

**LUIZ FERNANDO CARVALHO LEITE**

**COMPARTIMENTOS E DINÂMICA DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO  
SOB DIFERENTES MANEJOS E SUA SIMULAÇÃO PELO MODELO  
CENTURY**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de “*Doctor Scientiae*”.

**VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2002**

**LUIZ FERNANDO CARVALHO LEITE**

**COMPARTIMENTOS E DINÂMICA DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO  
SOB DIFERENTES MANEJOS E SUA SIMULAÇÃO PELO MODELO  
CENTURY**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de “*Doctor Scientiae*”.

APROVADA: 29 de maio de 2002.

---

Prof. Elpídio Inácio Fernandes Filho  
(Conselheiro)

---

Pedro Luiz Oliveira de Almeida Machado  
(Conselheiro)

---

Prof. Julio César Lima Neves

---

Ricardo Trippia dos Guimarães Peixoto

---

Prof. Eduardo de Sá Mendonça  
(Orientador)

À minha esposa Nícia  
Aos meus filhos Luis Felipe e Ana Livia

DEDICO

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pela saúde, paz espiritual e conforto.

Aos meus pais, Geraldo Magela e Maria Socorro, pelos exemplos de amor, dedicação à família e honestidade, e pela presença constante na minha vida, principalmente nos momentos mais difíceis.

Aos meus queridos irmãos, Carlos e Ana Laura, pelas mensagens de fé e confiança e pelo apoio incondicional à escolha do caminho da pós-graduação.

À Universidade Federal de Viçosa (UFV) e ao Departamento de Solos pela oportunidade de realização do curso.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de pós-graduação.

À Universidade do Estado do Colorado (EUA), em especial a programadora de computadores Cindy Keough e ao Professor William Parton, pela colaboração irrestrita aos trabalhos de simulação com o modelo Century.

Ao Professor Eduardo de Sá Mendonça, pela amizade, orientação, motivação e confiança em mim depositada.

Ao Pesquisador Pedro Luiz Oliveira de Almeida Machado, pelo incentivo e pelas sugestões sempre oportunas e valiosas.

Ao Professor Elpídio Inácio Fernandes Filho pelas sugestões e pela inestimável contribuição no aperfeiçoamento do modelo Century.

Ao Professor Júlio César Lima Neves, um dos grandes incentivadores dos estudos de modelagem, pelas sugestões, amizade e especial consideração.

Ao Pesquisador Ricardo Trippia dos Guimarães Peixoto, pelas sugestões para a melhoria da qualidade deste trabalho.

Aos Professores Caetano Marciano de Souza e João Carlos Cardoso Galvão pela cessão das áreas experimentais.

Ao Estudante de Agronomia e bolsista de Iniciação Científica, Eduardo da Silva Matos, e ao Laboratorista José Braz Júlio, pelo auxílio nas análises de laboratório.

Aos colegas de pós-graduação, Elaine, Ermelinda, Gualter e Valdinar, pela amizade e pelos momentos de descontração durante todo o curso.

Aos professores e funcionários do Departamento de Solos pela atenção e disponibilidade.

A todos não citados, que de alguma forma colaboraram neste trabalho, meu agradecimento.

## CONTEÚDO

RESUMO .....	viii
ABSTRACT .....	x
INTRODUÇÃO GERAL .....	1
CAPÍTULO 1 .....	4
ESTOQUES TOTAIS DE CARBONO E NITROGÊNIO E DE COMPARTIMENTOS DE CARBONO ORGÂNICO DE UM ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO SOB PLANTIO DIRETO, PREPARO CONVENCIONAL E FLORESTA ATLÂNTICA. ....	4
1. INTRODUÇÃO .....	4
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	8
2.1. Localização e Descrição da área .....	8
2.2. Procedimento experimental e tratamentos .....	9
2.3. Análises químicas e físicas do solo.....	10
2.3.1. Análises químicas.....	10
2.3.2. Análises físicas.....	12
2.4. Estimativa de emissão ou seqüestro de C-CO <sub>2</sub> .....	12
2.5. Análise Fitotécnica.....	13
2.6. Análises Estatísticas.....	13
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	14
3.1. Caracterização química e física do solo sob diferentes sistemas de manejo. .....	14
3.2. Aporte de carbono e nitrogênio ao solo pelas culturas .....	17
3.3. Análise temporal dos estoques de carbono orgânico total do solo .....	18
3.4. Teores e estoques totais de carbono e nitrogênio após 15 anos.....	21
3.5. Estimativa de emissão de C-CO <sub>2</sub> atmosférico pelos sistemas de manejo....	23
3.6. Compartimentos de carbono orgânico total no solo em diferentes sistemas de manejo. ....	25
4. CONCLUSÕES .....	34
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	35

CAPÍTULO 2.....	48
ESTOQUES TOTAIS DE CARBONO E NITROGÊNIO E DE COMPARTIMENTOS DE CARBONO ORGÂNICO EM SISTEMAS DE ADUBAÇÃO ORGÂNICA E MINERAL E FLORESTA ATLÂNTICA.....	48
1. INTRODUÇÃO .....	48
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	51
2.1. Localização e descrição da área.....	51
2.2. Procedimento experimental e tratamentos .....	51
2.3. Análises químicas e físicas do solo.....	53
2.3.1. Análises químicas.....	53
2.3.2. Análises físicas.....	55
2.4. Estimativa de emissão ou seqüestro de C-CO <sub>2</sub> .....	55
2.5. Análise Fitotécnica.....	56
2.6. Análises Estatísticas.....	56
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	59
3.1. Aporte de carbono e nitrogênio ao solo pela cultura do milho.....	59
3.2. Teores e estoques totais de carbono e nitrogênio após 16 anos.....	60
3.3. Estimativa de emissão de C-CO <sub>2</sub> atmosférico pelos sistemas de manejo....	64
3.4. Compartimentos de carbono orgânico total no solo em diferentes sistemas de manejo .....	65
4. CONCLUSÕES .....	79
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	79
CAPÍTULO 3.....	87
SIMULAÇÃO PELO MODELO CENTURY DA DINÂMICA DA MATÉRIA ORGÂNICA DE UM ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO SOB PLANTIO DIRETO E PREPARO CONVENCIONAL E ADUBAÇÃO MINERAL E ORGÂNICA.....	87
1. INTRODUÇÃO .....	87
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	90
2.1. Descrição das áreas .....	90
2.2. Eventos de manejo .....	90
2.3. Amostragem de solos.....	92
2.4. Métodos de Laboratório.....	92
2.5. Descrição do modelo Century 4.0.....	94

2.6. Parametrização do modelo .....	97
2.7. Simulações .....	98
2.8. Análise de sensibilidade.....	99
2.9. Estimativa de emissão ou seqüestro de C-CO <sub>2</sub> atmosférico .....	100
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	101
3.1. Experimento com sistemas de preparo de solo .....	101
3.1.1. Estimativa dos compartimentos de carbono pelos valores de equilíbrio .....	101
3.1.2. Estimativa dos compartimentos de carbono por meio dos valores medidos .....	103
3.1.3. Estimativa dos compartimentos de nitrogênio .....	106
3.1.4. Comparação de valores medidos e simulados pelo modelo Century..	108
3.1.5. Estimativa de emissão de C-CO <sub>2</sub> pelos sistemas de preparo .....	111
3.1.6. Criação de cenários .....	112
3.1.7. Análise de sensibilidade .....	112
3.2. Experimento com sistemas de adubação mineral e orgânica.....	115
3.2.1. Estimativa dos compartimentos de carbono pelos valores de equilíbrio .....	115
3.2.2. Estimativa dos compartimentos de carbono por meio dos valores medidos .....	118
3.2.3. Estimativa dos compartimentos de N e relação C:N.....	121
3.2.4. Comparação de valores medidos e simulados pelo modelo Century..	123
3.2.5. Criação de cenários .....	126
3.2.6. Análise de Sensibilidade .....	128
4. CONCLUSÕES .....	129
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	130
CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	137
APÊNDICE .....	139

## RESUMO

LEITE, Luiz Fernando Carvalho, D.S., Universidade Federal de Viçosa, maio de 2002.  
**Compartimentos e dinâmica da matéria orgânica do solo sob diferentes manejos e sua simulação pelo modelo Century.** Orientador: Eduardo de Sá Mendonça.  
Conselheiros: Elpídio Inácio Fernandes Filho e Pedro Luiz Oliveira de Almeida Machado.

