>, 5.280.000g ou 5.280kg ha<sup>-1</sup>

Portanto, a produção de matéria seca da parte aérea da aveia, neste exemplo, é de 5.280kg ha<sup>-1</sup>.

**Passo 2.** Cálculo da produção de matéria seca da parte aérea do milho (ou de qualquer espécie semeada em linha com semeadora de precisão).

No pleno florescimento da cultura, com o auxílio de uma trena, efetuar os seguintes passos:

Etapa	Cuidados
1) selecionar cinco a sete pontos por unidade de área homogênea ou por hectare	escolher locais que sejam representativos do padrão de crescimento vegetativo das plantas em toda área
2) em cada ponto selecionado, marcar cinco metros de comprimento em quatro linhas de milho contíguas, identificando o ponto inicial e final	descartar linhas que apresentem perdas de plantas por qualquer natureza que não representem a média da área a ser amostrada
3) proceder a contagem de plantas em cada uma das quatro linhas selecionadas	
4) proceder o corte de toda a parte aérea de cinco plantas selecionadas em cada linha logo acima do solo com o auxílio de um facão	selecionar plantas que representem a média da linha
4) acondicionar o material cortado num saco plástico	podem ser utilizados sacos de ráfia ou plástico limpos
5) proceder à determinação da massa do saco + matéria fresca de planta	descontar a massa do saco
6) retirar uma subamostra do material, picar com facão e acondicionar em saco de papel	deve ser representativa da amostra original
7) proceder à determinação da massa do saco papel + subamostra matéria fresca de planta	descontar a massa do saco de papel
8) proceder à secagem do material a $\pm 60^{\circ}\text{C}$ até massa constante	pode ser feita em estufa ou forno
9) proceder à determinação da massa do saco papel + subamostra matéria seca de planta	descontar a massa do saco de papel
10) cálculo da matéria seca de planta	

## Cálculos da Produção de Matéria Seca da Parte Aérea do Milho (exemplo hipotético)

### Dados:

Pontos amostrados: 1 (para outros pontos amostrados, seguir a mesma memória de cálculo e, ao final, calcular a média)

Número de linhas amostradas: 4

Espaçamento entre-linhas: 0,7m

Comprimento de linha amostrado: 5m

Número de plantas amostradas em cada linha: 5 plantas

Número total de plantas amostradas em cada ponto: 20 plantas

População total de plantas nas quatro linhas: 101 plantas

Área ocupada <sup>1</sup> pelas quatro linhas em cinco metros: 14m<sup>2</sup>

Massa saco plástico + matéria fresca de planta (20 plantas): 4000g

Massa saco plástico: 50g

Massa saco papel + subamostra matéria fresca de planta: 1000g

Massa saco papel: 15g

Massa saco papel + subamostra matéria seca de planta: 700g

---

<sup>1</sup> Quatro linhas x cinco metros por linha = 20m de linha x 0,7m espaçamento = 14m<sup>2</sup>

### Cálculos:

População de plantas ha<sup>-1</sup> = 72.142 plantas (101 plantas em 14m<sup>2</sup>)

Massa matéria fresca de plantas (20 plantas): 4000g-50g = 3950g

Massa subamostra matéria fresca de plantas: 1000g-15g = 985g

Massa subamostra matéria seca de plantas: 700g-15g = 685g

Em 985g de subamostra matéria fresca existem 685g de subamostra matéria seca planta

Logo, em 3950g amostra matéria fresca, existirão **2746g** de matéria seca, que correspondem à massa de matéria seca de 20 plantas

Assim,

Como em 1ha existem 72.142 plantas de milho, existirão **9.883 kg ha<sup>-1</sup>** de matéria seca de milho. Portanto, a produção de **matéria seca da parte aérea do milho**, neste exemplo, é de **9.883 kg ha<sup>-1</sup>**.

