

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**PROGRAMA DE POS-GRADUAÇÃO EM AGROECOLOGIA**  
**MESTRADO EM AGROECOLOGIA**

**CRISTINA SILVA CARVALHO**

**VARIAÇÃO DAS FRAÇÕES DE MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO EM FUNÇÃO**  
**DO MANEJO NO TRÓPICO ÚMIDO**

SÃO LUÍS

2010

**CRISTINA SILVA CARVALHO**

**Engenheira Agrônoma**

**VARIAÇÃO DAS FRAÇÕES DE MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO EM FUNÇÃO  
DO MANEJO NO TRÓPICO ÚMIDO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agroecologia da Universidade Estadual do Maranhão, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Agroecologia.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Alana das Chagas Ferreira Aguiar

SÃO LUÍS

2010

Carvalho, Cristina Silva.

Variação das frações de matéria orgânica do solo em função do manejo no trópico úmido / Cristina Silva Carvalho. – São Luís, 2010.

... f

Dissertação (Mestrado) – Curso de Agroecologia, Universidade Estadual do Maranhão, 2010.

Orientador: Profa. Dra. Alana das Chagas Ferreira Aguiar

1.Sistemas de manejo. 2.Fracionamento físico. 3.Frações orgânicas. I.Título

CDU: 631.4

**CRISTINA SILVA CARVALHO**

**VARIAÇÃO DAS FRAÇÕES DE MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO EM FUNÇÃO  
DO MANEJO NO TRÓPICO ÚMIDO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agroecologia da Universidade Estadual do Maranhão, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Agroecologia.

Aprovada em: 20/11/2010

**BANCA EXAMINADORA**

---

**Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Alana das Chagas Ferreira Aguiar** (orientadora)  
Doutora em Agronomia  
Universidade Federal do Maranhão (UFMA)

---

**Prof. Dr. Emanuel Gomes de Moura** (1º examinador)  
Doutor em Agronomia  
Universidade Estadual do Maranhão (UEMA)

---

**Prof. Dr. Jomar Livramento Barros Furtado** (2º examinador)  
Doutor em Química  
Universidade Federal do Maranhão - UFMA

A Deus, pelo imenso amor e proteção em todos os momentos da minha vida;

À minha sobrinha, Amanda (*in memoriam*), símbolo de amor, alegria e esperança em minha vida;

À minha mãe, Maria pela dedicação, amor e presença constante em minha vida;

Aos meus irmãos, Ricardo e Marcelo e minhas irmãs Edyleusa, Luciene e Sônia pelo apoio e incentivo;

Aos meus sobrinhos, Eduardo, Ricardo Jr., Natália e Natan por alegrar minha vida.

Dedico com todo o meu carinho e respeito

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pela a vida e por mais essa bênção concedida.

A minha família, pelo constante apoio, incentivo e confiança.

A Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Alana das Chagas Ferreira Aguiar pela confiança, orientação, ensinamentos e pela contínua disponibilidade em ajudar.

A todos os colegas do curso de mestrado, de forma especial a Gislane, Sylvia, Luiz, Kátia, Tércia, Évila e Edilaine pelos momentos de alegria e de estudos.

Ao Paulo, pela ajuda na realização das análises.

Ao Marlon e Adriano pela ajuda na coleta das amostras.

À Capes, pela concessão de bolsa de estudos.

Ao João pela realização das análises químicas.

A todos, que direta e indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

“Todo mundo ama um dia, todo mundo chora.

Um dia a gente chega, o outro vai embora.

Cada um de nós constrói a sua história e cada ser em si, carrega o dom de ser feliz.

Hoje me sinto mais forte, mais feliz, quem sabe, eu só levo a certeza de que muito pouco eu sei. ”

Almir Sater e Renato Teixeira

## SUMÁRIO

	<b>CAPÍTULO I – IMPORTÂNCIA DA MATÉRIA ORGÂNICA PARA O SOLO .....</b>	<b>9</b>
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>11</b>
<b>2.1</b>	<b>MATÉRIA ORGÂNICA COMO INDICADOR DE QUALIDADE DO SOLO.....</b>	<b>11</b>
<b>2.2</b>	<b>MATÉRIA ORGÂNICA NOS AGROECOSSISTEMAS .....</b>	<b>12</b>
<b>2.3</b>	<b>COMPARTIMENTOS DA MATÉRIA ORGÂNICA .....</b>	<b>15</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>22</b>
	<b>CAPÍTULO II - VARIAÇÃO DAS FRAÇÕES DE MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO EM FUNÇÃO DO MANEJO NO TRÓPICO ÚMIDO .....</b>	<b>29</b>
	<b>RESUMO .....</b>	<b>30</b>
	<b>SUMMARY .....</b>	<b>31</b>
	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>32</b>
	<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>33</b>
	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>37</b>
	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>44</b>
	<b>LITERATURA CITADA .....</b>	<b>45</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>50</b>

# **IMPORTÂNCIA DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO**

---

## **CAPÍTULO I**

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

Os solos tropicais e subtropicais têm a matéria orgânica do solo (MOS) como um dos principais componentes responsáveis pela manutenção de sua qualidade e, conseqüentemente da fertilidade (Bayer & Mielniczuk, 1999). Esses solos, ao sofrerem remoção da vegetação nativa para a implantação de sistemas de manejo ou cultivo, têm o seu conteúdo de MOS reduzido (Martins et al., 2009).

A matéria orgânica do solo é um componente essencial à qualidade e produtividade, devido a sua alta reatividade e interação com os demais constituintes do solo, além de ser um componente bastante sensível às condições ambientais e às mudanças nas práticas de manejo. De acordo com Christensen (2000), a matéria orgânica tem estreita relação com os indicadores de qualidade do solo. Fisicamente, a matéria orgânica melhora a estrutura do solo (agregação) (Salton et al., 2008), reduz a plasticidade e a coesão, aumenta a capacidade de retenção de água (Silva & Resck, 1997) e a aeração, permitindo uma maior penetração e distribuição das raízes. Do ponto de vista químico, a matéria orgânica atua diretamente sobre a fertilidade do solo, pois constitui o principal reservatório de macro e micronutrientes essenciais às plantas (Glatzela et al., 2003), aumenta a capacidade de troca catiônica (CTC) (Rein & Duxbury, 2008), o que evita perdas de nutrientes. Biologicamente, aumenta a atividade dos microrganismos do solo, pois funciona como reservatório de energia e de nutrientes para estes.

A matéria orgânica é o principal atributo indicador da sustentabilidade de um sistema de cultivo (Stenvenson, 1994; Canellas & Santos, 2005; Conceição et al., 2005), principalmente em solos sob condições tropicais (Solomon et al., 2002), e é considerada peça indispensável à manutenção da capacidade produtiva dos solos em qualquer ecossistema terrestre, ou seja, um componente-chave para a sustentabilidade de ecossistemas nativos e manejados, especialmente nos trópicos.

A MOS é altamente complexa e devido a isso, vários autores a dividem em diferentes compartimentos (frações) com base na localização, padrões biológicos, composição química ou em mistura de composição química e características físicas e no grau de estabilidade do material orgânico (Stevenson & Elliott, 1989; Baldock & Nelson, 2000; Baldock, 2002). Para compreender as diferentes frações da MOS, são utilizadas técnicas de fracionamento que permitem um melhor entendimento das funções de cada compartimento. Os diversos tipos de fracionamento são utilizados com o objetivo de

avaliar a heterogeneidade da MOS, separando as frações homogêneas quanto à natureza, dinâmica e função, mas ao mesmo tempo, diferentes entre si (Christensen, 2000). O estudo das frações de MOS, com tempo de ciclagem e formas de proteção diferentes, tem sido utilizado para a compreensão da dinâmica da MOS em diferentes sistemas de manejo (Figueiredo et al., 2007; Ferreira et al., 2007; Carneiro et al., 2008; Sá & Lal, 2009; Carneiro et al., 2009).

Nesse contexto, o estudo da MOS por meio de suas frações pode contribuir para o entendimento dos impactos nos sistemas de manejo do solo. A manutenção ou o aumento da matéria orgânica é essencial para garantir a qualidade do solo e a sustentabilidade dos agroecossistemas, portanto, é um importante indicador de qualidade do solo e deve ser estudada em seus diversos compartimentos.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 MATÉRIA ORGÂNICA COMO INDICADOR DE QUALIDADE DO SOLO**

A qualidade do solo (QS) é a capacidade que este tem de funcionar dentro dos limites de um ecossistema natural ou manejado, sustentando a produtividade de plantas e de animais, mantendo ou aumentando a qualidade do ar e da água, além de promover a saúde das plantas, dos animais e dos homens (Conceição et al., 2005; Doran, 1997; Doran & Parkin, 1994). O solo exerce determinadas funções e, quando essas são comprometidas, afetam sua qualidade.

Para avaliar a QS é necessário selecionar algumas de suas propriedades que são consideradas atributos indicadores (Doran & Parkin, 1994), e de acordo com Doran & Zeiss (2000), um eficiente indicador deve ser sensível às variações nas práticas de manejo, bem correlacionado com as funções desempenhadas pelo solo, capaz de elucidar os processos do ecossistema, ser compreensível e útil para o agricultor, de fácil e baixa mensuração.

Segundo Doran & Parkin (1994); Mielniczuk (1999) & Conceição et al. (2005), a matéria orgânica do solo (MOS) apresenta potencial para ser utilizada como atributo-chave

da QS, pois satisfaz o requisito básico de ser sensível às modificações desencadeadas pelo manejo do solo, além de ser considerada reservatório primário de nutrientes às plantas, influenciando a infiltração, retenção de água e susceptibilidade à erosão (Gregorich et al., 1994), atuando ainda como reservatório de energia para a massa microbiana (Mendonça, 1995 & Marin, 2002).

Com a retirada da vegetação natural e implantação de sistemas agrícolas, os solos se apresentam vulneráveis à degradação, devido às perdas da matéria orgânica, e de acordo com Tiessen et al. (1992); Parfitt et al. (1997) & Rangel et al. (2007), seu rápido declínio, ocorre em regiões de clima tropical e subtropical úmido, principalmente em sistemas de manejo convencionais, que envolvem intensa perturbação do solo (revolvimento por meio das práticas de aração e gradagem).

Segundo Basamba et al., (2006), a MOS é crucial para a produtividade e sustentabilidade agrícola nas regiões tropicais. De acordo com Roscoe & Machado (2002), a quantidade da MOS depende da intensidade do manejo; e o efeito do preparo do solo na distribuição desta, é devido aos diferentes graus de revolvimento do solo (Bayer & Bertol, 1999). Para Roth et al., (1987, 1992) & Basamba et al., (2006), a matéria orgânica juntamente com o manejo do solo, e em particular o cultivo da terra, tem grande influência nos indicadores da qualidade de Latossolos expostos à ação do tempo. As modificações ocorridas na qualidade e quantidade do conteúdo de MOS, significam alterações nos indicadores da QS, afetando diretamente o sistema de manejo adotado.

A MOS é um importante atributo considerado na avaliação de sistemas de uso e manejo do solo (Doran & Parkin, 1994), portanto, é um indicador-chave de sua qualidade.

## **2.2 MATÉRIA ORGÂNICA NOS AGROECOSSISTEMAS**

O manejo do solo é um dos principais fatores que determinam a qualidade e a sustentabilidade do sistema de produção agrícola (Vezzani, 2001). As diversas atividades agrícolas tem grande importância na regulação dos estoques da MOS, pois essa quantidade varia com o tipo de solo, sistema de cultivo e manejo, e ainda com as condições climáticas específicas da região, e segundo Lovato (2001), esses fatores que determinam a quantidade da matéria orgânica no solo, favorecem ou retardam os processos de decomposição dos resíduos e de decomposição e síntese da MOS. Em condições de anoxia (ambientes

alagados), onde a atividade microbiana é afetada devido à falta de oxigênio, o processo de decomposição orgânica é mais lento, ocorrendo assim, maior acúmulo de carbono orgânico (C-org). Os solos submetidos ao uso agrícola, baseados em práticas de manejo convencionais, apresentam um declínio no seu conteúdo de matéria orgânica, o que ocorre mais rapidamente em regiões tropicais e subtropicais, e de forma mais lenta nas regiões temperadas. Em sistemas de cultivo convencional, a decomposição da matéria orgânica é acelerada devido ao revolvimento do solo causado pela aração e gradagem, já em sistema de plantio direto, o conteúdo de matéria orgânica é conservado, pois neste, a taxa de mineralização é baixa.

As taxas de emissão de C-org para a atmosfera, também são variáveis, e de acordo com Lal & Logan (1995), a taxa anual de emissão para os ecossistemas tropicais é de aproximadamente  $0,5 \text{ Pg C-org ano}^{-1}$ , dos quais 37,1% são oriundos da queima anual de pastagens nativas, 30,6% do desmatamento, 18,2% das pastagens, 12,4% do uso da aração e 1,2% da mudança de cultivo.

Segundo Lal (1996), alguns fatores estão relacionados aos processos de entrada e saída de C-org do solo, e estes fatores, por sua vez, são resultantes dos processos de respiração, decomposição, erosão e lixiviação, tais fatores são:

a) Desflorestamento - afeta o estoque de C-org por meio da influência na qualidade e quantidade da biomassa vegetal produzida e incorporada ao solo. Logo após a derrubada o efeito no conteúdo de C-org pode ser pequeno ou nulo, entretanto, em um período relativamente curto, todo o C-org da camada superficial pode ser perdido. A limpeza mecanizada pode levar à compactação do solo, redução na infiltração e incremento no escoamento superficial, e erosão do solo que reduzem o conteúdo de C-org. O intenso cultivo do solo após o desflorestamento diminui gradativamente o C-org, o que pode levar a perdas de 25 a 60% nos primeiros 5 cm superficiais e de 15 a 30% na camada 5-15cm;

b) Sistemas de cultivo - a combinação de cultivos e sua seqüência influenciam o conteúdo de C-org por meio do efeito na produção total e taxa da produção de biomassa vegetal, relação parte aérea/raiz, e relação do carbono (C) e outros nutrientes na biomassa vegetal (relação C/N, C/P e C/S). Os sistemas de cultivo que se caracterizam por manter um nível favorável de C-org no solo, também manterão elevados níveis em subsuperfície, devido à biomassa radicular. Os sistemas com distúrbio no solo e manejo residual influenciam no seqüestro de carbono por meio do efeito no retorno da biomassa vegetal ao solo, taxa de oxidação e mineralização do C-org, e perdas devido à erosão e lixiviação. Sistemas de cultivo que envolve o revolvimento do solo, principalmente com aração e

gradagem, possuem menor conteúdo de C-org. Portanto, quando solos sob vegetação nativa ou pastagens são convertidos em áreas agrícolas, a taxa de declínio do C-org é maior em áreas que utilizam a aração do que em áreas que usam o plantio direto.