A matéria orgânica (MO) do solo é importante na disponibilidade de nutrientes, agregação do solo e no fluxo de gases de efeito estufa entre a superfície terrestre e a atmosfera. Modelos matemáticos otimizam o entendimento da dinâmica da MO do solo e são ferramentas essenciais na predição dos efeitos das mudanças ambientais, para testar cenários específicos e desenvolver estratégias que mitiguem os efeitos negativos destas mudanças. Os objetivos deste estudo foram: a) avaliar o impacto de diferentes sistemas de preparo do solo (plantio direto, arado de disco, grade pesada + arado de disco e grade pesada) e sistemas de adubação orgânica e mineral (sem adubação, 250 Kg/ha da fórmula 4-14-8 (N-P-K), 500 Kg/ha da fórmula 4-14-8 (N-P-K), 40 m<sup>3</sup>/ha de composto orgânico (palhada de soja e feijão + esterco bovino), 250 Kg/ha da fórmula 4-14-8 (N-P-K) + 40m<sup>3</sup>/ha de composto orgânico e 500 Kg/ha da fórmula 4-14-8 (N-P-K) + 40m<sup>3</sup>/ha de composto orgânico, sobre os estoques totais de carbono orgânico (COT) e nitrogênio (NT) e compartimentos de carbono (C) orgânico; b) simular por meio do modelo Century, versão 4.0, a influência de sistemas de preparo de solo em plantio direto e convencional e de adubação orgânica e mineral, sobre a dinâmica do C no solo e; c) Validar o modelo Century em solos tropicais, comparando estoques de C medidos com os simulados pelo modelo. Uma área sob Floresta Atlântica (FA) adjacente aos experimentos, foi amostrada e usada como referência. No experimento com sistemas de preparo de solo, os maiores estoques de COT e NT, assim como de C da biomassa microbiana (C<sub>MIC</sub>), C da fração leve (C<sub>FL</sub>) e C orgânico lábil (C<sub>L</sub>) foram observados no solo sob FA em comparação ao solo sob sistemas de preparo. O plantio direto

apresentou maiores estoques de COT e NT e do compartimento  $C_L$  do que os sistemas convencionais, na camada superficial (0-10 cm). No entanto, não houve após 15 anos, potencial para seqüestro de C-CO<sub>2</sub> da atmosfera por meio dos sistemas de preparo. No experimento com adubação orgânica e mineral, os estoques de COT e NT também foram menores do que os estoques no solo sob FA, embora a redução tenha sido menor do que no experimento com sistemas de preparo. Os sistemas com a presença do composto orgânico apresentaram maiores estoques de COT, NT,  $C_{FL}$  e  $C_L$  do que os sistemas sem adubação ou apenas com adubação mineral, o que confirma a adubação orgânica como estratégia de manejo importante para a melhoria da qualidade do solo. Devido a maior sensibilidade, os estoques dos compartimentos  $C_{MIC}$ ,  $C_{FL}$  e  $C_L$  foram reduzidos com maior intensidade do que os estoques de COT, e por isso podem ser usados como indicadores da interferência antrópica ou das mudanças no manejo sobre o estado da matéria orgânica do solo. O modelo Century estimou perdas nos estoques de COT e dos compartimentos de C desde a derrubada da Floresta Atlântica até o início dos experimentos. Estes estoques apresentaram tendência de recuperação apenas no solo sob plantio direto, no experimento com sistemas de preparo, e no solo sob composto orgânico, no experimento com sistemas de adubação orgânica e mineral, o que endossa a importância de sistemas conservacionistas na qualidade do solo em médio e longo prazo. Similarmente ao observado nos estoques de C medidos, os estoques de C simulados pelo modelo Century nos compartimentos ativo e lento foram mais sensíveis às alterações no manejo do que o COT. Os estoques de COT e de C nos compartimentos lento e passivo simulados pelo modelo Century foram similares aos estoques medidos tanto no experimento com sistemas de preparo do solo, quanto no experimento com adubação, o que demonstra potencialidade do modelo em simular a dinâmica da matéria orgânica em solos tropicais. Por outro lado, em ambos os experimentos, os estoques de C no compartimento ativo, simulado pelo modelo Century, foram subestimados em relação aos estoques medidos, devido à falta de relação entre o compartimento teórico pressuposto pelo modelo e a fração determinada quimicamente em solos tropicais. Além disto, há a necessidade da inclusão de outras variáveis, como a mineralogia do solo, no submodelo de C.

## ABSTRACT

LEITE, Luiz Fernando Carvalho, D.S., Universidade Federal de Viçosa, may, 2002.

**Soil organic matter pools and dynamics under different management and simulation using Century model.** Adviser: Eduardo de Sá Mendonça. Committee Members: Elpídio Inácio Fernandes Filho and Pedro Luiz Oliveira de Almeida Machado.

Soil organic matter (SOM) and its different pools have key importance in nutrient availability, soil stability and in the flux of trace gases between land surface and the atmosphere. This is particularly critical for tropical soils. The ability to predict the effects of land-use change on SOM dynamics is essential in formulating environmental and agricultural policies. Hence, mathematical models as they encapsulate our best understanding of SOM dynamics are important tools for predicting the effects of environmental changes and for developing strategies to mitigate negative impacts of these changes. The objectives of this study were: 1. To evaluate the impact of different tillage systems and organic and mineral fertilization of soils on soil organic carbon (TOC) and nitrogen (TON) stocks and soil organic carbon pools; 2. To simulate using Century model trends in soil organic carbon in long-term experiment of tillage systems and soil fertilization and; 3. To validate the Century model in an acid clayey tropical soil fitting by eye between modeled and measured data over the whole experimental period. Tillage systems consisted of no-tillage, disc plough, heavy disc harrow followed by disc plough, and heavy disc harrow. Organic and mineral fertilizers were combined and the following amounts were applied along 16 years: control, 160 kg N ha<sup>-1</sup>, 560 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> and 320 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> as mineral fertilizer; 40 m<sup>3</sup> organic compost ha<sup>-1</sup> as animal manure + plant residues of soybean and common bean; 160 kg N ha<sup>-1</sup>, 560 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> and 320 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> as mineral fertilizer + 40 m<sup>3</sup> organic compost ha<sup>-1</sup> and; 320 kg N ha<sup>-1</sup>, 1120 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> and 640 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> + 40 m<sup>3</sup> organic compost ha<sup>-1</sup>. As a reference, additional soil samples were collected from an adjacent area on the same soil type, under secondary Atlantic Forest (AF). In the long-term tillage experiment

higher values of soil C and N stocks, soil biomass C ( $C_{MIC}$ ), organic carbon of the light fraction ( $C_{LF}$ ), and labile carbon ( $C_L$ ) were found in the AF soils than in the soils from the cultivated soils. In the 0-10 cm depth, soils under no-tillage showed higher contents of C and N stocks and  $C_L$  than ploughed soils. However, after 15 years of cultivation, no tillage system showed trend to sequester  $CO_2$ -C from the atmosphere. In the experiment combining both organic and mineral fertilizer application, soil organic C and N stocks were also lower than the soils under AF. The differences however were lower than those observed in the soils from the tillage experiment. Soils that received organic compost showed higher C and N stocks,  $C_{LF}$  and  $C_L$  than the soils that received no fertilizer or only mineral fertilizer. This means that the addition of organic fertilizers is an important strategy to improve soil quality. Due to higher sensitivity, pools of  $C_{MIC}$ ,  $C_{LF}$  and  $C_L$  decreased more than organic C stocks. Thus  $C_{MIC}$ ,  $C_{LF}$  and  $C_L$  may be used as indicators of anthropogenic impact or changes in the management of the SOM. Soil C stocks simulated by Century model showed trend to recovery only under no-tillage, in the tillage experiment, and under organic compost, in the fertilizer experiment. Also, similarly to the soil C stocks simulated amounts of C stocks of slow and active pools were more sensitive to management impacts than total organic C. The values estimated by Century of soil C stocks and organic carbon in the slow and passive pools fitted satisfactorily with the measured data in both tillage and fertilizer experiment. Thus fitted, apart from the active pool, Century showed acceptable performance in the prediction of SOM dynamics in acid tropical soils. Finally, if the soil mineralogy factor were considered by the Century model, the estimation provided by the C submodel could be improved.

## INTRODUÇÃO GERAL

A concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico que contribui com cerca de 65 % do potencial de aquecimento global está aumentando progressivamente, saltando de 280 mg kg<sup>-1</sup> no início da revolução industrial, para cerca de 356 mg kg<sup>-1</sup> nos dias de hoje. Mudanças no uso da terra de 1850 até 1998 resultaram em emissões cumulativas de 405 Gt de carbono (C), que respondem por metade do aumento de CO<sub>2</sub> em todo mundo (Schimel, 1995; Lal et al., 1998; Lal & Bruce, 1999).