---

<sup>1</sup> Quatro linhas x cinco metros por linha = 20m de linha x 0,7m espaçamento = 14m<sup>2</sup>

### Passo 3. Cálculo da produção total de matéria seca pela aveia e milho

A Tabela 1 apresenta o resumo do cálculo das adições de matéria seca da parte aérea das culturas da aveia e do milho e, adicionalmente, a conversão em adição de C ao solo, assumindo-se que na matéria seca existem, em média, 40% de C.

**Tabela 1.** Resumo do exemplo de cálculo das adições de matéria seca e de carbono ao solo pela parte aérea das culturas de aveia e milho.

Sistema de cultura	Matéria seca,		Matéria seca total,	Adição C (A)
	kg ha <sup>-1</sup>		Aveia + milho	
	aveia	milho	kg ha <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>
Aveia/milho	5.280	9.883	15.163	6.065

A contribuição da produção de matéria seca pelas raízes para as adições de C ao solo pode ser estimada assumindo-se que a matéria seca das raízes representa, em média, 30% da biomassa vegetal da parte aérea. Portanto, no exemplo da Tabela 1, a adição total de C ao solo, incluindo a contribuição da parte aérea (6.065 kg ha<sup>-1</sup>) e raízes (1819 kg ha<sup>-1</sup>) seria de 7.884 kg ha<sup>-1</sup>.

Se as adições de C ao solo estão diretamente relacionadas à produção de matéria seca pelo sistema de cultura utilizado, a taxa de decomposição da MO do solo é afetada por fatores que determinam a atividade microbiana (temperatura, umidade, disponibilidade e qualidade do C) e à proteção do carbono orgânico do solo ao ataque microbiano (composição química dos compostos orgânicos, processo conhecido como recalcitrância química; teor e mineralogia da fração argila, processo conhecido como interação organo-mineral e sua localização, externa aos agregados, protegida no interior de agregados em poros inacessíveis aos microorganismos, processo identificado como inacessibilidade. Portanto, para condições edafoclimáticas similares, práticas de manejo que utilizem sistemas de preparo do solo com revolvimento intensivo, o qual promove aumento da atividade microbiana pela quebra de agregados e exposição de frações da MO anteriormente protegidas no interior de agregados, determinam um aumento na taxa de decomposição da MO do solo (alto K<sub>2</sub>). Caso o

incremento na perda de C do solo pelo preparo intensivo não seja compensado pelo aumento nas adições de C (maior A), o conteúdo de MO do solo atingirá um novo conteúdo estável, porém, em nível bem mais baixo. Comparando dois solos do RS, um LATOSSOLO VERMELHO com 680 g kg<sup>-1</sup> de argila (solo textura argilosa) e um ARGISSOLO VERMELHO com 220 g kg<sup>-1</sup> de argila (solo textura franca), Bayer (1996) mostrou que o revolvimento contínuo do solo tem efeitos distintos sobre a taxa de decomposição da MO. Enquanto no solo argiloso as taxas de decomposição sob preparo convencional (PC) e plantio direto (PD) foram de 1,4% e 1,2%, respectivamente, no solo franco a diferença foi mais acentuada (5,4% no PC e 2,9% no PD). Provavelmente, a maior estabilidade da MO no solo argiloso esteja relacionada à maior proteção coloidal (interação com a matriz mineral) e física da MO, comparativamente ao solo franco. Estes resultados confirmam proposição de que a estabilização do C no solo está relacionada à textura, mineralogia e à distribuição do tamanho e estabilidade de agregados. Pesquisas adicionais ainda são necessárias, porém, para identificar a contribuição de cada uma destas variáveis na preservação da MO do solo.

Para áreas degradadas, a recuperação do conteúdo de MO do solo deve obedecer dois princípios básicos: 1) adoção de práticas de manejo do solo que incluam: sistemas de preparo com mínimo revolvimento (PD) (redução do K<sub>2</sub>) e 2) utilização de sistemas de cultura intensivos, com alta adição de resíduos vegetais e nitrogênio (N) ao solo (aumento do A).