Segundo Silva et al. (1994); Bayer et al. (2004), o teor de MO apresenta um rápido declínio quando o solo é submetido a sistemas de manejo com revolvimento intensivo, e de acordo com Cavalcante et al. (2007), a redução do conteúdo de MO em cultivos contínuos pode ser atribuída à taxa de decomposição da MO humificada devido ao baixo retorno dos resíduos vegetais ao solo. Corazza et al. (1999) observaram a taxa de acumulação da MO em Latossolo da Região do Cerrado sob plantio direto, plantio convencional e cerrado nativo, verificaram que o solo cultivado com grade pesada apresentou uma perda de 8,3 Mg ha<sup>-1</sup> em 12 anos em relação ao cerrado nativo, e no solo em plantio direto, verificou-se em 15 anos, um aumento de 21,4 Mg ha<sup>-1</sup> de C, o que corresponde a uma taxa anual de acúmulo de 1,43 Mg ha<sup>-1</sup> de C no solo.

Na Região do Cerrado em Latossolo Vermelho argiloso com plantio direto durante seis anos e sob quatro sistemas de culturas de outono, Bayer et al. (2004) verificaram o acúmulo de matéria orgânica. Estes autores observaram que o sistema de plantio direto incrementou o conteúdo de C-org no solo em relação ao sistema de preparo convencional, sendo, portanto, um efeito restrito às camadas superficiais e dependente do sistema de cultura utilizado. Esse acúmulo de C no plantio direto se deu preferencialmente na matéria orgânica particulada, a qual é mais sensível às mudanças de manejo do solo;

c) Gramíneas tropicais - o crescimento em profundidade das raízes de gramíneas é de grande importância para sequestro de C pelo solo.

Segundo Wohlenberg et al. (2004), a MOS e o desenvolvimento das raízes são os principais agentes responsáveis pela formação dos agregados maiores, e portanto, a matéria orgânica tem grande importância como agente de agregação do solo, pois com o aumento do seu conteúdo, ocorre também o aumento do diâmetro, da estabilidade e da porcentagem dos agregados. Portanto, solos com maior conteúdo de matéria orgânica, apresentam uma maior quantidade de agregados maiores e com maior estabilidade.

As raízes representam uma pequena fração dos constituintes orgânicos do solo, mas exercem uma grande influência na formação e estabilidade dos agregados do solo. As gramíneas perenes, por exemplo, por apresentarem maior densidade de raízes e melhor distribuição dessas no solo, favorecem as ligações dos pontos de contato entre partículas minerais e agregados, contribuindo assim para sua formação e estabilidade, podendo ser usadas como plantas recuperadoras da estrutura do solo em áreas degradadas (Silva &

Mielniczuc, 1997). Pinheiro et al. (2004) observaram maiores teores de carbono em sistemas de preparo do solo com cobertura vegetal de gramíneas;

d) Resíduos agrícolas – o manejo de resíduos é um aspecto importante do preparo para semeadura. Resíduos de cultura na superfície do solo como “mulching” é uma prática benéfica que melhora as propriedades edafológicas, devido ao efeito no conteúdo de C-org;

A incorporação de resíduos vegetais em plantio convencional resultou relativamente em maiores teores de carbono orgânico total (COT) e carbono orgânico particulado (COP) na profundidade de 10-20 cm, quando comparado ao plantio direto em Latossolo Bruno alumínico câmbico (Costa et al., 2004). Esses mesmos autores verificaram ainda, que um aumento de carbono, provocado pela adição de resíduos vegetais, associado à sua manutenção na superfície do solo, diminuiu a taxa de decomposição microbiana, resultando em um acúmulo diferencial de 3,2 Mg ha<sup>-1</sup> de COT e 1,2 Mg ha<sup>-1</sup> de COP na camada de 0-20 cm do solo em plantio direto em relação ao convencional.

e) Manejo nutricional - a retenção do C-org no solo como húmus, também é determinada pela avaliação do estado nutricional de vegetais, especialmente nitrogênio (N), fósforo (P) e enxofre (S). Embora o estoque de C-org aumente pela adição de 10 Mg ha<sup>-1</sup> de biomassa vegetal ou resíduo, para o C-org desses resíduos ser convertido em húmus é necessário que se tenha adequada quantidade de outros nutrientes, como 833 Kg de N (relação C/N de 12/1), 200 Kg de P (relação C/P de 50/1), e 143 Kg de S (relação C/S de 70/1), entre outros elementos essenciais.

A sustentabilidade dos agroecossistemas está diretamente relacionada com a manutenção da MOS, pois desequilíbrios em seu suprimento e alterações nas taxas de decomposição, causa sua redução e conseqüentemente a degradação de solos sob cultivo. Portanto, a matéria orgânica é um importante componente para a manutenção da qualidade dos solos.

### **2.3 COMPARTIMENTOS DA MATÉRIA ORGÂNICA**

A identificação dos diversos compartimentos da matéria orgânica é de grande importância para o entendimento de sua dinâmica nos diferentes sistemas de manejo do solo, podendo-se identificar o nível de sustentabilidade de determinado sistema.

A matéria orgânica (MO) pode acumular no solo, persistindo por anos, séculos e até milênios, dependendo do seu grau de proteção. Os componentes solúveis da MOS são rapidamente decomponíveis, levando apenas algumas horas ou dias. Já as frações mais resistentes, possuem uma decomposição muito lenta, fazendo com que ela persista no solo por centenas de anos (Paul & Clark, 1996; Hassink & Whitmore, 1997). Esta resistência está associada à proteção química de estruturas, o que impede a ação da atividade biológica (Skjemstad et al., 1999), sendo um componente quimicamente recalcitrante e fisicamente mais protegido que a fração leve da MOS (Cambardella & Elliot, 1993), e como resultado desta maior estabilização, solos de textura fina geralmente possuem maior quantidade de MOS que os de textura grosseira (Hassink & Whitmore, 1997), como por exemplo, o compartimento ligado à fração argila, em sistemas de manejo sem revolvimento do solo e com alta adição de resíduos, possui maior acúmulo de matéria orgânica (Bayer, 1996). Os compartimentos da MOS são influenciados diretamente pelo sistema de manejo utilizado.

O conteúdo de carbono existente no sistema pode ser dividido em compartimentos dinâmicos, que sofrem ação de fatores climáticos, edáficos e antrópicos (Scholes et al., 1997; Schlesinger, 1999). Portanto, as frações orgânicas do solo podem ser estabelecidas com base em critérios de localização, composição química ou grau de estabilidade do material orgânico (Stevenson & Elliott, 1989; Baldock & Nelson, 2000). Segundo Woomer et al. (1994); Duxbury, et al. (1989), modelos têm sido apresentados com o objetivo de separar os diferentes componentes da MOS.

O modelo apresentado por Duxbury, et al. (1989) considera os componentes da MOS como reservatórios física e quimicamente protegidos, e não protegidos, o C-biomassa (BIO) e C-lábil (LAB). O reservatório BIO é constituído pela fauna e flora microbiana do solo, ou seja, resíduos microbianos e células vivas, sendo, portanto, menos persistente em solos de regiões tropicais que em solos de regiões temperadas. Já o reservatório LAB é constituído por materiais prontamente decomponíveis pelo ataque microbiano. Este reservatório é controlado pela decomposição e pela adição de restos vegetais, que por sua vez, dependem das condições climáticas. Os reservatórios física (POM) e quimicamente (COM) protegidos são providos de mecanismos de proteção contra a decomposição por microrganismos. Assim, o reservatório POM é a fração fisicamente protegida nos agregados de solos não cultivados, é o C-sequestrado nos poros. Já o reservatório COM é a fração protegida quimicamente pelas interações com colóides orgânicos ou minerais.

Mielniczuk (1999), com o objetivo de obter uma melhor visualização e

entendimento desses compartimentos, classificou os estoques da matéria orgânica (MO) em quatro compartimentos, que possuem diferentes persistência e funções no solo, tais como:

a) Biomassa vegetal viva – depende do sistema de produção ou tipo de cultura, fertilidade do solo, água, temperatura e radiação solar, sendo, portanto, de grande importância na reciclagem de nutrientes, proteção do solo contra erosão e produção das culturas agrícolas, persistindo no solo nesse estado por 3 meses;

b) Resíduos vegetais, raízes e exsudados – diretamente dependente do compartimento do item a, tipo de resíduo (relação C/N), grau de trituração e de incorporação dos resíduos, e condições climáticas. Funciona como fonte de alimento para biota, proteção do solo contra erosão e reservatório de nutrientes às plantas. Seu tempo de residência é semelhante ao do primeiro compartimento. É, portanto, um compartimento muito dinâmico, onde 80% do carbono é liberado como CO<sub>2</sub>, pela ação dos microrganismos em curto período de tempo (3 a 4 meses), restando apenas 20% que farão parte de compostos orgânicos mais estáveis nos dois compartimento seguintes;

c) MO não protegida – subdividida em biomassa microbiana, que é dependente das condições edafoclimáticas, do tipo e magnitude do compartimento do item b, fertilidade e grau de revolvimento do solo, é responsável pela decomposição, agregação temporária e como reservatório de nutrientes às plantas; e em fração lábil da MO (>53 mm), que depende dos compartimentos do item a e b, das condições edafoclimáticas do local, intensidade de revolvimento do solo e idade da matéria orgânica, é responsável pela agregação temporária, e ainda funcionando como reservatório de energia e nutrientes para os microrganismos, além de atuar na CTC. A fração lábil é afetada por perturbações no meio, possuindo um tempo de persistência de 2 a 5 anos, representando aproximadamente 1/3 do carbono orgânico do solo;

d) MO protegida (< 53 mm) – é subdividida em função do tipo de proteção, estrutural ou coloidal. As duas frações são dependentes da magnitude dos compartimentos anteriores, intensidade de revolvimento do solo e textura. A fração estrutural depende ainda do grau de destruição dos agregados e a fração coloidal, por sua vez, depende da mineralogia do solo. São responsáveis pela agregação permanente e CTC do solo, podendo persistir no solo por até 1000 anos.

Baldock (2002) apresenta uma divisão abrangente e didática dos componentes da MOS. Seu modelo conceitual é estático, em que a diferenciação da composição dos componentes orgânicos baseia-se em padrões biológicos, composição química ou em

mistura de composição química e características físicas. O autor apresenta dois principais componentes da MOS, a matéria orgânica viva e morta. A matéria orgânica viva é subdividida em fitomassa (tecidos vivos de origem vegetal), biomassa microbiana (MO associada com células de microrganismos vivos do solo) e biomassa da fauna (MO associada à fauna viva do solo). A matéria orgânica morta é composta por MO dissolvida (compostos orgânicos solúveis em água encontrados na solução do solo os quais são por definição  $< 0,45 \mu\text{m}$ ) e MO particulada (fragmentos orgânicos com estrutura celular reconhecível, derivados de qualquer fonte, mas usualmente dominado por material derivado de plantas). Nesta, são incluídos os materiais da liteira (material orgânico desprovido de material mineral localizado na superfície do solo), matéria macrorrgânica (fragmentos de MO  $>20\mu\text{m}$  ou  $<50\mu\text{m}$  contido dentro da matriz do mineral do solo e tipicamente isolado por peneiramento em solo disperso) e fração leve (materiais orgânicos isolados da fração mineral do solo por flotação utilizando água ou líquidos de densidade entre  $1,5 - 2,0 \text{ g cm}^{-3}$ ). Na matéria orgânica morta Baldock (2002), ainda inclui o húmus (materiais orgânicos remanescentes no solo após a remoção da matéria macrorrgânica e a matéria orgânica dissolvida), no qual se inclui as biomoléculas não- húmicas (estruturas orgânicas que podem ser incluídas na categoria de biopolímeros incluindo polissacarídeos, açúcares, proteínas, aminoácidos, gorduras e lignina) e as substâncias húmicas (moléculas orgânicas com estrutura química que não permitem ser enquadradas na categoria das biomoléculas não-húmicas, como os ácidos húmicos, ácidos fúlvicos e humina); e de acordo com Kononova (1882) e Andreux (1996), essas substâncias constituem de 85 a 90% da reserva total do carbono orgânico (C-org). E finalmente a matéria orgânica inerte (materiais orgânicos muito carbonizados incluindo carvão, grafite, material vegetal queimado com grande tempo de ciclagem).

Diekow (2003), por meio de informações oriundas de diversos autores, resumiu as diferentes frações da matéria orgânica em três grupos:

- a) frações com base na localização da matéria orgânica (particulada, associada aos minerais, dissolvida, inerte e biomassa microbiana);
- b) frações com base na composição química da matéria orgânica (biomoléculas com estruturas moleculares e substâncias húmicas com estrutura molecular);
- c) frações com base no grau de estabilidade da matéria orgânica.

Então, Baldock & Skjemstad (2000) a partir da combinação das frações baseadas na localização com as frações baseadas na composição química, estabeleceram outro grupo de frações orgânicas, com base no grau de estabilidade que estas possuem ao ataque dos

microrganismos. Assim, duas frações foram estabelecidas, a lábil e a estável. A primeira é mais propensa ao ataque microbiano que a segunda, devido sua localização física e composição química, como, por exemplo, a celulose localizada na matéria orgânica particulada (MOP). A fração estável apresenta como exemplos as substâncias húmicas associadas aos minerais, cujos compostos apresentam recalcitrância molecular e atuam na proteção coloidal.