As principais fontes antrópicas de emissão de CO<sub>2</sub> são a queima de combustíveis fósseis, o desmatamento com queimadas de florestas e as atividades associadas ao processo de industrialização (Mosier, 1998). A agricultura também apresenta significativa influência sobre a composição do ar atmosférico, sendo responsável por cerca de 20 % do aumento anual na emissão de CO<sub>2</sub> e outros gases de efeito estufa (Paustian et al., 1997a). Esta atividade, quando há freqüente revolvimento do solo, provoca o incremento da oxidação biológica do C orgânico a CO<sub>2</sub>, por meio da melhoria na aeração, do aumento no contato entre solo e resíduos vegetais e pela exposição da matéria orgânica protegida nos agregados ao ataque microbiano (Beare et al., 1994), ocasionando aumento da concentração desse gás na atmosfera (Reicosky & Forcella, 1998; Ingram & Fernandes, 2001).

A utilização de sistemas de preparo conservacionistas, conceitualmente aqueles que tem pelo menos 30 % ou mais de resíduos cobrindo o solo (Conservation Technology Information Center, 1996), tem tornado-se efetiva estratégia para o seqüestro de CO<sub>2</sub>. Tais sistemas têm como premissa a sustentabilidade do processo produtivo, mantendo ou recuperando os teores de matéria orgânica, revertendo o quadro de degradação das condições físicas, químicas e biológicas do solo e de erosão intensa, resultantes da utilização de sistemas convencionais de preparo com arados e grades.

Em sistemas conservacionistas mais extremos, como plantio direto, o solo não é perturbado nas operações de plantio e colheita, exceto para semeadura e aplicação de fertilizantes, ocasionando assim, novo equilíbrio na distribuição de C orgânico e nutrientes. A adoção destes tipos de sistemas implica também em economia de custos em mão de obra, combustível e equipamentos, ao mesmo tempo em que trazem benefícios ao solo, água e à vida silvestre. Aplicações racionais e combinadas de fertilizantes minerais e aportes orgânicos, também têm sido bastante recomendadas como formas de manutenção de alta produtividade, principalmente quando materiais

com alta relação C:N são aplicados, propiciando alto risco de imobilização de nitrogênio em curto prazo (Fernandes et al., 1997).

Para a avaliação da eficiência dos sistemas, convencionais ou conservacionistas, é necessário definir atributos de solo e do ambiente sensíveis ao manejo e de fácil determinação (Mielniczuk, 1999). O C orgânico total insere-se entre estas variáveis, embora suas alterações sejam lentas, o que associado a períodos experimentais relativamente curtos (inferiores a 5 anos), dificulta a melhor constatação do efeito dos sistemas de manejo sobre a dinâmica ou transformação da matéria orgânica do solo. Portanto, como forma de otimizar os conhecimentos, a matéria orgânica pode ser dividida em compartimentos, dinâmicos, mutuamente dependentes e controlados por fatores climáticos, edáficos e antrópicos (Scholes et al., 1997; Silva & Resck, 1997), os quais podem ser estimados a partir de procedimentos que incluam as determinações do C da biomassa microbiana e da fração leve ou C da matéria orgânica particulada, como medidas dos compartimentos ativo (Paul, 1984) e lento (Cambardella & Elliot, 1992), respectivamente. Ambos são mais sensíveis, permitindo uma avaliação antecipada da degradação do solo antes que o processo se torne aparente.

Concomitantemente à aplicação de métodos analíticos, as estimativas dos compartimentos de matéria orgânica por meio de simulações de longa duração (2000 a 3000 anos) mediante modelos foram estimuladas nos últimos 20 anos. Além de serem ferramentas essenciais ao entendimento dos processos e componentes que controlam a dinâmica da matéria orgânica e de seus compartimentos em solos cultivados, os modelos possibilitam realizar previsões acerca de efeitos de mudanças ambientais, testar cenários específicos e desenvolver estratégias para mitigar os efeitos negativos dessas mudanças (Smith et al., 1998). Os primeiros modelos criados foram bastante simplistas na sua natureza, descrevendo a decomposição da matéria orgânica do solo por meio de uma equação diferencial de primeira ordem. Em modelos posteriores, foram introduzidas equações diferenciais representando transformações de vários componentes da matéria orgânica do solo, ao longo de um contínuo de decomposição, desde os facilmente decompostos até os biologicamente resistentes (Post, 1992).

Em modelos mais recentes, a matéria orgânica tem sido dividida em compartimentos bem definidos com taxas de decomposição diferenciadas. São exemplos de tais modelos, o Century (Parton et al., 1993) e o RothC (Coleman & Jenkinson, 1996). Como variáveis de entrada, os modelos requerem dados climáticos,

de solo e de planta, mais facilmente disponíveis do que algumas variáveis de entrada de modelos anteriores.

O modelo Century tem sido validado e testado para situações de solo e clima contrastantes e práticas de manejo diferenciadas, sendo a grande maioria no entanto para regiões temperadas, como no Canadá (Liang et al., 1995; Smith et al., 1997; Smith et al., 2001), nos Estados Unidos (Parton et al., 1987), no norte da Europa (Paustian et al., 1992) e poucas para regiões tropicais (Parton et al., 1989).

Os objetivos deste estudo foram: 1) Determinar o impacto de sistemas de preparo em plantio direto e convencional, e sistemas de adubações orgânica e mineral, sobre os estoques dos compartimentos de C em solos tropicais; 2) Discutir o potencial e as limitações do modelo Century para simular mudanças nos compartimentos de C em diferentes sistemas de manejo, em condições tropicais e; 3) Estimar as emissões e seqüestro de CO<sub>2</sub> atmosférico nos sistemas estudados.

## **CAPÍTULO 1**

### **ESTOQUES TOTAIS DE CARBONO E NITROGÊNIO E DE COMPARTIMENTOS DE CARBONO ORGÂNICO DE UM ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO SOB PLANTIO DIRETO, PREPARO CONVENCIONAL E FLORESTA ATLÂNTICA.**

#### **1. INTRODUÇÃO**

O solo é um componente essencial no estoque global de carbono (C), contendo 3,5% das reservas de carbono da terra, comparado a 1,7 % na atmosfera, 8,9 % nos combustíveis fósseis, 1,0 % na biota e 84,9 % nos oceanos (Lal et al., 1995). Por isso, em decorrência do aumento de emissão de gases de efeito estufa (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> e CFC), tem sido grande o interesse em avaliar o comportamento dos solos quanto à sua capacidade de funcionar como fonte ou dreno de C em diversas condições de manejo, com intensidade de preparo e sistemas de sucessão e rotação de culturas distintas.

A substituição de ecossistemas naturais por agroecossistemas com culturas, propicia o declínio no conteúdo de C do solo, em função da redução no aporte e do aumento da decomposição da matéria orgânica. A diminuição do aporte não é apenas em função da produtividade total do agroecossistema ser menor do que a vegetação natural, mas principalmente em virtude de uma menor fração da produção primária, ocorrer abaixo da superfície, e uma maior parte da produção acima da superfície ser removida pela colheita, queima de combustíveis fósseis ou mesmo, alimentação animal. Os resíduos vegetais são normalmente mais facilmente decomponíveis do que a liteira presente na vegetação natural. A ciclagem de nutrientes torna-se menos fechada, resultando em perdas por lixiviação, erosão e colheita. Além disso, a fauna do solo torna-se menos diversa e com menor biomassa (Lavelle et al., 1994).

Em agroecossistemas convencionais, com revolvimento intensivo do solo, o decréscimo da matéria orgânica do solo e conseqüente aumento na emissão de CO<sub>2</sub> são maximizados. A partir disso, o processo de degradação química, física e biológica do solo desenvolve-se, afetando negativamente a produtividade das culturas. Em regiões tropicais, onde altas temperaturas e umidades incrementam a degradação do solo, o desenvolvimento de sistemas de manejo conservacionistas pode reverter esses processos, propiciando equilíbrio com recuperação e até mesmo com acumulação, sendo

ecologicamente vantajoso, do ponto de vista da diminuição do CO<sub>2</sub> da atmosfera, reduzindo-se o efeito estufa e os impactos das atividades agrícolas no ambiente (Desjardins, et al., 1994; Corazza et al., 1999).

O plantio direto caracteriza-se pela semeadura realizada diretamente sobre os restos culturais do cultivo anterior, sem nenhum preparo do solo (aração e gradagem). A permanência dos resíduos vegetais na superfície protege o solo contra a erosão. A cobertura morta formada pelo acúmulo de resíduos vegetais na camada superficial diminui as oscilações de temperatura e umidade na superfície e contribui para a manutenção de temperaturas mais amenas e maior retenção de água no solo em períodos quentes e de estiagem prolongada (Colozzi-Filho et al., 1999). Essas características do plantio direto determinam profundas alterações nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo que por sua vez refletem-se na fertilidade e na eficiência do uso de nutrientes pelas culturas (Muzilli, 1983; Sidiras & Pavan, 1985; Sá, 1993; Sá, 1999).