Observando-se as práticas de manejo mais adequadas para a recuperação de áreas degradadas, o emprego do PD tem ganhado espaços importantes, já que o revolvimento mínimo do solo para a implantação e o manejo das culturas tem contribuído significativamente para a redução na taxa de decomposição da MO do solo, especialmente em solos arenosos e sob clima quente e úmido. O grande desafio à pesquisa tem sido identificar o potencial de diferentes sistemas de cultura adaptados à região de clima temperado para recuperação do potencial produtivo do solo através do mínimo uso de insumos externos, visando estabelecer metodologias de manejo mais adequadas para a transição entre a agricultura convencional para a agricultura orgânica. Neste enfoque, o aumento no conteúdo de MO do solo tem sido adotado como um indi-

cadore de qualidade dos sistemas de manejo e, por conseguinte, de qualidade do solo. No entanto, identificar estas táticas de manejo pressupõe avaliações do potencial dos sistemas em recuperar a qualidade do solo a médio e longo prazos, já que as alterações no conteúdo de MO do solo geralmente são lentas.

## Como Calcular o Conteúdo de Matéria Orgânica do Solo

Uma das grandes dificuldades observadas freqüentemente na interpretação de estudos envolvendo MO do solo reside no confundimento entre teor e conteúdo de MO do solo. Os termos não são sinônimos e representam grandezas diferentes. **Teor** dá idéia de parte de um todo, expresso em percentagem, relação massa/massa ou volume/volume. Por exemplo, 2% de MO significa que existem 2 kg de MO em cada 100 kg de solo. Às vezes nos deparamos com informações como naquele solo, a MO aumentou 40% em 3 anos, passando de 2% para 2,8%. Isso significaria dizer que em um hectare e na camada 0-20cm de solo, considerando-se uma densidade do solo média de  $1,5 \text{ Mg m}^{-3}$ , teríamos 3000 Mg de solo ( $10000 \text{ m}^2 \times 0,20 \text{ m} = 2000 \text{ m}^3 \times 1,5 \text{ Mg m}^{-3} = 3000 \text{ Mg}$  de solo por hectare). Dois por cento (2%) de MO, significa que existem 60 Mg de MO por hectare. O aumento para 2,8% no teor de MO implicaria num acréscimo de 24 Mg  $\text{ha}^{-1}$  de MO no solo. Assumindo o fator de conversão de MO para C igual a 1,724; dividindo-se 24 Mg  $\text{ha}^{-1}$  por 1,724, temos um acréscimo de 13,92 Mg  $\text{ha}^{-1}$  de C em três anos. Para que isso fosse possível, seria necessário uma adição anual de 23,2 Mg  $\text{ha}^{-1}$  de C ao solo ( $K_1 = 20\%$ ), ou seja, o equivalente a adição de 58 Mg  $\text{ha}^{-1}$  de matéria seca vegetal, considerando-se ainda não haver nenhuma perda de MO dessa mesma camada de solo por decomposição, fato que não é verdadeiro. Comparada às adições anuais de C listadas na Tabela 2, cujo máximo valor é 6,13 Mg  $\text{ha}^{-1}$  para o sistema lablab/milho, obter uma adição anual praticamente quatro vezes maior utilizando-se somente plantas é, do ponto de vista técnico, impossível. Portanto, é preciso ter cuidado na interpretação de alguns resultados.

Assim, para calcular o conteúdo de MO ou de COT de um determinado solo, é preciso obter-se as seguintes informações:

- a) Definir a camada de solo a ser amostrada;
- b) Proceder a amostragem do solo na camada definida previamente;
- c) Remeter a amostra para análise do teor de carbono orgânico total;
- d) Juntamente com a amostragem de solo para análise química, proceder à determinação da densidade do solo, retirando amostras de solo indeformadas e com volume conhecido através do uso de anéis volumétricos
- e) Enviar os anéis volumétricos para determinação da densidade do solo em laboratório.

De posse dessas informações, é possível determinar o conteúdo de COT do solo. O exemplo apresentado a seguir ilustra a rotina de cálculo.