De forma mais complexa, esses autores ainda estabeleceram cinco frações, onde o grau de estabilidade é expresso de acordo com o seu tempo de meia vida ( $t/2$ ). Logo, tem-se as seguintes frações:

- a) compartimento metabólico ( $t/2 = 0,5$  anos): biomoléculas (proteínas, lipídios, amido e ácidos nucleicos) também presentes na MOP e no resíduo superficial;
- b) compartimento ativo ( $t/2 = 1,5$  anos): biomoléculas constituintes de estruturas celulares e metabólitos da biomassa microbiana;
- c) compartimento estrutural ( $t/2 = 3$  anos): biomoléculas (celulose, hemicelulose e lignina) presentes principalmente na MOP e resíduo superficial;
- d) compartimento lento ( $t/2 = 25$  anos): biomoléculas associadas a minerais; biomoléculas da MOP protegida por microagregados e;
- e) compartimento passivo ( $t/2 = 1000$  anos): substâncias húmicas associadas a minerais de argila e protegidas fisicamente.

A MOS é um conjunto heterogêneo de materiais orgânicos que diferem em composição, grau de disponibilidade para os microrganismos e função no ambiente (Carter, 2001), ou seja, a MOS é bastante complexa, e devido a essa complexidade química e interação com a fração mineral, foram desenvolvidas técnicas de fracionamento para um melhor entendimento das funções de seus diferentes compartimentos. Assim, os diferentes tipos de fracionamento de solo em estudos de matéria orgânica procuram reduzir a heterogeneidade, separando frações homogêneas quanto à natureza, dinâmica e função, mas ao mesmo tempo, suficientemente distintas entre si (Christensen, 2000; Pinheiro et al., 2004). Portanto, a escolha do método de fracionamento depende da natureza do estudo, seja esse para a caracterização e identificação química de componentes específicos da MOS ou para a quantificação ou descrição dos compartimentos da MOS importantes na ciclagem e liberação de nutrientes às plantas (Collins et al., 1997; Pinheiro et al., 2004).

Segundo Christensen (1992), a matéria orgânica é encontrada no solo sob diferentes formas orgânicas, desde materiais livres com elevada biodisponibilidade até materiais de composição química mais estável, que estão em íntima associação com a fase mineral. O

fracionamento físico é uma técnica eficiente no estudo da MOS, já que possibilita a separação de diferentes compartimentos orgânicos, cada qual respondendo, de forma distinta, às práticas de manejo (Collins et al., 1997; Pinheiro et al., 2004). O fracionamento físico-densimétrico permite o isolamento e a quantificação dos compartimentos mais lábeis da MOS, a fração leve (FL), que corresponde à MO não complexada, sendo dividida em fração leve-livre (FLL) e fração leve intra-agregado (FLI) (Pinheiro et al., 2004). O fracionamento físico-granulométrico permite o estudo dos compartimentos mais humificados e mais estáveis às mudanças no solo, provocados pelo manejo (Feller & Beare, 1997), a fração pesada (FP), que são as frações associadas às partículas de areia, silte e argila. De acordo com Golchin et al., 1994, 1997; Christensen, 2000), a FP possui tamanho reduzido e grau mais avançado de decomposição em relação à FL.

As frações da matéria orgânica que apresentam elevada taxa de ciclagem e que respondem mais rápido às mudanças do manejo do solo correspondem a uma pequena fração do carbono orgânico (Christensen, 1996). Segundo Stevenson, (1994), os indicadores mais sensíveis às modificações causadas pelo manejo, indicando alterações da qualidade do solo, são os ligados aos compartimentos mais lábeis da MO, como o compartimento associado à fração leve (FL).

A FL corresponde à MO livre, representando de 10 a 30% do carbono orgânico (Silva & Resck, 1997) e de acordo com Christensen (1992), o acúmulo desta fração é influenciado pelo uso da terra, tipo de vegetação e outros fatores que alteram o balanço entre a produção e a decomposição da MOS, ou seja, os teores de carbono (C) associados à fração leve (C-FL) variam com o solo, clima e com as práticas de manejo adotadas, e dessa maneira, esta fração é ciclada em menor tempo que a MOS como um todo (Janzen et al., 1992; Silva & Resck, 1997; Soares et al., 2008). A fração pesada (FP) compreende o C associado aos minerais do solo, apresentando um avançado grau de decomposição. Segundo Christensen (1992), o teor de C ligado a essa fração contribui com a maior parte do C encontrado nos solos, além de englobar frações de maior estabilidade química associada à areia, à argila e ao silte.

Com a técnica de fracionamento físico densimétrico e granulométrico da MOS, é possível separar o C associado à FL do C associado à FP, já que esta técnica quantifica frações que são distinguidas quanto à composição e localização física no solo, além de responderem diferentemente às práticas de manejo (Preston, 1996; Soares et al., 2008).

Vários trabalhos realizados, mostram as frações aqui relatadas como indicadores sensíveis às alterações na MOS, causadas pelas práticas de uso e manejo (Conceição et al.,

2005; Freixo et al., 2002a, 2002b; Roscoe & Buurman, 2003; Pinheiro et al., 2004; Bayer et al., 2004). Portanto, a quantificação do carbono em frações pode ser uma ferramenta de grande importância para avaliar a qualidade do solo.

Os mecanismos de separação dos componentes orgânicos do solo têm sido aperfeiçoados para atender ao crescente uso de modelos de simulação aplicados ao estudo da MOS (Sohi et al., 2001; Gjettermann et al., 2008) e as funções de cada um dos compartimentos são diferenciadas e de extrema importância para a definição das práticas de manejo para a elaboração de um sistema sustentável.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDREUX, F. Humus in world soils. In: PICCOLO, A. (Ed.) **Humic substances in terrestrial ecosystems**. Amsterdam: Elsevier, 1996.

BALDOCK, J. A.; NELSON, P. N. Soil organic matter. In: SUMNER, M. E. (Ed.). **Handbook of soil science**. Boca Raton: CRC Press, p. 25-84, 2000.

BALDOCK, J. A. Interactions of organic materials and microorganisms with minerals in the stabilization of soil structure. In: HUANG, P. M.; BOLLAG, J. M.; SENESI, N. (Ed.). **Interactions between soil particles and microorganisms: impacts on the terrestrial ecosystem**. IUPAC Series on analytical and physical chemistry of environmental systems. v. 8, p. 58-132, 2002.

BALDOCK, J. A.; SKJEMSTAD, J. O. Role of the soil matrix and minerals in protecting natural organic materials against biological attack. **Organic Geochemistry**, Oxford, v. 31, n. 7-8, p. 697-710, 2000.

BASAMBA, T.A., BARRIOS, E., AMÉZQUITA, E., RAO, I.M., SINGH, B.R. Tillage effects on maize yield in a Colombian savanna oxisol: Soil organic matter and P Fractions. **Soil and Tillage Research**, v. 91, p. 13-142, 2006.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n.7, p. 677-683, 2004.

BAYER, C. & BERTOL, I. Características químicas de um Cambissolo Humico afetadas por sistemas de preparo, com ênfase à matéria orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 687-694, 1999.

BAYER, C. **Dinâmica da matéria orgânica no solo em diferentes sistemas de manejo**. 1996. 240 p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1996.

CAMBARDELLA, C.A.; ELLIOT, E.T. Carbon and nitrogen distribution in aggregates from cultivated and native grassland soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 57, p. 1071-1076, 1993.

CANELLAS, L.P. & SANTOS, G.A. Humosfera: Tratado preliminar sobre a química das substâncias húmicas. Campos dos Goytacazes, CCTA/UENF, 2005. 309p.

CARTER, M.R. Organic matter and sustainability. In: REES, R.M.; BALL, B.C.; CAMPBELL, C.D.; WATSON, C.A. (Ed.). **Sustainable management of soil organic matter**. New York: CABI Publishing, p. 9-22, 2001.

CARNEIRO, M. A. C.; ASSIS, P. C. R.; MELO, L. B. C.; PEREIRA, H. S.; PAULINO, H. B.; SILVEIRA NETO, A. N. Atributos bioquímicos em dois solos de cerrado sob diferentes sistemas de manejo e uso. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 38, n. 4, p. 276-283, 2008.

CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D.; REIS, E. F.; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. R. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 1, p. 147-157, 2009.

CAVALCANTE, E.G.S.; ALVES, M.C.; PEREIRA, G.T.; SOUZA, Z.M. Variabilidade especial de MO, P, K e CTC do solo sob diferentes usos e manejos. **Revista Ciência Rural**, v. 37, n. 2, p. 394-400, 2007.

CHRISTENSEN, B.T. Organic matter in soil - structure, function and turnover. In: **Plant Production**. Tjele 2000, 95p.

CHRISTENSEN, B.T. Physical fractionation of soil organic matter in primary particle size and density separates. **Advances in Soil Science**, v. 20, p. 1-90, 1992.

COLLINS, H.P.; PAUL, E.A.; PAUSTIAN, K. & ELLIOTT, E.T. Characterization of soil organic carbon relative to its stability and turnover. In: **Soil organic matter in temperate agroecosystems** - long-term experiments in North America. Boca Raton, CRC Press, p. 51-72 1997.

CONCEIÇÃO, P.C., AMADO, T.J.C., MIELNICZUK, J., SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 777-788, 2005.

COSTA, F.S.; BAYER, C.; ALBUQUERQUE, J.A.; FONTOURA, S.M.V. Aumento de matéria orgânica num Latossolo Bruno em plantio direto. **Revista Ciência Rural**, v. 34, n. 2, p. 586-589, 2004.

DIEKOW, J. **Estoque e qualidade da matéria orgânica do solo em função de sistemas de culturas e adubação nitrogenada no sistema plantio direto**. 2003. 154 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

DORAN, J.W. Soil quality and sustainability. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26, 1997, Rio de Janeiro. **Palestras...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. 1 CD-ROM.

DORAN, J.W. & PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F. & STERWART, B.A. eds. Defining soil quality for a sustainable environment. Madison. **Soil Science Society of America**, p. 3-22, 1994.

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 Press, p. 33-69, 1989.

FELLER, C. & BEARE, M.H. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. **Geoderma**, v. 79, p. 69-116, 1997.

FERREIRA, E. A. B.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C.; RAMOS, M. L. G. Dinâmica do carbono da biomassa microbiana em cinco épocas do ano em diferentes sistemas de manejo do solo no Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 6, p. 1625-1635, 2007.

FREIXO, A. A.; MACHADO, P. L. O. A.; GUIMARÃES, C. M.; SILVA, C. A.; FADIGAS, F. S. Estoques de carbono e nitrogênio e distribuição de frações orgânicas de Latossolo do Cerrado sob diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 425-434, 2002a.

FREIXO, A. A.; MACHADO, P. L. O. A.; SANTOS, H. P.; SILVA, C. A.; FADIGAS, F. S. Soil organic carbon and fractions of a Rhodic Ferralsol under the influence of tillage and crop rotation systems in Southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 64, p. 221-230, 2002b.

FIGUEIREDO, C. C.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C.; FERREIRA, E. A. B.; RAMOS, M. L. G. Carbono e nitrogênio da biomassa microbiana em resposta a diferentes sistemas de manejo em um Latossolo Vermelho no Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 3, p. 551-562, 2007.

GJETTERMANN, B.; STYCZEN, M.; HANSEN, H. C. B.; VINTHER, F. P.; HANSEN, S. Challenges in modelling dissolved organic matter dynamics in agricultural soil using DAISY. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 40, n. 6, p. 1506-1518, 2008.

GOCHIN, A.; BALDOCK, J.A.; OADES, J.M.A. Model linking organic matter decomposition, chemistry and aggregate dynamics. In: LAL, R.; KIMBLE, J.M.; FOLLETT, R.F.; STEWART, B.A. (Ed.). Soil processes and the carbon cycle. **Advance in Soil Science**. Boca Raton: CRC Press, p. 245-266, 1997.

GOCHIN, A.; OADES, J.M.A.; SKEMSTAD, J.O.; CLARKE, P. Soil structure and carbon cycling. **Australian Journal of soil Research**, v. 32, p.1 043-1068, 1994.

GREGORICH, E.G.; ELLERT, B.H.; DRURY, C.F. Fertilization effects on soil organic matter turnover and corn residue carbon storage. **Soil Science Society of America Journal**, v. 60, p. 472-476, 1996.

GREGORICH, E.G., CARTER, M.R., ANGERS, D.A., MONREAL, C.M., ELLERT, B.H. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. **Canadian Journal Soil of Sciences**, v. 74, p. 367-385, 1994.

HASSINK, J. & WHITMORE, A.P. A model of the physical protection of organic matter in soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 61, p. 131-139, 1997.

JANTALIA, C. P.; RESCK, D. V. S.; ALVES, B. J. R.; ZOTARELLI, L.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Tillage effect on C stocks of a clayey Oxisol under a soybean-based crop rotation in the Brazilian Cerrado region. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 95, n. 1-2, p. 97-109, 2007.

KONONOVA, M.M. **Matéria orgânica del suelo**; su naturaleza, propiedades y métodos de investigacion. Barcelona: Oikos-Tau, 1982. 365p.

LAL, R. Land use and soil management effects on soil organic matter dynamics on alfisols in Western Nigeria. In: LAL, R.; KIMBLE, J.M.; FOLLETT, R.F. & STEWART, B.A. **Soil processes and the carbon cycle**. Advances in soil Science, 1996. p.109-126.

LAL, R. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. **Geoderma**, Amsterdam, v. 123, n. 1-2, p. 1-22, 2004.

LAL, R. Soil carbon sequestration in Latin America. In: LAL, R.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M.; ETCHEVES, J.; CERRI, E. **Carbon sequestration in soils of Latin America**. New York: Food Products Press, 2006. p. 49-64.