Nos últimos anos, tem sido ressaltada a contribuição do plantio direto no aumento de estoque de C e na diminuição da emissão de CO<sub>2</sub> para atmosfera. Cambardella & Elliot (1992) constataram a uma profundidade de 20 cm em sistemas de rotação trigo-pousio, após 20 anos sob plantio direto, aumento de 6,7 Mg ha<sup>-1</sup> de C orgânico quando comparado com sistema convencional com arado de disco. Em região temperada, Lal et al. (1999), observaram que a eliminação do sistema de preparo convencional e a subsequente adoção de sistema em plantio direto possibilitaram num período de 25 a 50 anos, recuperar de 50 a 75 % do C orgânico perdido. Em Passo Fundo (RS), após 11 anos de cultivo soja-trigo sob sistemas de plantio direto e convencional, um Latossolo Vermelho-Amarelo mostrou decréscimo de 23 e 48 % no teor de C, nos primeiros 5 cm, respectivamente, comparado a um solo adjacente sob floresta secundária semidecídua. Entretanto, na profundidade 0-40 cm, o teor de matéria orgânica sob ambos os sistemas de preparo foi similar, comparado com o solo sob floresta. Em Londrina (PR), num Latossolo Roxo, o teor de C orgânico na profundidade de 0-5 cm diminuiu 32 % sob plantio direto e 54 % no preparo convencional, em relação a uma floresta secundária semidecídua, após 21 anos de cultivo. Por outro lado, na profundidade 0-40 cm o decréscimo foi de 11 % sob plantio direto e somente 5 % no preparo convencional (Machado & Silva, 2001).

Fortin et al. (1996) observaram redução na emissão de 2,5 Mg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> no plantio direto, comparativamente ao preparo convencional. Kern & Johnson (1993) ao avaliarem os teores de carbono no solo e emissão de CO<sub>2</sub> por queima de combustíveis

fósseis em 3 cenários de adoção de plantio direto nos Estados Unidos, durante 30 anos, observaram que no cenário 1, ou seja, naquele com 27 % de taxa de adoção de plantio direto no ano de 1993, seriam liberadas para atmosfera quase 200 milhões de toneladas de C. Nos cenários 2 e 3, em que as taxas de adoção do plantio direto seriam respectivamente 57 e 76 %, ou seja, uma predominância desse sistema de preparo sobre o convencional, as perdas de C para a atmosfera seriam diminuídas, a ponto de no cenário de maior adoção do plantio direto as quantidades de C perdidas serem aproximadamente a metade da prevista para o cenário 1. Além disso, no cenário em que, no final dos 30 anos, 76 % da área plantada nos EUA estariam sob o sistema de plantio direto, as quantidades de CO<sub>2</sub> seqüestradas no solo seriam incrementadas em cerca de 400 milhões de toneladas.

Apesar da matéria orgânica do solo aumentar sob sistemas de plantio direto e com elevado aporte de resíduos, deve-se considerar que este aumento também depende de outros fatores, tais como, clima, principalmente temperatura e precipitação (Alvarez & Lavado, 1998), textura e mineralogia do solo (Parfitt et al., 1997). O aumento no conteúdo de C pode ser limitado em solos de textura fina e mal drenados e em locais onde baixas temperaturas dificultem a decomposição da matéria orgânica (Angers et al., 1997; Paustian et al., 1997b). Os sistemas de manejo necessitam então ser investigados regionalmente sob diferentes condições de clima e solo, otimizando o conhecimento sobre o potencial do manejo conservacionista e os efeitos na mudança global.

Além disso, para melhor entendimento, a matéria orgânica pode ser dividida em vários compartimentos, com diferenciados tempos de residência. Eswaran et al. (1995) propôs quatro compartimentos baseados na dinâmica do carbono: (1) um compartimento ativo ou lábil, de compostos prontamente oxidados, com sua formação controlada pelo aporte de resíduos vegetais (e por isso manejo) e pelo clima; (2) um compartimento lentamente oxidado protegido dentro dos macroagregados do solo, cujo tamanho e a dinâmica são afetados pelas propriedades físicas do solo, mineralogia e práticas de manejo; (3) um compartimento muito lentamente oxidado, associado aos microagregados, em que o principal fator controlador é a estabilidade dos agregados em água, e as práticas de manejo representam pequeno efeito; (4) um compartimento passivo ou recalcitrante, sob influência direta da mineralogia da argila, não sendo provavelmente afetado pelas práticas de manejo. O compartimento ativo pode ser representado pela biomassa microbiana, que corresponde ao material orgânico contido nas bactérias, actinomicetos, fungos e algas e constitui de 2 a 5 % da matéria orgânica

total do solo, com tempo de residência variando de 0,1 a 0,4 ano. Os compartimentos lento e passivo, podem ser referenciados pelo C da fração leve ou matéria orgânica particulada, intermediária entre a liteira de plantas e o húmus estável, com tempo de residência de 1 até 50 anos, e as substâncias húmicas, respectivamente (Mazzarino et al., 1993; Motavalli et al., 1994; Woomer et al., 1994; Fernandes et al., 1997). Os tamanhos relativos desses compartimentos são controlados pelo aporte de resíduos, fatores climáticos, tipo e quantidade de mineral do solo e outras propriedades químicas e físicas do solo que afetam a atividade dos organismos decompositores (Zech et al., 1997).

Os objetivos deste estudo foram: (a) quantificar o impacto de sistemas de preparo em plantio direto e convencional sobre os estoques totais de C e N e dos compartimentos de C orgânico de um Argissolo Vermelho-Amarelo; (b) estimar a contribuição dos sistemas de preparo na emissão ou seqüestro de CO<sub>2</sub> atmosférico.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Localização e Descrição da área

O estudo foi realizado no ano agrícola de 2000, em experimento conduzido a partir de 1985, localizado na Estação Experimental da Universidade Federal de Viçosa, no município de Coimbra-MG. A região do Planalto de Viçosa, onde está localizada a Estação Experimental, está situada a 20° 45' S e 42° 51' W, com altitude de 700 m. Apresenta ainda temperatura média anual de 19 °C e precipitação média anual de 1400 mm concentrada nos meses de outubro a março, com média anual de umidade relativa do ar de 85 % (Galvão, 1995).

Este experimento faz parte de uma linha de pesquisa dos Departamentos de Fitotecnia e Solos, visando identificar sistemas de produção adaptados à conservação do solo. Anteriormente à instalação do experimento, a área encontrava-se sob condições de vegetação natural, até a década de 30, sendo posteriormente cultivada por cerca de 50 anos com culturas de subsistência, como o milho e o feijão. Em 1985 foi realizada a adequação da área visando a implantação dos sistemas de manejo a serem estudados. A adequação constou da correção da acidez do solo com aplicação de 4 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico e da fertilidade com aplicações anuais diferenciadas ao longo de quinze anos. Entre 1985 e 1987 foram aplicados 350 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 4-14-8 (14, 49 e 28 kg ha<sup>-1</sup> de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O, respectivamente), na forma de sulfato de amônio, superfosfato simples e cloreto de potássio. Entre 1987 e 1990 e entre 1991 e 2000, foram aplicados 375 e 400 kg ha<sup>-1</sup> da mesma fórmula, utilizando as mesmas fontes de N, P e K. Durante o período experimental (1985-2000), a área foi submetida a um preparo de solo por ano e cultivada sempre com a cultura do milho, exceto nos períodos de 1986 a 1987 e de 1989-1990, com a cultura do feijão e 1995 a 1998, com as culturas de soja e trigo. Para todas as culturas realizaram-se cultivos anuais, procedendo o plantio e a colheita entre os meses de outubro a março, enquanto que nos demais meses do ano, as áreas permaneciam sob pousio. Em todos esses anos, os tratamentos, a distribuição das parcelas e o delineamento experimental permaneceram os mesmos desde a implantação.

O solo da área experimental é classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo, textura argilosa. As características químicas e físicas do solo antes do experimento estão descritas no Quadro 1.