### **Cálculo do conteúdo de COT do solo**

#### **Dados:**

Camada de solo: 0-20cm;

Densidade do solo: 1,5 Mg m<sup>-3</sup>

Teor de COT: 10 g kg<sup>-1</sup> solo ou 1%

#### **Cálculo:**

O primeiro passo consiste em calcular o volume de solo existente em 1 hectare.

Assim,

1 hectare = 10.000m<sup>2</sup>; considerando-se uma espessura de 20 cm de solo, ou 0,2m, o volume de solo contido em 1ha será igual a:

Volume de solo = 10.000m<sup>2</sup> x 0,2m = 2.000m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>;

O segundo passo consiste em obter a massa total de solo contida na camada de solo definida anteriormente. Para isso, utiliza-se o dado da densidade do solo, a qual define a massa equivalente contida em um determinado volume. Assim, como em cada 1m<sup>3</sup> cabem 1,5 Mg de solo, logo, em 1ha, o qual contém 2000 m<sup>3</sup>, existirão 3.000 Mg de solo ou, 3.000.000 de kg de solo.

Obtida a massa total de solo contida na **camada de 0-20cm** e sabendo-se o teor de COT existente, é possível determinar o conteúdo total de COT do solo. Assim, se o **teor de COT do solo é de 1%** (1 kg de COT para cada 100 kg de solo), em 3.000.000 de kg de solo existentes em **1 ha** haverá **30.000 kg de COT ou 30 Mg**.

## **Dinâmica da Matéria Orgânica do Solo em Experimentos de Longa Duração**

A seguir, serão apresentados e discutidos alguns resultados obtidos em experimentos de longa duração conduzidos no RS desde a década de 80. Os detalhes experimentais e demais dados aqui não apresentados encontram-se descritos em Pillon (2000).

Na Estação Experimental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, em Eldorado do Sul, RS, implantou-se um experimento de longa duração em 1983 sobre um ARGISSOLO VERMELHO com  $220 \text{ g kg}^{-1}$  de argila, visando identificar o potencial de recuperação da qualidade do solo por diferentes sistemas de cultura em PD. O solo da área experimental apresentava-se degradado devido à utilização intensiva de enxada rotativa ao cultivo convencional de milho durante 14 anos. O experimento original consistia de dez sistemas de cultura sob PD, incluindo espécies de inverno e de verão. Gramíneas e leguminosas foram cultivadas como cobertura de solo no inverno ou em consórcio à cultura principal de verão (milho). Para esta foram aplicadas duas doses de N mineral em cobertura (0 e  $180 \text{ kg ha}^{-1}$  de nitrogênio como uréia). Anualmente, o milho recebeu adubação mineral de manutenção com P e K, sendo realizados os tratos culturais indicados para a cultura. Neste estudo, quatro sistemas de cultura situados sob área sem aplicação de N mineral são apresentados, selecionados de modo a obter-se uma grande variação nas adições anuais de C e N ao solo (Tabela 2). As quantidades de C e N adicionadas e/ou recicladas pelos sistemas de cultura ao solo foram estimadas extrapolando-se os conteúdos de C e N na parte aérea das culturas de cobertura e do milho obtidos por Burle et al. (1997) durante os primeiros 10 anos, para o período de 16 anos, cresceram-se 30% para C e 20% para N devido à contribuição do sistema radicular das plantas.

**Tabela 2.** Sistemas de cultura e estimativa das adições de C e N pela parte aérea e raízes das culturas de inverno e verão, num período de 16 anos. Calculado a partir dos dados de Burle et al. (1997).

Sistema	Inverno <sup>§</sup>	Verão	Adição/Ciclagem	
			C (Mg ha <sup>-1</sup> )	N (kg ha <sup>-1</sup> )
P/M	pousio	milho	28,3	656
A/M	aveia <sup>a</sup>	milho	69,9	1424
Sir	Siratro <sup>b</sup>	milho	90,9	3712
Lab/M	pousio/lablab <sup>c</sup>	milho + lablab	98,2	3840

<sup>§</sup> No inverno de 1996, todos os tratamentos receberam aveia.

<sup>a</sup> Sorgo no verão de 83 e aveia + tremoço (*Lupinus angustifolius*) no inverno de 1984.