LOVATO, T. **Dinâmica do carbono e do nitrogênio do solo afetada por preparos do solo, sistemas de cultura e adubo nitrogenado**. 2001. 132 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

MARIN, A.M.P. Impactos de um sistema agroflorestal com café na qualidade do solo. 2002. 83 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, MG, 2002.

MENDONÇA, E.S. **Matéria orgânica**. Departamento de Solos. 1995. 42 p. Apostila. Universidade Federal de Viçosa, MG, 1995.

PARFITT, R.L.; THENG, J.S.; WHITTON, J.S. & SHEPHERD, T.G. Effects of clay minerals and land use on organic matter pools. **Geoderma**, v. 75, p. 1-12, 1997.

PAUL, E.A.; CLARK, F.E. **Soil microbiology and biochemistry**. 2. ed. San Diego: Academic Press, 1996. 340p.

PINHEIRO, E.F.M.; PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C.; MACHADO, P.L.O.A. Fracionamento densimétrico da matéria orgânica do solo sob diferentes sistemas de manejo e cobertura vegetal em Paty do Alferes (RJ). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 731-737, 2004.

RANGEL, O.J.P.; SILVA, C.A.; GUIMARÃES, P.T.G. Estoque e frações da matéria orgânica de latossolo cultivado com cafeeiro em diferentes espaçamentos de plantio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1341-1353, 2007.

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.

REIN, T. A.; DUXBURY, J. M. Modeling the soil organic carbon, texture and mineralogy relations in the profile of oxisols from the brazilian Cerrado. In: SIMPÓSIO NACIONAL CERRADO E II SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE SAVANAS TROPICAIS, 9., 2008, Brasília. **Anais...** Brasília: Embrapa Cerrados, 2008. 1 CD ROM.

ROSCOE, R.; BUURMAN, P. Tillage effects on soil organic matter in density fractions of a Cerrado Oxisol. **Soil and Tillage Research**, v. 70, p. 107-119, 2003.

ROTH, C.H.; VIEIRA, M.J., DERPSCH, R., MEYER, B., FREDE, H.G. Infiltrability of an Oxisol in Paraná, Brazil as influenced by different crop rotations. **J. Agron. Crop Sci.** v. 159, p. 186-191, 1987.

ROTH, C.H., WILCZYNSKI, W., CASTRO FILHO, C. Effect of tillage and liming on organic matter composition in a Rhodic Ferralsol from southern Brazil. **Z. Pflanzenernaehr Bodenk**, v. 155, p. 175-179, 1992.

SÁ, J. C. M.; LAL, R. Stratification ratio of soil organic matter pools as an indicator of carbon sequestration in a tillage chronosequence on a Brazilian Oxisol. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 103, n. 1, p. 46-56, 2009.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P. C.; FABRÍCIO, A. A.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 11-21, 2008.

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

SILVA, I.F. & MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 20, p. 113-117, 1997.

SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S. Matéria orgânica do solo. In: VARGAS, M. A. T.; HUNGRIA, M. **Biologia dos solos dos cerrados**. Planaltina: Embrapa-CPAC, 1997. p. 467-524.

SCHLESINGER, W.H. Carbon sequestration in soils. **Science**, Washington, v. 284, p. 2095, 1999.

SCHOLES, M.C.; POWSON, D.; TIAN, G. Input control of organic matter dynamics. In: ELIOT, J.M. et al. (Eds.) Management of carbon in tropical soils under global change: science, practice and policy. **Geoderma**, Special Issue, Amsterdam, v. 79, p. 25-47, 1997.

SKJEMSTAD, J.O.; TAYLOR, J.A. & SMERNIK, R.J. Estimation of charcoal (char) in soils. **Commun. Soil Sci. Plant Anal**, v. 30, p. 2283-2298, 1999.

SOHI, S. P.; MAHIEU, N.; ARAH, J. R. M.; POWLSON, D. S.; MADARI, B.; GAUNT, J. L. A procedure for isolating soil organic matter fractions suitable for modeling. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 65, n. 4, p. 1121-1128, 2001.

TIESSEN, H.; SALCEDO, I.H. & SAMPAIO, E.V.S.B. Nutrient and soil organic matter dynamics under shifting cultivation in semiarid northeastern Brazil. **Agric. Ecosyst. Environ.**, v. 38, p. 139-151, 1992.

VEZZANI, F.M. **Qualidade do sistema solo na produção agrícola. Porto Alegre**, 2001. 184 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

WOHLENBERG, E.V.; REICHERT, J.M; REINERT, D.J.; BLUME, E. Dinâmica da agregação de um solo Franco-Arenoso em cinco sistemas de culturas em rotação e em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, v. 28, p. 891-900, 2004.

**VARIAÇÃO DAS FRAÇÕES DE MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO EM FUNÇÃO  
DO MANEJO NO TRÓPICO ÚMIDO.**

---

**CAPÍTULO II**

## VARIAÇÃO DAS FRAÇÕES DE MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO EM FUNÇÃO DO MANEJO NO TRÓPICO ÚMIDO <sup>(1)</sup>

Cristina Silva Carvalho <sup>(2)</sup>, Alana das Chagas Ferreira Aguiar <sup>(3)</sup>, Paulo Henrique Marques Monroe <sup>(4)</sup> & Emanuel Gomes de Moura <sup>(5)</sup>

---

<sup>(1)</sup> Parte da Dissertação de Mestrado do primeiro autor. Programa de Pós-Graduação em Agroecologia, Universidade Estadual do Maranhão – UEMA. Recebido para publicação em setembro de 2010 e aceito em / / .

<sup>(2)</sup> Bolsista da CAPES, Universidade Estadual do Maranhão - UEMA, Cx. Postal 09, CEP: 65054-970, São Luís (MA). E-mail: [criscarvalho25@yahoo.com.br](mailto:criscarvalho25@yahoo.com.br)

<sup>(3)</sup> Professor Adjunto I, CCAA/Universidade federal do Maranhão – UFMA, PPG-Agroecologia, UEMA. E-mail: [alanaaguiar@elo.com.br](mailto:alanaaguiar@elo.com.br)

<sup>(4)</sup> Aluno PPG-Agroecologia, UEMA. E-mail: [paulomonroes@yahoo.com.br](mailto:paulomonroes@yahoo.com.br)

<sup>(5)</sup> Professor adjunto III, PPG-Agroecologia, UEMA. E-mail: [egmoura@elo.com.br](mailto:egmoura@elo.com.br)

## RESUMO

Os diferentes sistemas de uso e manejo dos solos alteram os conteúdos de carbono (C) presentes no solo. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito dos sistemas de uso da terra utilizados na Região Centro-Norte do Maranhão sobre os estoques de carbono orgânico total e suas frações. Os sistemas de uso da terra utilizados foram: dois cultivos em aléias, solo com aração, corte e queima, pastagem e capoeira. As amostras de solos foram coletadas no início do período chuvoso de 2009 na profundidade de 0-5 cm, procedendo-se a técnica de fracionamento físico da matéria orgânica para a separação das diferentes frações. A distribuição do peso das frações leve livre e intra-agregado diferiu entre os tratamentos. A área de solo arado apresentou os maiores teores de C associados às frações leves (fração leve livre e intra-agregado) e carbono orgânico total (COT). Em relação às frações pesadas, a área de solo arado apresentou os maiores teores de C ligado à fração areia, não diferindo da área de pastagem. Na fração silte e argila, houve um comportamento diferente, os maiores conteúdos de C foram observados na área de capoeira. A fração leve livre foi a que apresentou maior sensibilidade aos diferentes sistemas de manejo do solo quando comparada às demais frações. Os teores de C das frações pesadas foram pouco afetados pelas práticas de manejo adotadas nos diferentes sistemas de uso da terra. Os sistemas de cultivo em aléias apresentaram baixos teores de C, o que pode estar relacionado aos seus curtos períodos de implantação (três e seis anos).

Palavras-chave: sistemas de manejo, fracionamento físico, frações orgânicas.

**SUMMARY: MANAGEMENT-INDUCED CHANGES IN SOIL ORGANIC MATTER  
FRACTIONS UNDER HUMID TROPICAL CLIMATE**

Soil use and management change soil carbon (C) content. This study evaluated the effects of Center-North Maranhão state land-uses on total soil organic carbon content and its fractions. Land-uses evaluated were: 2 alley cropping, tilled soil, slash-and-burn, pasture and fallow. Soil samples were collected early in the rainy season of 2009 at 0-5 cm soil depth and organic matter was fractionated physically. Weight distribution in the free light and intra-agregates fractions was different between land-uses. ). The tilled soil had the highest C content associated to light fractions (free light and intra-agregates) and highest total organic carbon (TOC). For the heavy fractions, tilled soil and pasture had higher C content in the sand fraction. For the silt and clay fractions, fallow soil had the highest C content. The free light fraction was the most affected by land-uses, while heavy fractions were only slightly affected. Alley cropping systems had low C content which was attributed to its recent implantation (3 and 6 years).

**Keywords:** Management systems, physical fractionation, organic fractions

## INTRODUÇÃO

No trópico úmido, as condições socioambientais representam o maior desafio para pesquisadores, principalmente, para os que se dedicam à implantação de sistemas agrícolas sustentáveis, pois em uma mesma região, associam-se solos constituídos principalmente de areia fina e silte, altamente intemperizados de baixa capacidade de retenção de cátions, estrutura frágil e difícil drenagem interna, reduzida fertilidade natural, elevadas temperaturas e precipitação pluvial (mais de 2.000 mm anuais) (Moura et al., 2008). Nessa região, além das adversidades naturais, características ligadas ao uso e manejo dos solos, também contribuem para a deterioração e degradação de sua qualidade.

A matéria orgânica do solo (MOS) é considerada um dos atributos de maior relevância, tendo importância fundamental sobre a qualidade do solo. A MOS é o maior reservatório de carbono terrestre se as reservas fósseis não forem consideradas, representando cerca de duas vezes a quantidade de carbono da atmosfera e da biomassa vegetal (Swift, 2001).

A constituição da MOS é bastante complexa, formada por diferentes frações com tempos de residência no solo que variam desde semanas, como a biomassa microbiana até milhares de anos como a fração húmica (Lima et al., 2008), para tanto se faz necessário a utilização de técnicas de fracionamento para o melhor entendimento da dinâmica dessas frações.

Nos trópicos, a introdução de sistemas agrícolas em áreas com vegetação nativa, geralmente, resulta em uma rápida perda de matéria orgânica, em virtude da combinação entre calor e umidade (Scholes & Breemen, 1997), o que torna os solos vulneráveis à degradação, que com o adequado manejo, adquire novamente o equilíbrio. Essa intervenção na vegetação existente durante a implantação de culturas anuais, pastagens e florestas comerciais pode levar a uma redução nos estoques de MOS graças ao incremento no processo erosivo, aceleração da decomposição, redução no aporte de material vegetal ou diferenças na qualidade dos resíduos (Lima et al., 2008).

Sistemas de manejo capazes de manter ou aumentar o teor de carbono orgânico no solo podem contribuir para a manutenção da capacidade produtiva dos solos e diminuição da emissão de CO<sub>2</sub> para a atmosfera. A MOS é um importante indicador da qualidade do solo e diversos trabalhos têm relatado suas funções na manutenção de sua produtividade, na sustentabilidade dos sistemas naturais e agrícolas.

No trópico úmido, agricultores familiares de baixa capacidade de investimento,

comumente utilizam o modelo itinerante de uso da terra, o sistema de corte-e-queima, que é a forma de uso da terra mais importante nessa região. Nesse sistema, as principais vantagens agronômicas do uso do fogo, são a rapidez e baixo custo na limpeza da área, fertilização do solo pela cinza a curto prazo e eliminação de ervas daninhas. Para o uso e manejo sustentável dos solos do trópico úmido, deve-se lançar mão de uma alternativa importante, o sistema de cultivo em aléias (Loss et al., 2009; Moura et al., 2008; Leite et al., 2008), que oferece vantagens, como a proteção do solo contra a insolação e erosão, além de melhorar sua aeração (Moura et al., 2008) e aumentar os teores de MOS (Loss et al., 2009). Este sistema de manejo combina em uma mesma área espécies arbóreas, de preferência leguminosas, e culturas anuais, visando reunir em um mesmo espaço e ao mesmo tempo os processos de regeneração de fertilidade do solo e intensificação da ciclagem de nutrientes (Atta-Krah et al., 1989; Moura et al., 2008).

Este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito dos sistemas de uso da terra utilizados na Região Centro-Norte do Maranhão sobre os estoques de carbono orgânico total e suas frações.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

O estudo foi realizado no assentamento “Tico-tico”, localizado no município de Miranda do Norte - MA, a 3° 36’ de latitude sul e 45° 24’ de longitude oeste, totalizando uma área de 332,43 ha. O clima é caracterizado como sub-úmido (C<sub>2</sub>), com temperatura média anual superior a 27°C, a umidade relativa (UR) do ar oscila entre 76% a 79% e a precipitação pluviométrica entre 1600 a 2000 mm anuais, dos quais mais de 80% ocorrem de janeiro a maio, conferido duas estações bem definidas, uma seca e outra chuvosa.

Seis áreas adjacentes com diferentes sistemas de manejo foram usadas para a retirada das amostras de solo, e cada um desses sistemas representou um tratamento, listados a seguir: plantio direto sob cultivo em aléias com seis anos de implantação; plantio direto sob cultivo em aléias com três anos de implantação; área sob pastagem; área de solo com aração; área sob plantio com corte e queima; e uma área de capoeira. A área de solo com aração está localizada em uma área sujeita a alagamento no período chuvoso, e é constituída por PLINTOSSOLO pétrico concrecionário, e as demais áreas, constituídas pelo PLINTOSSOLO ARGILÚVICO distrófico típico A moderado, textura média (Embrapa, 2006). A composição granulométrica do solo para a área de estudo é apresentada no quadro 1. As coletas do solo foram realizadas em fevereiro de 2009, no início do período chuvoso. Foram coletadas vinte amostras simples por área, na

profundidade de 0-5 e 5-10 cm, com o auxílio do trado, onde em cada área, demarcou-se um quadrante de aproximadamente 50 m x 25 m, amostrando-se os pontos em forma de um W padrão. Após a coleta, as amostras foram secas ao ar, destorroadas, homogeneizadas e passadas por peneira de 2 mm de malha (Terra Fina Seca ao Ar - TFSA).