**Quadro 1. Características químicas e físicas do solo antes da instalação do experimento (Sampaio, 1987)**

	Camadas	
	0-10 cm	10-20 cm
	<b>Característica química</b>	
pH em água (1:2,5)	5,60	5,30
Al <sup>+3</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>3</sup> ) <sup>2</sup>	0,11	0,13
Ca <sup>+2</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>3</sup> ) <sup>2</sup>	1,50	1,30
Mg <sup>+2</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>3</sup> ) <sup>2</sup>	0,50	0,30
K (mg/dm <sup>3</sup> ) <sup>1</sup>	73,00	25,00
P (mg/dm <sup>3</sup> ) <sup>1</sup>	26,00	14,00
C orgânico (dag kg <sup>-1</sup> ) <sup>3</sup>	1,73	1,40
	<b>Característica física</b>	
Densidade (Mg m <sup>-3</sup> )	1,44	1,41
Areia (dag kg <sup>-1</sup> )	52,00	54,00
Silte (dag kg <sup>-1</sup> )	8,00	7,00
Argila (dag kg <sup>-1</sup> )	40,00	39,00

<sup>1</sup> Mehlich-1; <sup>2</sup> Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup>, Al<sup>+3</sup>: KCl 1 mol L<sup>-1</sup>; <sup>3</sup> C org. Walkley Black

## 2.2. Procedimento experimental e tratamentos

O experimento consta de quatro sistemas de preparo, dispostos em delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições. As unidades experimentais apresentam dimensões de 14 m de comprimento e 8 m de largura separadas entre si por uma rua de 5 m. Os tratamentos estudados foram os seguintes sistemas de manejo:

1. Plantio direto (PD) – solo revolvido apenas ao longo das linhas de plantio, sendo, por ocasião da semeadura, sulcado com plantadora-adubadora de tração motorizada.
2. Arado de disco (AD) – utilizou-se arado de discos fixo, com três discos, de tração motorizada, em uma única aração, com profundidade de 20-25 cm.
3. Grade pesada + Arado de disco (GPAD) – única gradagem, com grade pesada, de 20 discos, sendo 10 rugosos e 10 lisos, para trituração dos restos vegetais e posteriormente uma única aração com arado de discos fixo, com três discos, de tração motorizada, com profundidade de 20-25 cm, para incorporação dos resíduos vegetais.
4. Grade Pesada (GP) – uma gradagem, com grade pesada de 20 discos, sendo 10 rugosos e 10 lisos, de tração motorizada, com profundidade de 10-15 cm.

À exceção do tratamento plantio direto, todos os demais receberam uma gradagem leve, com grade de 28 discos, para destorroamento e nivelamento do terreno.

Uma área sob Floresta Atlântica (FA), adjacente ao experimento (distante aproximadamente 100 metros), com mesmo tipo de solo, também foi estudada, sendo utilizada como referência. Nesta área foi definido, no terço médio, um transecto de

aproximadamente 100 metros, no qual delimitaram-se 4 pequenas áreas, para obtenção das amostras.

### **2.3. Análises químicas e físicas do solo**

A amostragem do solo foi feita em abril de 2000. Nesta época, a colheita de grãos tinha sido recentemente realizada e os restos culturais estavam mantidos sobre o solo. Em cada unidade experimental coletaram-se 8 amostras de solo simples com um trado manual, para formar uma amostra composta por repetição, das camadas 0-10 e 10-20 cm. Para a área de Floresta Atlântica foram coletadas 15 amostras simples por área delimitada. As amostras foram destorroadas e passadas em peneira de malha de 2 mm. Uma sub-amostra de 100 g foi separada e acondicionada sob sistema de refrigeração, com temperatura situada entre 4 e 8 °C, visando à determinação da biomassa microbiana. Para as demais análises, as amostras de solo foram secas ao ar (TFSA).

#### **2.3.1. Análises químicas**

Foram determinados pH em água (1:2,5) por potenciometria, e acidez trocável ( $Al^{+3}$ ) extraída com KCl 1 mol L<sup>-1</sup> e quantificada por titulometria com hidróxido de sódio 0,025 mol L<sup>-1</sup>, padronizado com biftalato de potássio (Embrapa, 1997). O fósforo e o potássio foram extraídos com Mehlich 1 (Embrapa, 1997) e determinados por colorimetria (Braga & Defelipo, 1974) e fotometria de chama, respectivamente. Cálcio e magnésio foram extraídos com KCl 1 mol L<sup>-1</sup> e determinados por espectrofotometria de absorção atômica (Embrapa, 1997).

Para determinação dos teores de carbono orgânico total (COT), as amostras de solo foram trituradas em almofariz e passadas em peneira de malha 0,21 mm, quantificada por oxidação da matéria orgânica via úmida, empregando solução de dicromato de potássio em meio ácido, com fonte externa de calor (Yeomans & Bremner, 1988).

O fracionamento químico das substâncias húmicas foi realizado segundo a técnica da solubilidade diferencial, separando-se os ácidos fúlvicos (FAF), os ácidos húmicos (FAH) e as huminas (HUM), de acordo com os conceitos de frações húmicas estabelecidos pela Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas (Swift, 1996). O extrator utilizado foi NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup>. A determinação do carbono dessas frações foi feita mediante oxidação por dicromato de potássio com aquecimento externo (Yeomans & Bremner, 1988).

O carbono orgânico lábil ( $C_L$ ) foi quantificado por meio de oxidação com  $KMnO_4$  ( $33 \text{ mmol L}^{-1}$ ), como proposto por Blair et al. (1995) e modificado por Shang & Tiessen (1997), enquanto que, o carbono não lábil ( $C_{NL}$ ), equivalente ao C não oxidado por  $KMnO_4$  ( $33 \text{ mmol L}^{-1}$ ), foi determinado por diferença ( $C_{NL}=COT - C_L$ ). Com base nas mudanças no COT, entre um sistema referência e um sistema cultivado foi criado um Índice de Compartimento de Carbono (ICC), calculado como:  $ICC=COT_{\text{cultivado}}/COT_{\text{referência}}$ . Fundamentando-se nas mudanças na proporção de  $C_L$  (i.e.  $L=C_L/C_{NL}$ ) no solo, um Índice de Labilidade (IL) foi determinado como:  $IL=L_{\text{cultivado}}/L_{\text{referência}}$ . Estes dois índices foram usados para calcular o Índice de Manejo de Carbono (IMC) obtido pela seguinte expressão:  $IMC=ICC \times IL \times 100$  (Blair et al., 1995).

O nitrogênio total (NT) foi quantificado nas amostras de solo submetido à digestão sulfúrica e dosado por destilação Kjeldahl (Bremner & Mulvaney, 1982). A biomassa microbiana ( $C_{MIC}$ ) foi determinada pelo método da irradiação-extração, utilizando forno de microondas (Cônsul, frequência de 2450 MHz, energia a 900W por 180 segundos). Neste método, a eliminação dos microrganismos é resultado da quantidade de irradiação eletromagnética aplicada, pois os níveis de irradiação têm efeito na transferência de energia e na temperatura, rompendo a parede celular e, conseqüentemente liberando o material citoplasmático para a solução do solo (Islam & Weil, 1998; Ferreira et al., 1999). O extrator utilizado foi  $K_2SO_4$   $0,5 \text{ mol L}^{-1}$  e o carbono contido nos extratos foi quantificado por meio de procedimento por oxidação úmida (Yeomans & Bremner, 1988). O fator de conversão ( $K_C$ ) usado para converter o fluxo de C para C da biomassa microbiana ( $C_{MIC}$ ) foi 0,33 (Sparling & West, 1988). A proporção  $C_{MIC}/COT$  ou quociente microbiano, foi calculado para refletir os aportes de C e a conversão de substratos orgânicos para o C da biomassa microbiana (Sparling, 1992).

A fração leve foi determinada pelo procedimento de obtenção da fração leve-livre de Sohi et al. (2001). Em frascos de centrífuga de 50 mL, foram adicionados 5 g de TFSA e 35 mL de Iodeto de Sódio (NaI, densidade igual a  $1,8 \text{ g cm}^{-3}$ ). O frasco contendo a mistura foi agitado manualmente por 30 segundos, para permitir que as frações orgânicas não associadas aos componentes minerais atingissem a superfície da suspensão. Em seguida, solo mais a solução de NaI foram centrifugados a 3200 rpm por 15 minutos, a fim de sedimentar as partículas minerais do solo no fundo do frasco, sendo posteriormente feita a aspiração da fração leve presente na superfície da solução

de NaI. A fração leve aspirada juntamente com solução de NaI foi imediatamente separada por filtração a vácuo com filtros de fibra de vidro (47 mm de diâmetro; 2 microns-Whatman tipo GF/A), onde a solução de NaI coletada na filtragem foi retornada para o frasco de centrífuga contendo a amostra de solo remanescente. As amostras de fração leve retidas nos filtros foram cuidadosamente lavadas com água destilada visando eliminar o excesso de NaI. A fração leve juntamente com os filtros, foi seca a 105°C, pesada e moída. O carbono da fração leve ( $C_{FL}$ ), foi determinado por combustão via seca em analisador Perkin Elmer CHNS/O 2400.

Os estoques totais de C e N e dos compartimentos de C (em  $Mg\ ha^{-1}$ ) para cada profundidade, foram determinados pela expressão: teor de C ou N ( $dag\ kg^{-1}$ ) x  $d_s$  x  $e$ , onde,  $d_s$  = densidade do solo ( $Mg\ m^{-3}$ ) e;  $e$  = espessura da camada de solo (m).