<sup>b</sup> Durante o inverno e verão. No verão de 1996, as parcelas receberam milho + feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*). No inverno de 1997 permaneceu em pousio; no verão de 1997 e inverno de 1998, recebeu uma mistura de guandu (*Cajanus cajan*) + lablab (*Lablab purpureus*). O milho foi semeado nos verões de 1988, 1993, 1994, 1995 e 1996.

<sup>c</sup> Este sistema ficou em pousio somente após a ocorrência de geada. No verão de 1997 foi cultivado somente com milho.

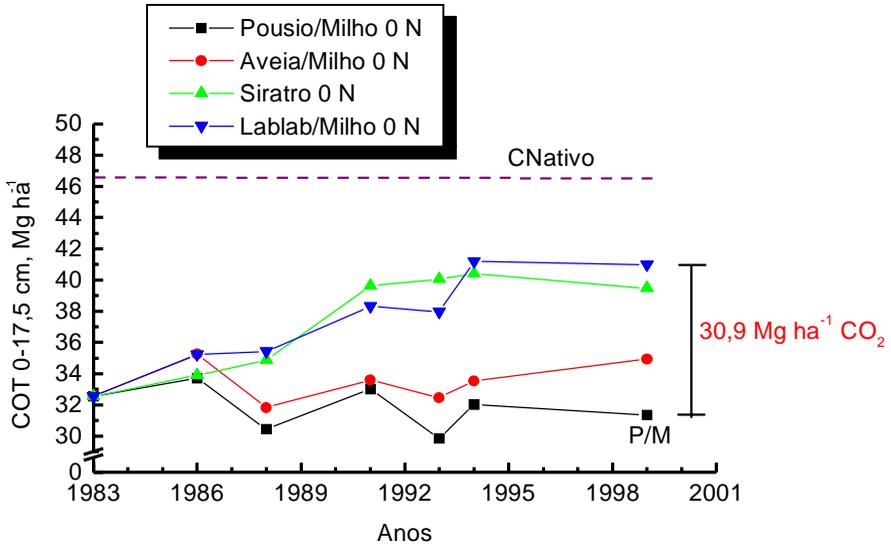
## Potencial de Adição de C e N pelos Sistemas de Cultura

Os sistemas de cultura apresentaram uma grande variação nas quantidades totais de C e N adicionadas pelas culturas de cobertura e resíduos de milho ao solo (Tabela 2). As adições através da biomassa vegetal, em 16 anos, variaram entre 28,3 Mg ha<sup>-1</sup> de C e 656 kg ha<sup>-1</sup> de N no sistema P/M e 98,2 Mg ha<sup>-1</sup> de C e 3840 kg ha<sup>-1</sup> de N no sistema Lab/M, demonstrando que os sistemas possuem diferenças nos seus potenciais de adição de C ao solo via fotossíntese e de N pela fixação biológica e/ou reciclagem. Isso indica que, mesmo em sistemas conduzidos em área degradada e sem a adição de N mineral, é possível obter-se elevadas adições de C e adições e/ou reciclagem de N ao solo. Do ponto de vista agroecológico, o potencial de produção de biomassa vegetal desses sistemas, especialmente do Sir/ e Lab/M, representa uma alternativa promissora para a composição de sistemas de transição da agricultura convencional para a produção orgânica na região fisiográfica em estudo.

Os sistemas que incluem leguminosas mostraram maiores acúmulos de N na biomassa vegetal, devido à fixação biológica de N. No entanto, o desenvolvimento radicular expressivo, principalmente do lablab, pode ter contribuído também para a maior reciclagem de N no sistema e para a redução da possibilidade de perda de N por lixiviação de nitrato. O N na fitomassa do milho nos sistemas P/M e A/M, tradicionalmente utilizados na região Sul do Brasil, é oriundo exclusivamente da reciclagem do N mineralizado da MO do solo. O sistema A/M, cujas plantas recobrem o solo durante todo ano, reciclou duas vezes mais N que o sistema P/M (Tabela 2).