No início de 2002, a capoeira foi desmatada e em seguida aplicou-se calcário em superfície para a implantação do sistema de cultivo em aléias (seis anos), em um terreno plano de 1,0 ha com *Clitoria fairchildiana* (sombreiro), uma leguminosa arbórea nativa. O outro sistema de cultivo em aléias (três anos) foi preparado em dezembro de 2005, efetuando-se a queima da capoeira de aproximadamente cinco anos. O cultivo em aléias formado por fileiras de leguminosas arbóreas como *Clitoria fairchildiana* foi cultivado no espaçamento de 0,5 m entre plantas e 2,6 m entre fileiras, totalizando 44 fileiras. Nesse sistema, as leguminosas foram podadas anualmente a 0,5 m do solo e seus ramos espalhados para manutenção da cobertura do solo. Nas entrelinhas das fileiras das leguminosas foram plantadas as culturas anuais (arroz, milho, mandioca, curcubitáceas e feijão caupi). Na área de solo arado, foi realizada uma aração e posteriormente, cultivou-se a cultura de arroz. A capoeira é constituída pela vegetação nativa, como *Atalea speciosa* (babaçu), *Astrocaryum vulgare* (tucum), entre outras. Na área de corte e queima, queimou-se a vegetação nativa para o cultivo de culturas alimentícias. A área de pastagem é constituída principalmente pela *Digitaria horizontalis* Willd.(capim colchão), *Cyperus flavus* (tiririca) e outras espécies da família Cyperaceae.

Quadro 1. Granulometria e densidade dos solos estudados.

Sistemas de uso da terra	Profundidade cm	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	Densidade
		2,00-0,25 mm	0,25-0,05 mm	0,05-0,002 mm	< 0,002 mm	do solo
		-----g kg <sup>-1</sup> -----				g cm <sup>-3</sup>
Corte e queima	0-5	30,00	213,00	653,00	160,00	1,29
	5-10	20,00	230,00	560,00	190,00	1,34
Pastagem	0-5	13,00	300,00	573,00	80,00	1,39
	5-10	23,00	317,00	560,00	100,00	1,46
Capoeira	0-5	100,00	220,00	607,00	73,00	1,27
	5-10	27,00	243,00	617,00	113,00	1,35
Solo arado	0-5	133,00	216,00	466,00	127,00	1,33
	5-10	173,00	200,00	507,00	120,00	1,38
Aléias 3 anos	0-5	20,00	250,00	560,00	170,00	1,42
	5-10	20,00	190,00	630,00	160,00	1,40
Aléias 6 anos	0-5	13,00	213,00	410,00	180,00	1,47
	5-10	13,00	223,00	547,00	223,00	1,55

Para as análises químicas, o solo foi analisado quanto aos teores de carbono orgânico total (COT), cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K), fósforo (P), pH em  $\text{CaCl}_2$ , e acidez potencial (H+Al), segundo metodologia IAC (2001), nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm. A soma de bases (SB) foi obtida pela fórmula:  $\text{Ca} + \text{Mg} + \text{K}$ . A capacidade de troca de cátions (CTC) a pH 7 do solo foi obtida pela fórmula:  $\text{Ca} + \text{Mg} + \text{K} + (\text{H}+\text{Al})$  e a percentagem de saturação por bases (V%) por  $\text{SB} / \text{CTC} \times 100$ .

O fracionamento da matéria orgânica do solo (MOS) foi realizado na profundidade de 0-5 cm, de acordo com o procedimento descrito em Machado (2002), obtendo-se as frações leves e pesadas da MOS. A separação da fração leve livre (FLL) foi realizada pesando-se 10 g de TFSA em frascos de 80 ml, adicionou-se 70 mL da solução de iodeto de sódio (NaI), com densidade de  $1,8 \pm 0,2 \text{ g cm}^{-3}$  (aferida com densímetro). Os frascos contendo a mistura foram agitados manualmente por 30 segundos de forma que as frações orgânicas menos densa flotassem para a superfície da solução de NaI. Após a decantação por 48h, a fração sobrenadante presente na superfície da solução (fração leve livre - FLL) foi aspirada e filtrada em sistema a vácuo, utilizando-se nesta etapa filtro de fibra de vidro de 47 mm de diâmetro e 2  $\mu\text{m}$  de retenção. As FLL coletadas nos filtros foram cuidadosamente lavadas com água destilada, visando remover o excesso de NaI, sendo posteriormente levada à estufa de circulação forçada de ar para secar a 50-55°C durante 48 h, sendo então, pesadas e maceradas em almofariz para posterior determinação do teor de Carbono. Após a extração da FLL, foi feita a extração da fração leve intra-agregado (FLI), utilizando-se o mesmo procedimento, no entanto a agitação foi realizada com auxílio de bolinhas de vidro em mesa de agitação por 1h.

Para a separação do C associado às diferentes frações granulométricas do solo (fração pesada), cada frasco oriundo da análise densimétrica ( $\pm 10 \text{ g}$  de solo) foi adicionado 0,5 g de hexametáfosfato de sódio  $(\text{NaPO}_3)_6$ , sendo este, agitado por aproximadamente 16 h a 200 rpm. A separação da fração areia ( $> 53 \mu\text{m}$ ) foi realizada por peneiramento úmido, e a das frações silte (2-53  $\mu\text{m}$ ) e argila (0-2  $\mu\text{m}$ ), a partir da coleta de alíquotas das frações granulométricas de 0-53  $\mu\text{m}$  (argila + silte) e 0-2  $\mu\text{m}$  (argila), que foram separadas por sedimentação. Após a coleta, as frações foram secas em estufa de circulação forçada de ar a 50-55 °C, pesadas e maceradas em almofariz, para posterior determinação do teor de carbono orgânico (C-org) em cada fração (figura 1).

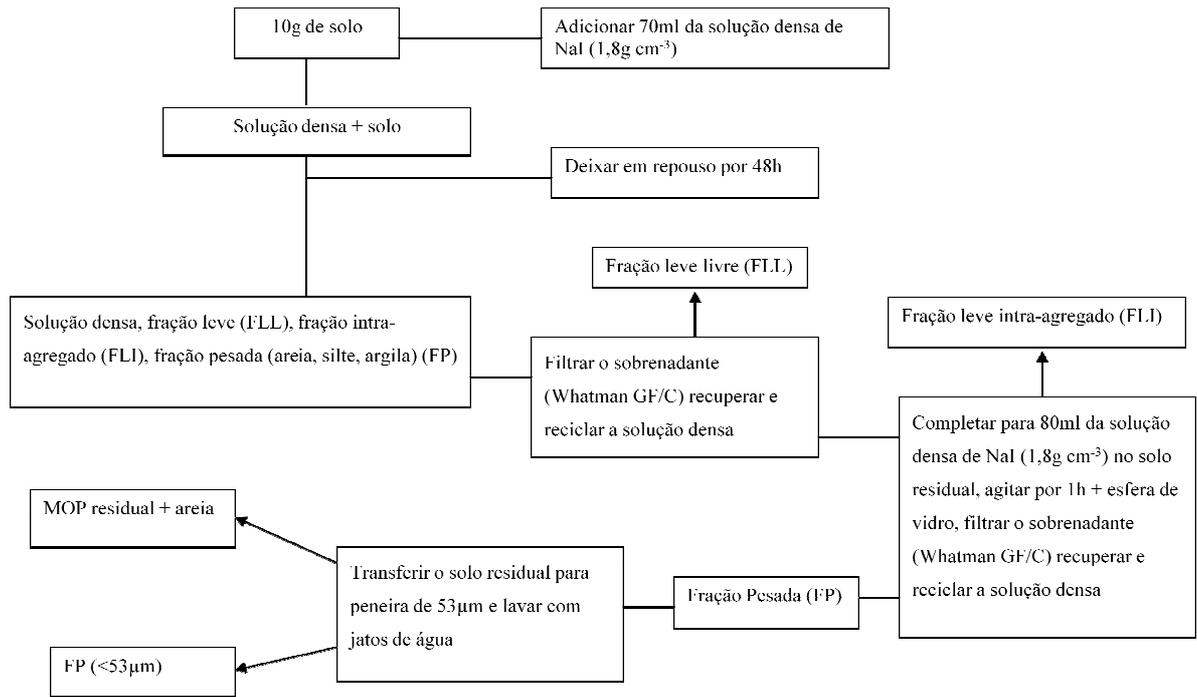


Figura 1. Método de fracionamento físico densimétrico e granulométrico da MOS.

O teor de C-org do solo foi determinado pelo método descrito em Embrapa (1997), onde após o fracionamento, pesou-se 10 g de cada amostra em erlenmeyers de 125 ml e adicionou-se 10 mL de dicromato de potássio ( $K_2Cr_2O_7$  0,02 mol  $L^{-1}$ ). Cada amostra foi aquecida em placa elétrica por aproximadamente 5 minutos a  $60^\circ C$ , com auxílio de dedos frios para evitar perdas por volatilização. Após resfriamento em temperatura ambiente, foram adicionados nos extratos 5 mL de ácido fosfórico ( $H_3PO_4$  p.a.), procedendo-se a titulação com solução de sulfato ferroso amoniacal hexahidratado ( $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$  0,05 mol  $L^{-1}$ ) e utilizando-se a solução ácida de difenilamina 1 % como indicador. Paralelamente, foram realizadas provas em branco, com e sem aquecimento. Os estoques de C-org foram calculados na profundidade de 0–5 cm, a partir da expressão:  $EstC (Mg ha^{-1}) = \text{Conteúdo de Carbono} (g kg^{-1}) \times \text{densidade aparente} (g cm^{-3}) \times \text{profundidade de amostragem} (5 cm)/10$ .

Os resultados dos teores de carbono orgânico total (COT), de carbono das frações leves e carbono associado à fração areia foram transformados em  $\text{Log}_x (\text{Log}_{10} + 1)$  e os teores do carbono da fração argila foram transformados em Raiz Quadrada ( $\sqrt{x + 1/2}$ ).

Os dados relativos aos estoques de COT e de C das frações da matéria orgânica do solo e os referentes às análises químicas nos diferentes sistemas de manejo foram submetidos à análises de variância. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando-se o programa Statsoft STATISTICA 8.0.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados referentes às análises químicas do solo são apresentados no Quadro 2. Verificou-se que as amostras de solo apresentaram baixos valores de pH em todas as áreas analisadas nas duas profundidades. Os mais baixos valores foram observados na área de solo arado. Nos solos com baixos valores de pH pode ocorrer limitação na decomposição da matéria orgânica e, portanto, o seu acúmulo (Tomé Jr., 1997 e Miranda et al., 2007). Solos com baixos valores de pH apresentam baixos teores de cátions trocáveis (Miranda et al., 2007), o que implica em uma baixa atividade da biota do solo (Cerri & Vol Koff, 1988). O sistema de cultivo em aléias com seis anos apresentou os maiores valores de acidez potencial ( $H + Al$ ) nas duas profundidades analisadas. Na área de pastagem foi observado os menores valores desse atributo. A acidificação do solo nas duas camadas pode ter ocorrido em virtude da liberação de ácidos orgânicos através da decomposição de palhada das culturas antecedentes ou em decorrência do uso de fertilizantes nitrogenados (Paiva, et al., 1996; Franchini et al., 2000; Ciotta et al., 2002).

Os maiores teores de P foram observados nos dois sistemas de cultivo em aléias, e a pastagem apresentou os menores valores para este atributo. Os maiores teores de P encontrados nos sistemas de cultivo em aléias quando comparada aos demais, pode ser atribuído ao fato desses sistemas envolver o uso de culturas anuais, nas quais foram realizadas adubações com fertilizantes minerais. Observou-se o acúmulo de P em superfície e diminuição em profundidade para todos os sistemas de manejo analisados. O acúmulo do P em superfície e sua diminuição em profundidade, também foram observados por vários pesquisadores (Centurion et al., 1985; Eltz et al., 1989; Bayer & Mielniczuk, 1997; Souza & Alves, 2003; Cavalcante et al., 2007). Esse comportamento é explicado pela baixa mobilidade desse nutriente no solo (Centurion et al., 1985; De Maria & Castro, 1993; Silveira & Stone, 2001; Cavalcante et al., 2007), pelas aplicações anuais de fertilizantes fosfatados, pela liberação de P durante a decomposição de resíduos vegetais (Sidiras & Pavan, 1985).

Os maiores teores de Ca foram verificados no sistema de cultivo em aléias com três anos. Esses maiores teores de Ca encontrados, pode ser atribuído à aplicação de calcário na área. Os menores teores de Ca foram verificados na área de solo arado. O Mg foi encontrado em maior quantidade na área de capoeira seguida da área de pastagem nas duas profundidades analisadas. O teor de Mg da área de capoeira diferiu dos teores das áreas de corte e queima, solo arado e cultivo em aléias. Os menores valores desse nutriente foram observados na área de solo arado.

Os maiores valores da soma de bases (SB) e CTC foram observados nos dois sistemas de

cultivo em aléias. Verificou-se aumento em superfície e diminuição em profundidade desses valores, e isso é explicado, principalmente, em sistemas de plantio direto, pelo não-revolvimento, que favorece o acúmulo de nutrientes em superfície. A saturação por base (V%) foi maior no sistema de cultivo em aléias com três anos em ambas as profundidades. Na maioria das áreas avaliadas, os solos apresentaram saturação por base superior a 50% nas duas profundidades analisadas.