### **2.3.2. Análises físicas**

A densidade do solo para cada profundidade amostrada foi obtida por meio do método do anel volumétrico, e a análise granulométrica foi executada segundo o método da pipeta (Embrapa, 1997).

### **2.4. Estimativa de emissão ou seqüestro de C-CO<sub>2</sub>**

Os estoques do COT no início do experimento e no ano 2000 foram usados para calcular a contribuição dos sistemas de manejo na emissão ou seqüestro de C-CO<sub>2</sub> pelo solo, nas camadas, 0-10, 10-20 e 0-20 cm. O aporte médio de C por meio dos resíduos vegetais foi somado ao estoque inicial. No entanto, apenas 30 % deste aporte foram considerados, pois, 70 % do material orgânico adicionado ao solo são perdidos na forma de CO<sub>2</sub> (Kiehl, 1985). Além disto, foi considerado o fator de conversão de C para CO<sub>2</sub> de 3,67 (massa molar do CO<sub>2</sub>/massa molar do C) (Amado et al., 2001). O tempo de residência médio (TRM) foi calculado como o inverso da constante de decomposição ( $1/k$ ), assumindo que o C declina a partir do C da Floresta Atlântica ( $C_{FA}$ ) seguindo a equação  $C = C_{FA} e^{-kt}$ , em que  $t$  é o tempo em anos.

## 2.5. Análise Fitotécnica

A estimativa dos aportes médios anuais de C e N pelas culturas foi realizada com base nos resultados de produtividade apresentados por Sampaio (1987), Siqueira (1989), Siqueira (1995) e Mernes (1998). Esta estimativa considerou a contribuição apenas da parte aérea e foi calculada por meio da equação:

$$\text{Aporte de C (N)} = \frac{P(100-U)}{IC} \times \frac{C}{100} \text{ (N)}$$

Em que:

P = Produtividade da cultura (Mg ha<sup>-1</sup>)

U = Umidade no grão (%)

IC = Índice de colheita (%)

C (N) = Percentual de carbono (50 %) ou nitrogênio (2 %) no material vegetal

## 2.6. Análises Estatísticas

O efeito dos sistemas de manejo, sobre as características químicas e físicas do solo, por profundidade, foi avaliado pela análise de variância, sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade, com auxílio do sistema computacional SAEG (FUNARBE, 1993).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Caracterização química e física do solo sob diferentes sistemas de manejo.

Os efeitos dos sistemas de preparo sobre as características químicas foram variáveis, não se observando diferenças significativas para pH, alumínio trocável, e potássio (Quadro 2). Em relação ao pH, os solos sob sistemas de preparo apresentaram valores similares tanto para camada de 0-10 cm, quanto para camada de 10-20 cm. Parte da explicação provavelmente está relacionada à aplicação anual, por mais de dez anos, de fertilizantes nitrogenados amoniacais que não somente contribuiu para a manutenção da acidez na classe elevada (Alvarez V. et al., 1999), como também propiciou a proximidade dos valores do solo sob PD com os dos demais sistemas. Além disso, a liberação de grupos carboxílicos e fenólicos derivados da mineralização dos resíduos orgânicos depositados na superfície e a exsudação de ácidos orgânicos pelas raízes das culturas, podem também ter contribuído para aumento da acidez no solo sob sistema PD, como observado em Klepker & Anghinoni (1995), Paiva et al. (1996) e De Maria et al. (1999).

Os teores de alumínio trocável seguiram a mesma tendência do pH, embora os solos sob PD e GP, tenham apresentado os menores valores para camada de 0-10 cm (0,56 e 0,49  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ , respectivamente). As maiores quantidades de matéria orgânica existente na superfície destes dois sistemas podem ter mantido o Al complexado, diminuindo sua atividade. Associado à redução do pH, o aumento nos teores de Al na camada de 10-20 cm ocorreu em todos os sistemas, de forma similar ao verificado em Sampaio (1987), Siqueira (1989), Siqueira (1995) e Mernes (1998).

O teor de cálcio trocável foi significativamente maior ( $P < 0,05$ ) no solo sob PD (0,54  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ ) em relação ao AD (0,39  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ ) e GPAD (0,30  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ ), apenas na camada de 0-10 cm (Quadro 2). Esta tendência também foi observada para o magnésio trocável. Teores superiores destes cátions na camada superficial sem revolvimento, podem ser atribuídos à adição de calcário na superfície, e também à ciclagem de nutrientes, com a decomposição de resíduos aumentando a CTC da camada mais superficial do solo (Eltz et al., 1989; Bayer & Mielniczuk, 1997; Hussain et al., 1999). Estes resultados contrariam a argumentação de que a não incorporação do corretivo ao solo diminui sua superfície de contato com os colóides reduzindo a eficiência de aplicação e como resultado, a disponibilidade de Ca e Mg (Sá, 1999).

Quanto ao solo sob FA, os teores apresentados na camada de 0-10 cm foram cerca de 2 a 3 vezes maiores do que os apresentados pelos solos cultivados, enquanto que para a camada de 10-20 cm esta diferença foi de magnitude menor (1,3 a 1,7 vezes). No entanto, os teores de  $\text{Ca}^{+2}$  e  $\text{Mg}^{+2}$  tanto sob solos cultivados como sob floresta refletiram a baixa fertilidade destes solos.

**Quadro 2. Características químicas de um Argissolo Vermelho-Amarelo, nas camadas 0-10 e 10-20 cm, sob diferentes sistemas de manejo**

Sistema	Característica química					
	pH em água (1:2,5)	$\text{Al}^{+3}$	$\text{Ca}^{+2}$	$\text{Mg}^{+2}$	K	P
			cmol, dm <sup>-3</sup>			mg dm <sup>-3</sup>
<b>0-10 cm</b>						
PD	5,10a	0,56a	0,54a	0,087a	98,0a	49,3a
AD	5,15a	0,59a	0,39b	0,055b	73,3a	21,4b
GPAD	5,07a	0,71a	0,30b	0,044b	75,0a	21,4b
GP	5,18a	0,49a	0,41ab	0,062b	88,0a	23,2b
FA	5,64	0,14	0,97	0,360	134,0	3,85
<b>10-20 cm</b>						
PD	4,85a	0,79a	0,33a	0,034b	62,0a	26,2a
AD	4,94a	0,65a	0,39a	0,047a	83,7a	18,1ab
GPAD	5,02a	0,67a	0,31a	0,040ab	74,3a	18,9ab
GP	4,83a	0,66a	0,37a	0,029b	46,3a	9,4b
FA	5,33	0,35	0,53	0,29	81,5	2,5

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

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

Os teores de  $\text{K}^+$  foram maiores no solo sob PD (98 mg dm<sup>-3</sup>) do que nos sistemas convencionais na camada de 0-10 cm, enquanto que o solo sob sistema AD apresentou teores mais elevados (84 mg dm<sup>-3</sup>) na camada de 10-20 cm, embora estas diferenças não tenham sido significativas (Quadro 2). Teores maiores de  $\text{K}^+$  foram observados na camada superficial comparativamente a camada mais profunda nos sistemas PD e GP, enquanto que nos sistemas AD e GPAD, os valores foram similares nas duas camadas. Alguns estudos têm demonstrado que o maior acúmulo de  $\text{K}^+$  na superfície está relacionado aos sistemas de preparo reduzido (Sá, 1999), dependendo do tipo de solo (textura, mineralogia da argila), do regime de umidade e da quantidade adicionada na adubação (Centurion et al., 1985; De Maria & Castro, 1993; Klepker & Anghinoni, 1995).

O P extraível na camada de 0-10 cm, foi maior no PD ( $P < 0,05$ ) comparado aos demais sistemas (Quadro 2). Na camada de 10-20 cm, em que as concentrações foram menores do que na camada superficial, a tendência foi similar, embora tenha havido diferenças significativas apenas em relação ao solo sob GP. Maiores concentrações de P

na camada de 0-10 cm foram observadas em diversos estudos (Centurion et al., 1985; De Maria & Castro, 1993, Siqueira, 1995) e podem ser atribuídas aos teores mais elevados de carbono orgânico do solo no PD em relação a AD, GPAD e GP, capazes de complexar Al e Fe no solo, e à ausência da incorporação do fertilizante fosfatado, reduzindo a fixação do P (Schomberg et al., 1994; Hussain et al., 1999). Além disso, a provável diminuição na perda de solo por erosão e o aumento no P orgânico, devido à presença dos resíduos na superfície do solo podem também ter contribuído para maiores quantidades deste elemento na camada superficial. Estes resultados evidenciam a possibilidade de em médio e longo prazo se reduzir os gastos com fertilizantes fosfatados, uma vez que, superado o nível crítico de P no solo, este poderá ser mantido com menores quantidades de fertilizante aplicado, em relação ao plantio convencional. Os teores de P no solo sob FA foram classificados como muito baixo (Alvarez V. et al., 1999) e menores do que no solo sob sistemas de preparo, tanto na camada de 0-10 cm ( $3,9 \text{ mg dm}^{-3}$ ) quanto na camada de 10-20 cm ( $2,5 \text{ mg dm}^{-3}$ ).