## Potencial de Acúmulo de Carbono Orgânico Total e Nitrogênio Total no Solo

Um dos mitos relacionados à MO do solo e ao fato de que era praticamente impossível incrementar o seu conteúdo no solo em regiões de clima quente e úmido. Entretanto, os dados aqui apresentados indicam que existe um potencial muito grande para a recuperação de áreas degradadas por meio da identificação de sistemas de cultura e de preparo de solo que privilegiem a máxima adição de C e N e o mínimo revolvimento do solo. Os dados da Figura 2 e Tabela 3 indicam que os sistemas de cultura avaliados, após 16 anos, determinaram alterações importantes nos conteúdos de COT e NT na camada 0-17,5 cm do solo. O conteúdo de COT no solo variou entre 31,37 a 40,98 Mg ha<sup>-1</sup> nos sistemas P/M e Lab/M, respectivamente, correspondendo a um acúmulo líquido de 0,6 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> no sistema Lab/M. O conteúdo de NT variou de 2509 kg ha<sup>-1</sup> no sistema P/M a 3224 kg ha<sup>-1</sup> no Lab/M. Os sistemas com inclusão de leguminosas (Sir e Lab/M) apresentaram os maiores conteúdos de COT e NT no solo (Figura 2 e Tabela 3).



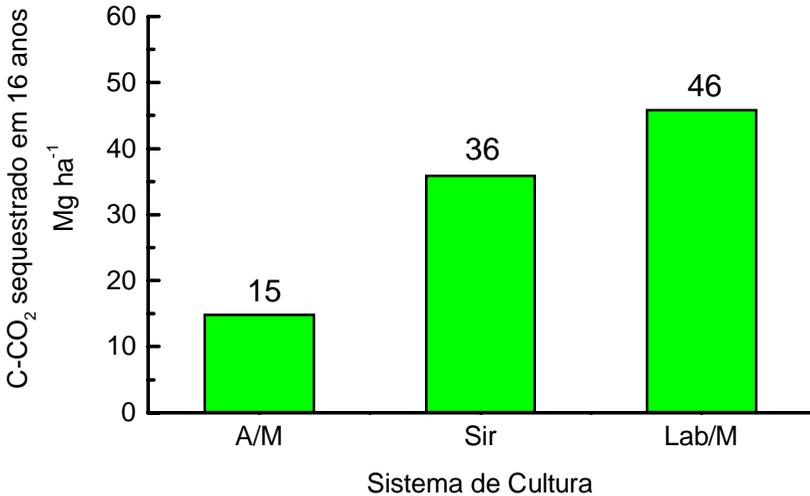
**Figura 2.** Evolução do conteúdo de carbono orgânico total (COT) de um ARGISSOLO VERMELHO sob sistemas de cultura em plantio direto. Eldorado do Sul, RS.

**Tabela 3.** Conteúdo de nitrogênio total (NT) na camada 0-17,5 cm de um ARGISSOLO VERMELHO, submetido a diferentes sistemas de cultura em PD, durante o período experimental de 16 anos.

Sistema	Anos						
	1983	1986	1988	1991	1993	1994	1999
-----NT, kg ha <sup>-1</sup> -----							
P/M	2713	2461	2370	2487	2499	2368	2509
A/M	2713	2659	2506	2737	2672	2479	2711
Sir	2713	2800	3091	3166	3324	3048	3120
Lab/M	2713	2735	3000	3108	3007	3027	3224

Fonte: Pillon (2000).

Os acúmulos de COT no solo representam uma oportunidade ainda a ser explorada para o seqüestro de  $C-CO_2$ , especialmente porque já se desenham mercados de comércio de *Comoditties* ambientais, como a recente implementação do comércio de carbono na bolsa de Chicago, EUA. A Figura 3 ilustra o potencial de seqüestro de C pelos sistemas A/M, Sir e Lab/M ao longo de dezesseis anos de avaliação, destacando-se os sistemas com inclusão de espécies leguminosas.