**Quadro 2. Caracterização química dos solos nos diferentes sistemas de uso da terra em duas profundidades.**

Profundidade	Sistemas	pH	P	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V
Cm		CaCl <sub>2</sub>	mg.dm <sup>-3</sup>	-----mmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup> -----						%
	Corte e queima	4,84a	3,39a	39,3a	3,37ab	31,8ab	16,7a	51,87ab	90,17ab	57,52a
	Pastagem	4,79a	2,93a	33,9a	4,61b	19,7a	19,6ab	43,91a	77,81a	56,43a
0-5	Capoeira	4,71a	3,46a	37,9a	3,69ab	26,0ac	21,5b	51,19ab	89,09ab	57,46a
	Solo arado	4,87a	3,94a	40,2a	2,33a	18,2ab	13,6a	34,13ab	74,33a	45,91b
	Aléia-3 anos	4,84a	32,46b	41,6a	3,38ab	41,8d	15,1a	60,28b	101,88bc	59,17a
	Aléias-6 anos	4,44b	76,14c	53,0b	3,28ab	38,0bd	16,9a	58,18b	111,18c	52,33a
	Corte e queima	4,65bcd	2,71a	40,0a	3,38ab	22,7a	15,0ab	41,08ab	81,08ab	50,67ab
	Pastagem	4,42ab	2,43a	35,6a	4,22b	18,4a	17,3ab	39,92a	75,52a	52,86ab
5-10	Capoeira	4,53abc	2,24a	36,4a	2,82a	25,0a	19,3b	47,12ab	83,52ab	56,42bc
	Solo arado	4,80d	2,80a	40,4a	2,16a	18,0b	13,1ab	33,26ab	73,66a	45,15b
	Aléias-3 anos	4,68cd	51,58b	40,7a	3,34ab	38,6b	14,7ab	56,64c	97,34c	58,15c
	Aléias-6 anos	4,33a	57,19b	45,8b	2,68a	26,7a	15,9a	41,28a	87,08ab	47,40a

Médias seguidas por letras distintas na mesma linha diferem entre si pelo teste de Tukey a um nível de 5% de probabilidade.

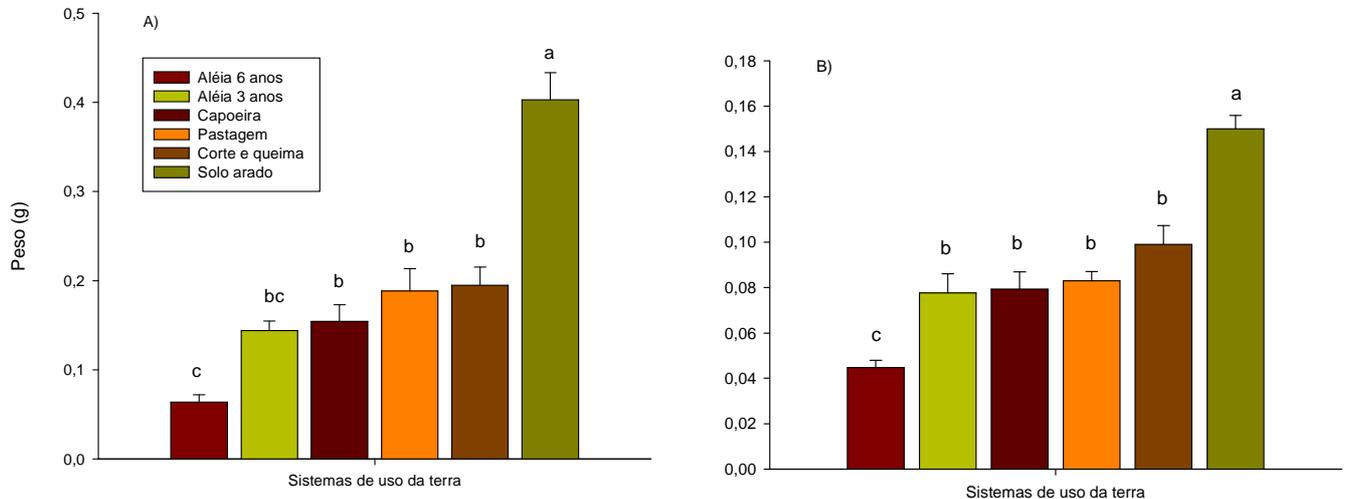
H+Al = Acidez Potencial; SB= Soma de bases; CTC= Capacidade de troca de cátions a pH 7; V%= Saturação por bases; P = Fósforo; K= Potássio; Ca = Cálcio; Mg = Magnésio.

Os maiores teores de K foram verificados na área de pastagem nas duas profundidades analisadas (quadro 2). Os menores teores desse nutriente foram observados na área de solo arado, pressupondo-se que esses baixos teores possam ser atribuídos a não aplicação de adubação mineral em relação às demais áreas sob cultivo.

Houve diferença na distribuição da quantidade de fração leve livre (FLL) e fração leve intra-agregado (FLI) entre os tratamentos (figura 1). Dentre os tratamentos, a área de solo arado foi a que apresentou a maior quantidade de massa das frações leve livre e intra-agregado. Segundo Christensen (1992), o acúmulo da fração leve é influenciado pelo uso da terra, tipo de vegetação, dentre outros fatores que alteram o balanço entre a produção e a decomposição da matéria orgânica.

Para a FLL, a área de solo arado apresentou os maiores valores de peso e o sistema de cultivo em aléias com seis anos, apresentou os menores valores de peso dessa fração, esse resultado ocorreu provavelmente pela baixa quantidade de resíduo depositada, além da

importante atuação das condições pluviais e altas temperaturas que promovem uma rápida decomposição do material orgânico depositado no solo nas condições da região em estudo.



**Figura 2. Distribuição das frações leves: fração leve livre (A) e fração leve intra-agregado (B) nos diferentes sistemas de manejo, na profundidade de 0-5 cm. Médias seguidas da mesma letra, não diferem entre si (Tukey  $p = 0,05$ ).**

Dentre os tratamentos, a área com solo arado apresentou os maiores valores de peso da FLI quando comparado aos demais tratamentos (figura 2), o que demonstra uma maior proteção física da FLI favorecida pelos resíduos vegetais adicionados a esse sistema. Esse resultado pode ter sido decorrente do manejo realizado nesse sistema, o que pode ter promovido uma maior incorporação dos resíduos pelo revolvimento do solo por meio da aração. De acordo com Hussain et al. (1999), as mudanças na intensidade e frequência das práticas de manejo, alteram as características do solo, a distribuição de nutrientes e a matéria orgânica no perfil do solo. Esses mesmos autores ressaltam, ainda, que o revolvimento pela aração permite a distribuição dos nutrientes e carbono em profundidade.

Segundo Cambardella & Elliott (1992); Beare et al. (1994) e Pinheiro et al. (2004), a fração leve tem refletido diferenças nos sistemas de cultivo. Essas variações do conteúdo das frações leve livre e intra-agregado são resultantes das mudanças na quantidade e qualidade dos resíduos vegetais adicionados ao solo, da relação entre a entrada por superfície e subsuperfície desses resíduos e das diferentes práticas de manejo adotadas (Pinheiro et al., 2004). De acordo com os resultados obtidos (figura 2), as frações leves podem ser utilizadas como indicadores de alterações causadas pelas práticas de manejo do solo. Para Lal (2007) e Aguiar et al. (2010), a fração leve representa um pool intermediário entre os resíduos decompostos e a MOS

humificada, sendo portanto, uma fração menos estável e mais sensível às práticas de manejo em condições do trópico úmido. Outros estudos também apresentam as frações mais lábeis da MOS, como a FLI, um indicador sensível às mudanças ocorridas devido as diferentes práticas de manejo utilizadas (Dalal & Mayer, 1986; Janzen et al., 1992; Leite et al., 2003; Pinheiro et al., 2004).

Na FLL, os teores de C variaram de  $1,47 \text{ Mg ha}^{-1}$ , no sistema de plantio direto em aléias com seis anos, até  $4,65 \text{ Mg ha}^{-1}$  na área de solo arado. Considerando o tempo de experimento e a manutenção dos sistemas de preparo do solo, a área de solo arado foi a que apresentou o maior teor de C na FLL (figura 3A). Biederbeck et al. (1994), verificaram que os principais efeitos do manejo do solo são os observados na camada superficial. Os menores teores de C dessa fração foram observados no sistema de cultivo em aléias com seis anos, e os demais sistemas de manejo do solo, não diferiram entre si, apresentando conteúdos de C aproximados (figura 3A). Na FLI, os teores de C variaram de  $0,53 \text{ Mg ha}^{-1}$  na área de capoeira até  $2,0 \text{ Mg ha}^{-1}$  na área de solo arado. O teor de C na FLI (figura 3B) foi maior na área de solo arado seguido do sistema de pastagem. Em geral, a área de solo arado apresentou os maiores teores de C da FL, tanto para a FLL como para a FLI, o que deve ter ocorrido provavelmente pela adição de restos vegetais provenientes da cultura de arroz e de plantas espontâneas.

O aumento de C na área de solo arado certamente foi devido ao retorno de resíduos ao solo (Arshad et al., 1990), pois as variações de C na fração leve dependem de fatores que alterem o equilíbrio entre a produção e a decomposição de resíduos (Christensen, 1992; Aguiar et al., 2010). Cookson et al. (2008), relataram que a retenção de resíduos culturais aumentaram os teores de C da fração leve na camada superficial (0-10 cm). Os resultados obtidos neste trabalho indicam que a área de solo arado tem potencial para aumentar o seqüestro de C nas condições em foi realizado o estudo, discordando de outras pesquisas, as quais indicam que sistemas de manejo sem revolvimento, têm maior potencial de acúmulo do C no solo (Bayer et al., 2004; Pinheiro et al., 2004; Cookson et al., 2008; Qin et al., 2010). A diminuição dos teores de C nas áreas de plantio direto (cultivo em aléias) discorda dos resultados obtidos por Li et al. (2007) e Qin et al. (2010), que observaram maiores teores de C em sistemas de plantio direto com 15 e oito anos, respectivamente, na camada superficial (0-10 cm) do solo.

Os conteúdos de C na fração pesada (FP) foram variáveis (figura 3). Na fração areia, os teores variaram de  $1,97 \text{ Mg ha}^{-1}$  na área de capoeira a  $5,32 \text{ Mg ha}^{-1}$  na área de solo arado; na fração argila variou de  $7,17 \text{ Mg ha}^{-1}$  na área de corte e queima a  $10,27 \text{ Mg ha}^{-1}$  na área de capoeira, e na fração silte, a variação foi de  $6,70 \text{ Mg ha}^{-1}$  na área de corte e queima a  $10,96 \text{ Mg ha}^{-1}$  na área de capoeira. Portanto, a maior parte do C esteve associada à fração pesada, na

profundidade de 0-5 cm (figura 3).

Na área de solo arado, na profundidade estudada, ocorreu um acréscimo relativo do teor de C associado à fração areia, seguida da área de pastagem. A área de capoeira foi a que apresentou os menores teores de C associado à fração areia, diferindo das áreas de solo arado, pastagem e corte e queima (figura 3C).

Na fração argila, houve um comportamento diferente, os maiores teores de C ligado a essa fração foram encontrados na área de capoeira. Os menores teores de C associados a essa fração foram observados na área de corte e queima, a qual não diferiu dos dois sistemas de cultivo em aléias avaliados (figura 3E). Para a fração silte, o conteúdo de C também foi maior na área de capoeira em relação às demais áreas. A área de corte e queima apresentou os menores conteúdos de C associado ao silte (figura 3D).

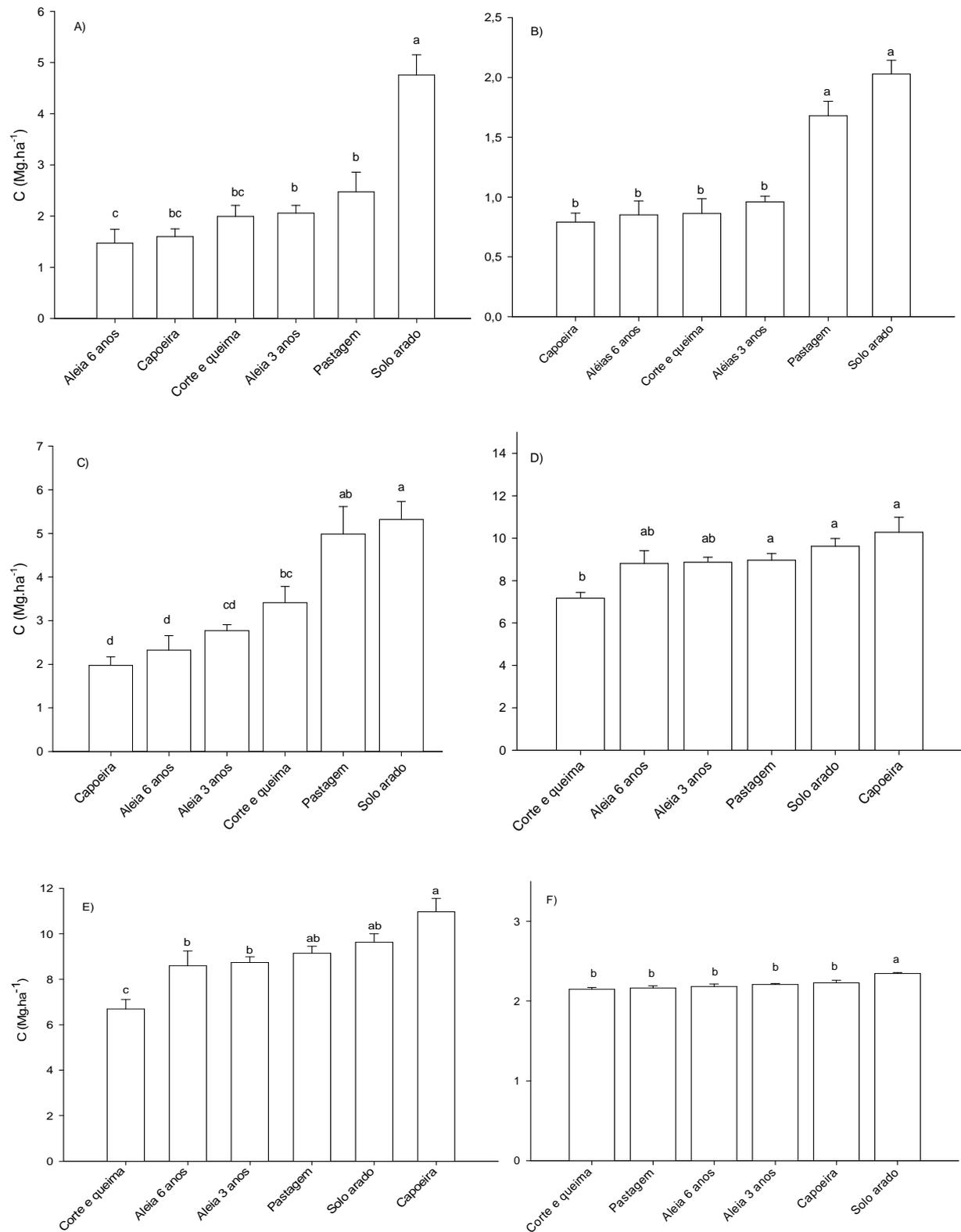
Em relação aos teores de carbono orgânico total (COT), os maiores valores foram observados na área de solo arado. As demais áreas avaliadas apresentaram conteúdos de C aproximados. A área de corte e queima foi a que apresentou os menores teores de COT (figura 3F). A diminuição de COT em áreas utilizadas para fins agrícolas é devido à intensificação da atividade biológica provocada pela correção da acidez e adubação, o que proporciona um ambiente mais favorável (maior teor de água em profundidade, melhores condições de arejamento e disponibilidade de nutrientes) à ação dos microrganismos (Paustian et al., 1997).