Os conteúdos de areia, silte e argila não foram influenciados pelos sistemas de preparo, nas camadas de 0-10 cm e 10-20 cm (Quadro 3), o que contraria os resultados de alguns estudos em Argissolo Vermelho-Amarelo (Hussain et al., 1999) que observaram maiores conteúdos de argila em sistemas convencionais, devido à transferência do material do subsolo proveniente do horizonte Bt, pelos equipamentos de preparo, para o horizonte A. Por outro lado, deve-se considerar que a influência dos sistemas de preparo sobre as características físicas é detectada após períodos variáveis (Sidiras et al., 1984; Klepker & Anghinoni, 1995; Guimarães, 1999), sendo a magnitude desta influência determinada principalmente pelo manejo do solo, com ênfase nas condições de umidade em que as operações de preparo são efetuadas.

A densidade do solo foi maior ( $P < 0,05$ ) para o solo sob sistema PD comparado aos sistemas convencionais, principalmente na camada de 0-10 cm ( $1,31 \text{ Mg m}^{-3}$ ), o que está relacionado à ausência de revolvimento do solo, ocasionando maior compactação (Quadro 3). Entretanto, a densidade do solo de forma isolada, não é indicador adequado de um melhor estado físico, e o sistema PD com maior densidade do solo tem mostrado maior conexão entre os macroporos, comparativamente aos sistemas convencionais com intenso cultivo (Schaefer et al., 2001).

**Quadro 3. Características físicas de um Argissolo Vermelho-Amarelo, nas camadas 0-10 e 10-20 cm, sob diferentes sistemas de manejo**

Sistema	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	Densidade do solo
	dag kg <sup>-1</sup>				Mg m <sup>-3</sup>
	<b>0-10 cm</b>				
PD	37,0	12,0	10,5	40,5	1,31a
AD	38,5	10,5	13,0	38,0	1,21b
GPAD	38,5	10,5	12,0	39,0	1,20b
GP	44,0	10,5	11,0	34,5	1,20b
FA	29,0	11,0	15,0	45,0	1,00
	<b>10- 20 cm</b>				
PD	36,5	11,0	11,0	41,5	1,34a
AD	37,5	12,5	13,0	37,0	1,24ab
GPAD	38,0	11,0	11,5	39,5	1,23b
GP	39,0	10,5	11,5	39,0	1,28ab
FA	24,7	11,2	16,7	47,2	1,26

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

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

### 3.2. Aporte de carbono e nitrogênio ao solo pelas culturas

As diferenças observadas em algumas características químicas e físicas do solo entre os sistemas de manejo, não resultaram em diferenças expressivas na produtividade média de grãos (dados não mostrados) e nas adições anuais de C e N por meio da parte aérea das culturas. Os aportes de C variaram de acordo com a cultura e foram maiores no sistema GPAD (5,90, 0,56 e 5,30 Mg ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>) e menores no sistema GP (4,87, 0,31 e 5,0 Mg ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>) para as culturas do milho, feijão e trigo, respectivamente (Quadro 4). Os aportes de N apresentaram tendência similar ao C.

Uma possível explicação para a similaridade na produtividade de grãos e nos aportes de C e N entre os sistemas, pode ser o uso da irrigação. As diferenças nestas características entre os sistemas de preparo são mais evidentes em períodos de veranicos, o que favorece os sistemas que permitam maior armazenamento e disponibilidade de água para as plantas. Como a água não foi fator limitante, as culturas puderam expressar grande parte do potencial produtivo, independente do sistema de preparo. Aportes de C e N equivalentes em sistemas de PD e convencionais foram também observados em outros estudos (Siqueira, 1995; Angers et al., 1997; Mernes, 1998; Needelman et al., 1999).

As mudanças nos sistemas de manejo afetam os teores de COT do solo pela alteração do aporte anual de resíduos vegetais e animais e pela modificação na taxa na qual a matéria orgânica se decompõe. Por isso, se a produtividade das culturas e o aporte de C e N não diferiram entre os sistemas de preparo, o menor acúmulo de C e N

totais do solo sob os sistemas convencionais (AD, GPAD e GP) (Quadro 5) deverá ser atribuído à maior taxa de decomposição ocorrida nestes sistemas de preparo, em comparação com o solo sob PD.

**Quadro 4. Aporte médio anual de carbono (C) e nitrogênio (N) pela parte aérea das culturas utilizadas nos diferentes sistemas de manejo (Média de 15 anos)**

Cultura	PD		AD		GPAD		GP	
	C	N	C	N	C	N	C	N
	Mg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>							
Milho	5,30	0,21	5,6	0,22	5,90	0,24	4,87	0,19
Feijão	0,50	0,02	0,51	0,02	0,56	0,02	0,31	0,01
Trigo	5,20	0,21	5,17	0,21	5,30	0,21	5,00	0,20
Média	3,67	0,15	3,76	0,15	3,92	0,16	3,40	0,13

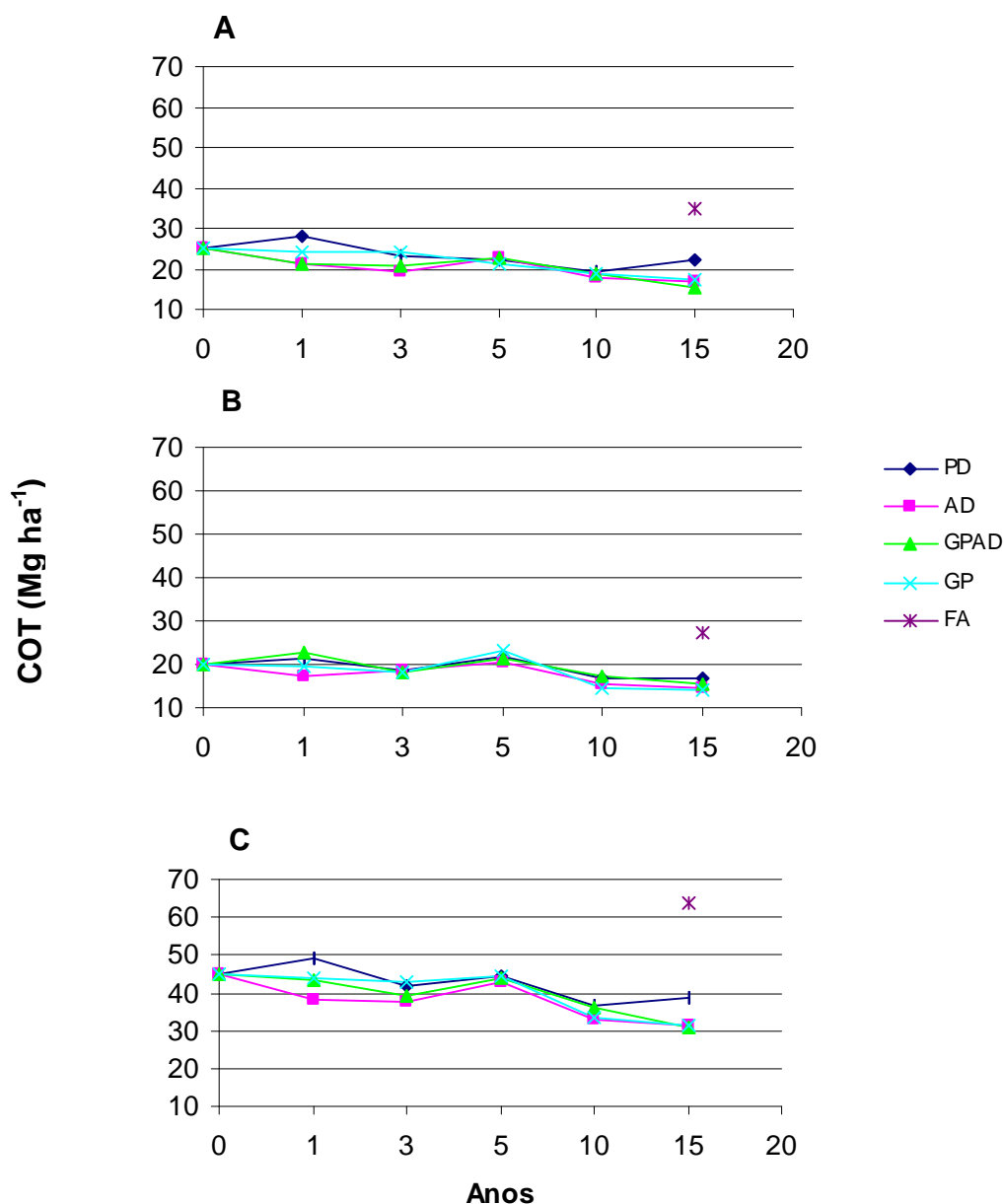
PD: plantio direto, AD: arado de disco, GPAD: grade pesada + arado de disco, GP: grade pesada