**Figura 3.** Potencial de seqüestro de  $CO_2$  atmosférico por sistemas de cultura após 16 anos sem adição de N mineral em um ARGISSOLO VERMELHO sob plantio direto. Eldorado do Sul, RS.

### Acúmulo de Carbono e Nitrogênio em Profundidade

O efeito dos sistemas de cultura sobre as alterações nos conteúdos de COT e NT do solo nas camadas 0-2,5, 2,5-7,5, 7,5-17,5 e 17,5-30 cm, após 16 anos em PD, é apresentado nas Tabelas 4 e 5. Os conteúdos de C e N acumulados em cada sistema após o 16º ano foram calculados subtraindo-se os conteúdos presentes em cada camada de solo em 1999, daqueles verificados para o sistema P/M neste mesmo ano, assumindo-se que os conteúdos de C e N deste sistema de referência

encontram-se praticamente estáveis ao longo do período experimental (Figura 2 e Tabela 3). Os acúmulos de COT e NT, na camada 0-30 cm do solo, foram maiores nos sistemas compostos por leguminosas (Sir e Lab/M) do que exclusivamente por gramíneas (A/M) e aumentaram na ordem  $A/M < Sir < Lab/M$ , correspondendo a incrementos de 4,08 a 12,50  $Mg\ ha^{-1}$  de C e de 217 a 815  $kg\ ha^{-1}$  de N (Tabelas 4 e 5). Em relação ao conteúdo inicial de COT de 0-30 cm da área experimental (sistema P/M), os acúmulos de C nos sistemas A/M, Sir e Lab/M representaram incrementos de 8, 19 e 24%, em 16 anos, correspondendo a taxas anuais de acúmulo na ordem de 0,5%, 1,2% e 1,5 %, respectivamente. Os acúmulos relativos de NT nos sistemas de cultura seguiram as mesmas tendências observadas para o COT (217, 677 e 815  $kg\ ha^{-1}$  de N). Estes resultados foram semelhantes aos obtidos por Corazza et al. (1999), os quais verificaram uma taxa anual de acúmulo de C de 1% na camada 0-40 cm de uma área sob PD por 15 anos, comparativamente a uma área mantida sob cerrado nativo.

**Tabela 4.** Conteúdo de COT do solo e acúmulo absoluto e relativo de C nos sistemas de cultura em relação ao sistema P/M, após 16 anos sob PD em diferentes camadas de um ARGISSOLO VERMELHO.

Prof. (cm)	COT				C acumulado em 16 anos					
	1999				Absoluto*			Relativo**		
	P/M	A/M	Sir	Lab/M	A/M	Sir	Lab/M	A/M	Sir	Lab/M
	.....Mgha <sup>-1</sup> .....				.....%.....					
0-2,5	6,68	6,63	9,91	9,12	-0,05	3,23	2,44	0	33	20
2,5-7,5	8,92	10,50	12,00	11,83	1,56	3,05	2,91	38	31	23
7,5-17,5	15,80	17,80	17,60	20,05	2,02	1,80	4,23	49	18	34
17,5-30	20,05	20,60	21,90	22,96	0,55	1,81	2,91	13	18	23
0-30	51,45	55,50	61,30	63,94	4,08	9,89	12,50	8	19	24

\* Obtido pela diferença entre os conteúdos de COT de cada sistema em 1999 e o conteúdo de COT do sistema P/M (referência) em 1983, nas respectivas camadas de solo.

\*\* (acúmulo absoluto C na camada/acúmulo absoluto C na camada 0-30 cm) x 100.

**Tabela 5.** Conteúdo de NT do solo e acúmulo absoluto e relativo de N nos sistemas de cultura em relação ao sistema P/M, após 16 anos sob PD em diferentes camadas de um ARGISSOLO VERMELHO.