O conteúdo de C na área de solo arado tende ao aumento devido a retenção de resíduos culturais, pois a taxa de mineralização é em função do ambiente (Koarashi et al., 2009). Na área de solo arado, a taxa de adição de resíduos e sua incorporação pelo revolvimento (Costa et al., 2004), pela aração associadas à menor taxa de decomposição desses resíduos, devido à má drenagem na área, podem ter contribuído para os maiores conteúdos de C associados às frações leves (FLL e FLI), à fração pesada (areia, argila e silte) e COT, pois em condições de alagamento (anoxia), o processo de decomposição da MOS é muito lento ou praticamente nulo. Essa falta de aeração (anaerobiose) juntamente com os baixos teores de nutrientes no solo inibe a ação dos microrganismos, o que pode favorecer o acúmulo de matéria orgânica (Resende et al., 2002). A adição de resíduos vegetais nesse sistema, em consequência da deposição de restos de capina e restos culturais, além da grande incidência de ervas espontâneas (gramíneas), também podem ter contribuído para o aumento de C nessa área, pois de acordo com Boddey et al. (2001) e Pillon et al. (2001), estas plantas apresentam alta taxa de renovação de seu sistema radicular, elevada alocação de fotossintatos, altos teores de lignina nas raízes e maior grau de humificação do C adicionado, o que pode contribuir para maior preservação ou aumento da MOS. Souza & Melo (2003), também encontraram maiores valores de C nas camadas superiores, provavelmente

devido ao revolvimento do solo que homogeneizou as camadas superficiais. Na área de pastagem, a grande quantidade de C encontrado pode ser devido ao crescimento das raízes das gramíneas em profundidade, que é de grande importância para o sequestro de C, além do não revolvimento do solo. A ação das gramíneas, por meio do seu sistema radicular numeroso e bem distribuído pelos horizontes superficiais e sub-superficiais (Silva & Mielniczuk, 1997; Cruz et al., 2003; Wohlenberg et al., 2004; Pinheiro et al., 2004) pode ter contribuído para a manutenção de maiores teores de C orgânico na profundidade estudada.

Em relação à fração pesada, na área de solo arado, houve um acréscimo relativo do teor de C na fração areia, porém uma redução relativa nos teores de C associado à fração argila e absoluta nos teores de C ligado à fração silte. Os resíduos culturais são altamente disponíveis para os microrganismos do solo, podendo ser facilmente incorporados aos macroagregados durante o processo de decomposição (Stemmer et al., 1998), o que pode ter contribuído para os maiores teores de C associado à fração areia na área de solo arado. Em todos os sistemas de manejo do solo, houve aumento dos teores de C associados às frações argila e silte em relação à fração areia (figura 3). O aumento de C nas frações granulométricas mais finas (argila e silte) é atribuído ao cultivo do solo (Silva et al., 1999). Em regiões onde predominam a remoção intensiva de resíduos vegetais da área de plantio e preparo excessivo do solo, as perdas de C do sistema solo-planta são dependentes, em sua maioria, do aumento da taxa de mineralização das frações menos decomponíveis associadas, principalmente, à areia (Guggenberger et al., 1994 & Silva et al., 1999). A redução dos teores de C associados à fração areia, verificada nas áreas de capoeira, cultivo em aléias (seis e três anos) e corte e queima na profundidade de 0-5 cm pode ser atribuída ao menor aporte de resíduos vegetais incorporados ao solo. A fração areia é composta principalmente por resíduos vegetais, e é facilmente mineralizada (Freixo et al., 2002).

De acordo com Bayer (1996) e Bayer et al. (2004), os baixos valores de C associados às frações areia, silte e argila, pode ser explicado pelo curto período de tempo de condução dos sistemas (seis anos), o que facilita o entendimento do não efeito do sistema de manejo na matéria orgânica associada aos minerais do solo, a qual apresenta um avançado estágio de humificação e é altamente estável devido a sua interação com a fração mineral. A matéria orgânica associada aos minerais apresenta uma ciclagem mais lenta, no que diz respeito a sua formação e decomposição, sendo necessário, portanto, um período maior para que a alteração de sistemas de manejo tenha efeito no seu conteúdo de C (Bayer et al., 2004), o que justifica os menores teores de C associados à fração pesada nas duas áreas de cultivo em aléias (seis e três anos).



**Figura 3. Conteúdo de C nas frações da matéria orgânica: Fração leve livre (A), fração leve intra-agregado (B), fração areia (C), fração argila (D), fração silte (E) e carbono orgânico total (F) nos diferentes sistemas de manejo do solo, na profundidade de 0-5 cm. Médias seguidas da mesma letra, não diferem entre si (Tukey p = 0,05).**

Qin et al. (2010), também observaram que um período de oito anos de condução do sistema de plantio direto foi curto para induzir modificações no conteúdo de C. Os aumentos dos teores de C ocorridos nas frações areia, silte e argila, nas áreas de solo arado e de pastagem, foram os principais efeitos associados à retirada da vegetação nativa e ao cultivo do solo, na profundidade de 0-5 cm, pois de acordo com Rangel et al. (2007), a retirada da vegetação natural e o cultivo do solo promovem alterações na distribuição relativa do C associado às frações granulométricas. O tipo de solo pode ser uma variável fundamental para explicar a variação do conteúdo de C (Maia et al., 2010) nos diferentes sistemas de uso e manejo do solo.

Em geral, os conteúdos de C associados à fração areia foram muito baixos, totalizando menos de 9% dos teores de C nos diferentes sistemas de manejo estudados, o que está de acordo com os resultados observados por Silva et al. (1999) e Rangel et al. (2007). Segundo Neves et al. (2005), a perda do material orgânico da fração areia é devido à maior labilidade, suscetibilidade, oxidação e à desintegração dos resíduos vegetais e hifas de fungos presentes nessa fração. Mesmo contribuindo com pequena parte da matéria orgânica presente nos solos, é à areia que se associam as frações orgânicas de maior biodisponibilidade, em relação àquelas ligadas às frações argila e silte. Esse fato se deve ao processo de separação da areia das demais partículas texturais, uma vez que, durante a dispersão dos solos, mais especificamente na etapa de peneiramento úmido, agrega-se à areia material orgânico particulado, com grau de decomposição mais próximo aos de resíduos vegetais recentemente adicionados ao solo (Christensen, 1996).

Os principais efeitos da retirada da vegetação natural e do cultivo dos solos nos sistemas de manejo estudados, provavelmente, estão relacionados à redução nos teores de C associados à fração areia e a um aumento dos conteúdos de C associados às frações mais finas (argila e silte). Esses resultados indicam a resistência do C ligado às frações silte e argila às modificações nas práticas de manejo (Qin et al., 2010).

## CONCLUSÕES

1. As restrições de fertilidade observadas nos solos favoreceram o acúmulo de matéria orgânica pouco transformada na área de solo arado.
2. Os teores de carbono da fração leve livre mostraram ser mais sensíveis quando comparados aos das demais frações avaliadas nos diferentes sistemas de uso e manejo do

solo, sendo, portanto, mais sensível à degradação pelo cultivo, podendo ser utilizada como indicador da qualidade do solo.

3. O carbono da fração pesada representou a maior porcentagem da matéria orgânica em solos cultivados, sofrendo pouca modificação pelas práticas de manejo adotadas nos diferentes sistemas de uso dos solos estudados.

4. A área de solo arado, em comparação as demais apresentou os maiores teores de C associado às frações da matéria orgânica e carbono orgânico total.

5. O efeito dos sistemas de cultivo em aléias, provavelmente, necessita de maior tempo para aumentar o conteúdo de C no solo, que vai além do período considerado neste estudo.

## LITERATURA CITADA

- ATTA-KRAH, A.N. Alley farming with leucaena: Effects of short grazed fallows on soil fertility and crop yields. *Exper. Agric.*, 20:1-10, 1989.
- BAYER, C; MIELNICZUK, J. Dinâmica função da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A; CAMARGO, F.A.O. (Ed.). *Matéria orgânica do solo: fundamentos e caracterização*. Porto Ale gre: Gênese, 1999. p.9-26.
- BAYER, C. Dinâmica da matéria orgânica em sistemas de manejo de solos. Porto Alegre. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1996. 241p. (Tese de Doutorado).
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. *Pesq. agropec. bras.* 39:667-683, 2004.
- BEARE, M.H.; CABRERA, M.L.; HENDRIX, P.F. & COLEMAN, D.C. Aggregate protected and unprotected pools of organic matter in conventional and no-tillage soils. *Soil Sci. Soc. Am.*, 58:787-795, 1994.
- BIEDERBECK, V.O; JANZEN, H.H.; CAMPBELL, C.A & ZENTNER, R.P. Labile soil organic matter as influenced by cropping practices in an arid environment. *Soil Biol. Biochem.*, 26:1647-1656, 1994.
- BODDEY, R.M.; ALVES, B.J.R.; OLIVEIRA, O.C. & URGUIGA, S. Potencial para acumulação e seqüestro de carbono em pastagens de Brachiaria. In: LIMA, M.A.; CABRAL, O.M.R. & MIGUEZ, J.D.G., eds. *Mudanças climáticas globais e a agropecuária brasileira*. Jaguariúna, Embrapa Meio Ambiente, 2001. p.213-229.

- CAMBARDELLA, C.A. & ELLIOTT, E.T. Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 56:777-783, 1992.
- CAVALCANTE, E.G.S.; ALVES, M.C.; PEREIRA, G.T. & SOUZA, Z.M. Variabilidade espacial de MO, P, K e CTC do solo sob diferentes usos e manejos do solo. *Ci. Rural*, 37:394-400, 2007.
- CENTURION, J.F.; DEMATTE, J.L.I. & FERNÁNDEZ, F.M. Efeitos de sistemas de preparo nas propriedades químicas de um solo sob cerrado cultivado com soja. *R. Bras. Ci. Solo*, 9:267-270, 1985.
- CERRI, C.C. & VOLKOFF, B. Matéria orgânica de três solos dos campos inundáveis da Ilha de Marajó/PA. *R. Bras. Ci. Solo*, 12:93-100, 1988.
- CHRISTENSEN, B.T. Physical fractionation of soil organic matter in primary particle size and density separates. *Adv. Soil Sci.*, 20:1-90, 1992.
- CHRISTENSEN, B.T. Carbon in primary and secondary organomineral complexes. In: CARTER, M.R. & STEWART, B. A., eds. *Structure and organic matter storage in agricultural soil*. Boca Raton, CRC Press, 1996. p.97-165.
- CIOTTA, M.N.; BAYER, C.; ERNANI, P.R.; FONTOURA, S.M.V.; ALBUQUERQUE, J.A. & WOBETO, C. Acidificação de um Latossolo sob plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, 26:1055-1064, 2002.
- COSTA, F.S.; BAYER, C.; ALBUQUERQUE, J.A. & FONTOURA, S.M.V. Aumento de matéria orgânica num Latossolo Bruno em plantio direto. *Ci. Rural*, 34:587-589, 2004.
- CRUZ, A.C.R.; PAULETTO, E.A.; FLORES, C.A. & SILVA, J.B. Atributos físicos e carbono orgânico de um Argissolo Vermelho sob sistemas de manejo. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:1105-1112, 2003.
- DALAL, R.C. & MAYER, R.J. Long-term trends in fertility of soils under continuous cultivation and cereal cropping in southern Queensland. *Austr. J. Soil Res.*, 24:301-309, 1986.
- DE MARIA, I.C. & CASTRO, O.M. Fósforo, potássio e matéria orgânica em um Latossolo Roxo, sob sistemas de manejo com milho e soja. *R. Bras. Ci. Solo*, 17:471-477, 1993.
- ELTZ, F.L.F.; PEIXOTO, R.T.G. & JASTER, F. Efeito de sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas e químicas de um Latossolo Bruno álico. *R. Bras. Ci. Solo*, 13:259-267, 1989.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2006. EMBRAPA Solos, Rio de Janeiro, 306p.
- FRANCHINI, J.C.; BORKERT, C.M.; FERREIRA, M.M. & GAUDÊNCIO, C.A. Alterações na fertilidade do solo em sistemas de rotação de culturas em semeadura direta. *R. Bras. Ci. Solo*, 24:459-467, 2000.