Prof.	NT				N acumulado em 16 anos					
	1999				Absoluto*			Relativo**		
(cm)	P/M	A/M	Sir	Lab/M	A/M	Sir	Lab/M	A/M	Sir	Lab/M
	kg /ha <sup>-1</sup>				.....%					
0-2,5	523	523	801	772	0	278	249	0	41	31
2,5-7,5	719	795	954	965	76	235	246	35	35	30
7,5-17,5	1267	1393	1365	1486	126	98	219	58	14	27
17,5-30	1469	1484	1535	1570	15	66	101	7	10	12
0-30	3978	4195	4655	4793	217	677	815	5	17	20

\* Obtido pela diferença entre os conteúdos de NT de cada sistema em 1999 e o conteúdo de NT do sistema P/M (referência) em 1983, nas respectivas camadas de solo.

\*\* (acúmulo absoluto N na camada/acúmulo absoluto N na camada 0-30 cm) x 100.

Os sistemas mostraram comportamentos diferentes em relação a alocação de COT e NT no perfil do solo. No sistema Sir, o maior acúmulo de C e N ocorreu na camada 0-7,5 cm (64% do COT acumulado e 76% do NT acumulado), enquanto que no sistema Lab/M, o COT e NT acumulados na camada 7,5-30 cm foi aproximadamente duas vezes o total acumulado no sistema Sir na mesma camada de solo (7,14 Mg ha<sup>-1</sup> de C e 320 kg ha<sup>-1</sup> de N no sistema Lab/M e 3,61 Mg ha<sup>-1</sup> de C e 164 kg ha<sup>-1</sup> de N no sistema Sir) (Tabelas 4 e 5).

No sistema A/M, não houve acúmulo de C e N na camada 0-2,5 cm de solo em relação ao P/M. Neste sistema, todo N é oriundo de reciclagem e a sua baixa disponibilidade provavelmente foi limitante à produção de biomassa vegetal, o que contribuiu para um menor acúmulo absoluto de C e N em relação aos demais sistemas. No sistema A/M, o acúmulo de C e N ocorreu principalmente nas camadas 2,5-7,5 e 7,5-17,5 cm de solo (87% e 93% do C e N total acumulado, respectivamente) (Tabelas 4 e 5).

## Considerações Finais

Em regiões de elevadas temperaturas e umidade a ciclagem da MO é acelerada. Duas estratégias básicas de manejo precisam ser adotadas nessas regiões se o incremento do conteúdo de MO do solo é um dos objetivos. Primeiro, a adoção de sistemas de cultura com a máxima adição de resíduos vegetais e nitrogênio ao solo e, segundo, a redução do revolvimento do solo, através da adoção do PD. A incorporação de material vegetal em maiores profundidades no perfil pelas raízes constitui-se estratégia importante para a melhoria da qualidade do solo em subsuperfície e para o seqüestro de C no solo. Finalmente, o nitrogênio exerce papel preponderante em todos os processos biológicos e certamente não ocorrerá aumento de MO no solo se a quantidade de nitrogênio for limitante à produtividade biológica, especialmente em agroecossistemas em transição para novos formatos de produção, menos dependentes de insumos externos.

## Referências Bibliográficas

- BAYER, C. **Dinâmica da matéria orgânica em sistemas de manejo de solos**. 1996. 240f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1996.
- CORAZZA, E.J.; SILVA, J.E.; RESCK, D.V.S. et al. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, p.425-432, 1999.
- BURLE, M.L.; MIELNICZUK, J.; FOCCHI, S. Effect of cropping systems on soil chemical characteristics, with emphasis on soil acidification. **Plant and Soil**, The Hague, v.190, p.309-316, 1997.
- PILLON, C.N. **Alterações no conteúdo e qualidade da matéria orgânica do solo induzidas por sistemas de cultura em plantio direto**. 2000. 232p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.



---

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Centro de Pesquisa Agropecuária de Clima Temperado  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento  
BR 392 - km 78 - CEP 96001-970 - Pelotas, RS - Cx. Postal 403  
Fone (53) 275-8208 - Fax (53) 275-8219  
www.cpact.embrapa.br  
sec@cpact.embrapa.br*



Setembro 2004  
Tiragem: 100 exemplares

**Ministério da Agricultura,  
Pecuária e Abastecimento**

**GOVERNO  
FEDERAL**