- GUGGENBERGER, G.; CHRISTENSEN, B.T. & ZECH, W. Land-use effects on the composition of organic matter in particle-size separates of soil: I. Lignin and carbohydrate signature. *Eur. J. Soil Sci.*, 45:449-458, 1994.
- HUSSAIN, I.; OSLON, K.R. & EBELHAR, S.A. Long-term tillage effects on soil chemical properties and organic matter fractions. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 63:1335-1341, 1999.
- 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 Sci. Soc. Am. J.*, 56:1799-1806, 1992.
- LEITE, A.A.L.; FERRAZ JUNIOR, A.S.L.; MOURA, E.G. & AGUIAR, A.C.F. Comportamento de dois genótipos de milho cultivados em sistema de aléias preestabelecido com diferentes leguminosas arbóreas. *Bragantia*, 67:875-882, 2008.
- 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 sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:821-832, 2003.
- LOSS, A.; PEREIRA, M.G.; FERREIRA, E.P.; SANTOS, L.L.; BEUTLER, S.J. & FERRAZ JUNIOR, A.S.L. Frações oxidáveis do carbono orgânico em argissolo vermelho-amarelo sob sistema de aléias. *R. Bras. Ci. Solo*, 33:867-874, 2009.
- MACHADO, P.L.O. Fracionamento físico do solo por densidade e granulometria para quantificação de compartimentos da matéria orgânica do solo: um procedimento para a estimativa pormenorizada do sequestro de carbono do solo. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2002.
- MIRANDA, C.C.; CANELLAS, L.P. & NASCIMENTO, M.T. Caracterização da matéria orgânica do solo em fragmentos de Mata Atlântica e em plantios abandonados de eucalipto. *R. Bras. Ci. Solo*, 31:905-916, 2007.
- MOURA, E.G. Agroambientes de transição avaliados numa perspectiva da agricultura familiar. In: MOURA, E.G., org. Agroambientes de transição entre o trópico úmido e o semi-árido do Brasil: Atributos; alternativas; uso na produção familiar. 2.ed. São Luís, Universidade Estadual do Maranhão, 2006. p.15-51.
- MOURA, E.G.; SILVA, A.J.F.; FURTADO, M.B. & AGUIAR, A.C.F. Avaliação de um sistema de cultivo em aléias em um Argissolo Franco-arenoso da Região Amazônica. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:1735-1742, 2008.
- NEVES, S., V., J.; FELLER., C., LARRÉ-LARROY, M.-C. Matéria orgânica nas frações granulométricas de um latossolo vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Semina: Ciências Agrárias*, 26:17-26, 2005.
- PAIVA, P.J.R.; VALE, F.R.; FURTINI NETO, A.E. & FAQUIN, V. Acidificação de um Latossolo Roxo do estado do Paraná sob diferentes sistemas de manejo. *R. Bras. Ci. Solo*, 20:71-75, 1996.

- PAUSTIAN, K.; ANDRÉN, O.; JANZEN, H.H.; LAL, R.; SMITH, P.; TIAN, G.; TIESSEN, H.; Van NOORDWIJK, M. & WOOMER, P.L. Agricultural soils as a sink to mitigate CO<sub>2</sub> emissions. *Soil Use Manag.*, 13:230-244, 1997.
- PILLON, C.N.; MIELNICZUK, J. LOVATO, T. & MARTIN-NETO, L. Seqüestro de carbono por sistemas de manejo do solo e seus reflexos sobre o efeito estufa. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS, 4., Viçosa. Anais. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, Departamento de solos, 2001.
- PINHEIRO, E.F.M.; PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C. & MACHADO, P.L.O.A. Fracionamento densimétrico da matéria orgânica do solo sob diferentes sistemas de manejo e cobertura vegetal em Paty do Alferes (RJ). *R. Bras. Ci. Solo*, 28:731-737, 2004.
- RANGEL, O.J.P.; SILVA, C.A. & GUIMARÃES, T. G. Estoques e frações da matéria orgânica de Latossolo cultivado com cafeeiro em diferentes espaçamentos de plantio. *R. Bras. Ci. Solo*, 31:1341-1353, 2007.
- RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S.B. & CORRÊA, G.F. *Pedologia: Base para distinção de ambientes*. Viçosa, MG, NEPUT, 2002.
- SCHOLES, R.J.; BREEMEN, N. van. The effects of global change on tropical ecosystems. *Geoderma*, 79:9-24, 1997.
- SIDIRAS, N. & PAVAN, M.A. Influência do sistema de manejo do solo no seu nível de fertilidade. *R. Bras. Ci. Solo*, 9:249-254, 1985.
- SILVA, I.F. & MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 21:113-117, 1997.
- SILVA, C.A.; ANDERSON, S.J. & VALE, F.R. Carbono, nitrogênio e enxofre em frações granulométricas de dois Latossolos submetidos à calagem e adubação fosfatada. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:593-602, 1999.
- SILVEIRA, P.M. & STONE, L.F. Teores de nutrientes e matéria orgânica afetados pela rotação de culturas e sistemas de preparo do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 25:387-394, 2001.
- SOUZA, Z.M. & ALVES, M.C. Propriedades químicas de um Latossolo Vermelho distrófico de cerrado sob diferentes usos e manejos. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:133-139, 2003.
- SOUZA, W.J.O. & MELO, W.J. Matéria orgânica de um Latossolo submetido a diferentes sistemas de produção de milho. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:1113-1122, 2003.
- SOUZA, C.K.; MARQUES JÚNIOR, J.; MARTINS FILHO, M.V. & PEREIRA, G.T. Influência do relevo na variação anisotrópica dos atributos químicos e granulométricos de um Latossolo em Jaboticabal-SP. *E. Agrícola*, 23:486-495, 2003.
- SWIFT, R.S. Sequestration of carbon by soil. *Soil Sci.*, 166:858-871, 2001.
- TOMÉ JR., J.B. *Manual para interpretação de análise de solo*. Guaíba. Agropecuária. 1997.247p.

WOHLENBERG, E.V.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. & BLUME, E. Dinâmica da agregação de um solo francoarenoso em cinco sistemas de culturas em rotação e em sucessão. R. Bras. Ci. Solo, 28:891-900, 2004.

**ANEXO**

---

## REVISTA BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO

### INSTRUÇÕES AOS AUTORES

A **Revista Brasileira de Ciência do Solo** é um periódico de divulgação científica publicado pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS).

[Os trabalhos submetidos à publicação](http://www.sbcs.org.br) somente poderão ser enviados pelo site [www.sbcs.org.br](http://www.sbcs.org.br), e não mais em papel, e nas seguintes formas:

**Artigos ou notas científicas.**

**Revisões de literatura** sobre tema específico.

**Cartas ao Editor** de, no máximo, quatro páginas digitadas em espaço duplo, contendo um dos seguintes temas: (a) Comunicação de matéria diretamente ligada à Ciência do Solo; (b) Comentário crítico de trabalhos publicados na Revista Brasileira de Ciência do Solo.

Só serão aceitos trabalhos escritos em português ou inglês, depois de revistos e aprovados pela Comissão Editorial, e que não foram publicados e não submetidos à publicação em outro veículo. Excetuam-se, nesta última limitação, os apresentados em congressos, em forma de resumo. **O autor que encaminhar o trabalho deverá se responsabilizar pelos demais autores, quando houver, como co-responsáveis pelo conteúdo científico do trabalho.**

Os trabalhos subdivididos em partes I, II..., devem ser enviados juntos, pois serão submetidos aos mesmos revisores.

Solicita-se observar as seguintes instruções para o preparo dos artigos e notas científicas:

1. O original deve ser encaminhado completo e revisto.
2. Deve ser enviado digitado em espaço 1,5, utilizando fonte “**Times New Roman 12**”, formato A4, com 2,5 cm nas margens superior e inferior e 2,0 cm nas margens direita e esquerda, enumerando-se todas as páginas e as linhas do texto.
3. O trabalho deve ser o mais claro e conciso possível. Somente em casos especiais serão aceitos trabalhos com número de páginas de texto superior a quinze.
4. **Os artigos, notas e revisões** deverão ser iniciados com o título do trabalho e, logo abaixo, os nomes completos dos autores. Como chamada de rodapé referente ao título, deve-se usar número-índice que poderá indicar se foi trabalho extraído

de tese, ou apresentado em congresso, entidades financiadoras do projeto e, necessariamente, a data (Recebido para publicação em / / ) em que o trabalho foi recebido para publicação. O cargo, o local de trabalho dos autores [endereço postal e, se possível, eletrônico (E-mail)], deverão ser inseridos também no rodapé, em numeração consecutiva de chamada de números-índices colocados logo após o nome de cada autor. A condição de bolsista poderá ser incluída.

5. Os artigos deverão ser divididos, sempre que possível, em seções com cabeçalho, na seguinte ordem: **RESUMO, SUMMARY** (precedido da tradução do título para o inglês), **INTRODUÇÃO, MATERIAL E MÉTODOS, RESULTADOS, DISCUSSÃO, CONCLUSÕES, AGRADECIMENTOS e LITERATURA CITADA**. Não há necessidade dessa subdivisão para os artigos sobre educação, revisões de literatura e notas científicas, embora devam ter, obrigatoriamente, **RESUMO e SUMMARY**.

Tais seções devem ser constituídas de:

- 5.1. **TÍTULO** do trabalho que deve ser conciso e indicar o seu conteúdo.
- 5.2. **RESUMO** que deve apresentar, objetivamente, **uma breve frase introdutória, que justifique o trabalho**, o que foi feito e estudado, os mais importantes resultados e conclusões. Será seguido da indicação dos termos de indexação, diferentes daqueles constantes do título. A tradução do **RESUMO** para o inglês constituirá o **SUMMARY**.
- 5.3. **INTRODUÇÃO** que deve ser breve, esclarecendo o tipo de problema abordado ou a(s) hipótese(s) de trabalho, com citação da bibliografia específica e finalizar com a indicação do objetivo do trabalho.
- 5.4. **MATERIAL E MÉTODOS** em que devem ser reunidas informações necessárias e suficientes que possibilitem a repetição do trabalho por outros pesquisadores.
- 5.5. **RESULTADOS** que devem conter uma apresentação concisa dos dados obtidos. Quadros ou figuras devem ser preparados sem dados supérfluos.
- 5.6. **DISCUSSÃO** que deve conter os resultados analisados, levando em conta a literatura, mas sem introdução de novos dados.
- 5.7. **CONCLUSÕES** que devem basear-se somente nos dados apresentados no trabalho e deverão ser numeradas.
- 5.8. **AGRADECIMENTOS** devem ser sucintos e não aparecer no texto ou em

notas de rodapé.

5.9. **LITERATURA CITADA**, incluindo trabalhos citados no texto, quadro(s) ou figura(s) e inserida em ordem alfabética e da seguinte forma:

- a. **Periódicos:** Nome de todos os autores, Título do artigo. Título abreviado do periódico, volume: páginas inicial e final, ano de publicação. Exemplo:  
FONSECA, J.A. & MEURER, E.J. Inibição da absorção de magnésio pelo potássio em plântulas de milho em solução nutritiva. R. Bras. Ci. Solo, 21:47-50, 1997.
- b. **Livro:** Autores. Título da publicação. Número da edição. Local, Editora, ano de publicação. Número de páginas. Exemplo:  
KONHNKE, H. Soil physics. 2.ed. New York, MacGraw Hill, 1969. 224p.
- c. **Participação em obra coletiva:** Autores. Título da parte referenciada seguida de In: Nome do editor. Título da publicação, número da edição. Local de Publicação, Editora, ano. Páginas inicial e final. Exemplos:  
- *Capítulo de livro:*  
JACKSON, M.L. Chemical composition of soil. In: BEAR, F.E., ed. Chemistry of the soil. 2.ed. New York, Reinhold, 1964. p.71-141.
- d. **Trabalho em Anais:**  
VETTORI, L. Ferro “livre” por cálculo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 15., Campinas, 1975. Anais. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1976. p.127-128.
- e. **CD-ROM:**  
SILVA, M.L.N.; FREITAS, P.L.; BLANCANEAUX, P. & CURI, N. Índice de erosividade de chuva da região de Goiânia (GO). In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO. 13., 1996. Anais. Águas de Lindóia, Embrapa, 1996. CD-ROM
- f. **Internet:**  
EL NIÑO and La Niña. Disponível em: <  
<http://www.stormfax.com/elnino.htm>>. Acesso em 15 out. 2000.

As abreviações de nome de revistas devem ser feitas de acordo com as usadas pelos “abstracting journals”, como dos Commonwealth Agricultural Bureaux.

6. As Referências no texto deverão ser feitas na forma: Silva & Smith (1975) ou (Silva & Smith, 1975). Quando houver mais de dois autores, usar a forma reduzida: (Souza et al., 1975). Referências a dois ou mais artigos do(s) mesmo(s) autor (es), no mesmo ano, serão discriminadas com letras minúsculas (Ex.: Silva, 1975a,b).

7. Os quadros deverão ser numerados com algarismos arábicos, sempre providos de um título claro e conciso e construídos de modo a serem auto-explicativos. Não usar linhas verticais. As linhas horizontais devem aparecer para separar o título do cabeçalho e este do conteúdo, além de uma ao final do quadro. O quadro deve ser feito por meio de uma tabela (MICROSOFT WORD/TABELA/INSERIR

- TABELA), no qual cada valor deve ser digitado em células distintas, estando centralizado e alinhado.
8. Os gráficos deverão ser preparados, utilizando-se “Softwares” compatíveis com “Microsoft Windows” (“Excel”, “Power Point”, “Sigma Plot”, etc.). Para fotos e mapas coloridos utilizar resolução de 150 a 300 DPI. Não serão aceitas figuras que repitam informações de quadros.
  9. Fotos coloridas, quando imprescindíveis, a critério da Comissão Editorial serão, também, aceitas. Os custos adicionais deverão ser cobertos pelos autores.
  10. Para publicação de artigos na RBCS serão cobrados por página editorada (forma final na Revista): para sócios da SBCS (primeiro autor e, ou, autor correspondente) R\$ 25,00, até oito páginas, e R\$ 50,00 por página adicional, para não-sócios (primeiro autor e, ou, autor correspondente): R\$ 50,00 por página até oito páginas e R\$ 100,00 por página adicional.