### 3.3. Análise temporal dos estoques de carbono orgânico total do solo

Os estoques de COT na Floresta Atlântica foram considerados em estado de equilíbrio ao longo do tempo e determinados pelos fatores de formação do solo, como clima, vegetação, relevo e material de origem, além da textura do solo, devido à influência destes sobre as taxas de adição e de perda de material orgânico do solo. Com os cultivos que antecederam a implantação do experimento (1930 a 1984) os estoques de COT foram reduzidos para cerca de 25, 20 e 45 Mg ha<sup>-1</sup> para as camadas 0-10, 10-20 e 0-20 cm respectivamente, o que significou diminuição de aproximadamente 30 %. Este decréscimo se deveu possivelmente à diminuição das adições de material orgânico ao solo pelas culturas no decorrer dos anos e pelo incremento nas taxas de perda de COT, devido aos processos de oxidação e erosão (em menor escala) da matéria orgânica. Em solos tropicais, as perdas de COT observadas após a retirada da vegetação natural são maiores do que em solos temperados, havendo situações em que os estoques de COT são reduzidos em mais de 50 % em menos de 10 anos de cultivo (Shang & Tiessen, 1997).

No início do experimento, o sistema PD apresentou os maiores estoques de COT na camada de 0-10 cm, embora a diferença em relação aos demais sistemas tenha sido de pequena magnitude (Figura 1). Concomitantemente, a perturbação do solo causada pelos sistemas convencionais mais intensos (AD e GPAD), resultou na diminuição dos estoques de COT. Este declínio até três anos após o preparo foi provavelmente decorrente da diminuição ou eliminação de fatores que determinaram a estabilidade

física da matéria orgânica, principalmente ruptura de agregados e incremento da oxigenação do solo (Reicosky & Lindstrom, 1993). No quinto ano, ocorreu recuperação dos estoques de COT nos sistemas que promovem maior distúrbio ao solo (AD e GPAD) e declínio naqueles com pouco (GP) ou nenhum revolvimento (PD), embora todos os sistemas tenham apresentado estoques de COT em torno de 22 Mg ha<sup>-1</sup>. Estoques similares apresentados pelos sistemas PD e convencionais na primeira década do experimento podem estar relacionados, pelo menos em parte, ao fato da erosão não ter sido significativa na área experimental (Mernes, 1998). Do décimo ao décimo quinto ano, os estoques de COT foram reduzidos em todos os sistemas convencionais, enquanto que o PD apresentou tendência de recuperação, o que pode significar em longo prazo a obtenção do estado de equilíbrio por parte deste sistema, similarmente ao observado nos estudos de Lyon et al., (1996). Para a camada de 10-20 cm, o sistema GPAD apresentou no início do experimento o maior estoque de COT (22 Mg ha<sup>-1</sup>), seguido pelos sistemas PD, GP e AD. No quinto ano, os estoques dos sistemas com menor revolvimento (GP) e sem revolvimento (PD) foram superiores aos demais. Do quinto ao décimo ano, os estoques de COT foram reduzidos em 5,0, 5,1, 3,9 e 8,7 Mg ha<sup>-1</sup> para PD, AD, GPAD e GP, respectivamente, tendência que permaneceu até o décimo quinto ano. Embora o solo sob PD tenha mostrado resiliência relativamente maior, todos os sistemas acarretaram perdas de COT com o tempo.



**Figura 1.** Análise temporal dos estoques de carbono orgânico total (COT) nas camadas 0-10 cm (A), 10-20 cm (B) e 0-20 cm (C) de um Argissolo Vermelho-Amarelo sob diferentes sistemas de manejo. PD:plântio direto, AD: arado de disco, GPAD: grade pesada + arado de disco, GP: grade pesada e FA: Floresta Atlântica. Fonte: Os teores de COT antes da instalação do experimento e no primeiro ano foram obtidos em Sampaio (1987) enquanto que no terceiro, quinto e décimo anos em Siqueira (1989), Siqueira (1995) e Mernes (1998), respectivamente.

### 3.4. Teores e estoques totais de carbono e nitrogênio após 15 anos.

Após 15 anos de cultivo, os teores de COT foram maiores ( $P < 0,05$ ) no solo sob PD do que nos solos sob sistemas AD, GPAD e GP nas camadas de 0-10 cm ( $1,67 \text{ dag kg}^{-1}$ ) e de 0-20 cm ( $1,46 \text{ dag kg}^{-1}$ ). Na camada de 10-20 cm não foram observadas diferenças entre os sistemas de manejo (Quadro 5). Os teores de nitrogênio total (NT) nas camadas de 0-10 e 0-20 cm, também foram maiores ( $P < 0,05$ ) no solo sob PD ( $0,134$  e  $0,118 \text{ dag kg}^{-1}$ , respectivamente). As diferenças observadas nos teores de COT e NT nos sistemas de preparo estão de acordo com a maioria dos estudos que preconizam a existência de maiores concentrações desses elementos sob PD do que em sistemas convencionais e que este acúmulo é restrito às camadas superficiais (Bayer & Mielniczuck, 1997; Alvarez et al., 1998; Yang & Wander, 1999; Yang & Kay, 2001).

Nos sistemas não perturbados pelo preparo do solo, como o PD, os resíduos culturais são depositados na superfície do solo e, após a decomposição, promovem o aumento do teor de COT na camada superficial, o que pode ser complementado pela decomposição das raízes, mais abundantes na superfície. Por outro lado, nos sistemas AD, GPAD e GP, os resíduos são incorporados ao solo, distribuindo-se até a profundidade de atuação do implemento (10 a 25 cm), podendo também ocorrer processo de diluição. Concomitantemente, a aeração e temperatura maiores nestes sistemas convencionais, e a destruição de agregados pela ação do implemento, expondo a matéria orgânica protegida fisicamente ao ataque microbiano, promovem a perda de COT e diminuem a capacidade do solo em reservar carbono (Cambardella & Elliot, 1993; Alvarez et al., 1998). Por isso, nos sistemas conservacionistas, há maior diferencial no teor de C em profundidade, principalmente nas camadas mais superficiais, enquanto que em sistemas convencionais os teores de C são mais uniformes até a profundidade de atuação do implemento.

A exposição do solo pode afetar as perdas por erosão. O efeito desta exposição se agrava quando é associada a relevos declivosos e a intensas precipitações pluviométricas, característica de clima tropical e subtropical. Entretanto, considera-se que neste experimento os menores teores de COT nas camadas superficiais dos preparos convencionais foram devido às maiores taxas de oxidação da matéria orgânica, pois o processo de erosão ocorreu em intensidade baixa no solo da área experimental durante os 15 anos, devido à baixa declividade (5 %). Além disto, todas as operações de preparo

foram executadas em nível e a largura das parcelas (8 m) pode ter limitado o aumento da velocidade de enxurrada.

Os estoques de COT nos sistemas sob PD, AD, GPAD e GP, foram reduzidos em relação ao solo sob Floresta Atlântica (FA) em 37, 53, 56 e 51 % para camada de 0-10 cm e 38, 47, 43 e 49 % para camada de 10-20 cm, respectivamente, o que deve ser atribuído às práticas agrícolas intensas e as resultantes perdas por erosão (em menor escala) e por oxidação do COT ocorridas por aproximadamente 70 anos (Quadro 5). Estes resultados são corroborados com outros estudos que enfatizam a diminuição dos estoques de COT após a conversão da vegetação nativa para agricultura (Duxbury et al. 1989; Houghton, 1995; Corazza et al., 1999; Machado & Silva, 2001). Para o NT a tendência foi similar, com o solo sob PD apresentando redução no estoque em relação ao solo sob FA de 33 % e os sistemas AD, GPAD e GP de 50, 52,5 e 47 %, respectivamente. Para a camada de 10-20 cm, a perda do PD em relação à FA foi similar (37 %), enquanto que para os demais sistemas foi de menor intensidade (45, 43 e 42 % para AD, GPAD e GP, respectivamente).

Estimando os estoques para a camada de 0-20 cm, observou-se que o solo sob PD apresentou 7,31, 7,57 e 7,3 Mg ha<sup>-1</sup> mais COT do que o solo sob AD, GPAD e GP, respectivamente, o que significa aumento de aproximadamente 20 %. Resultados concordantes foram também observados em outros trabalhos, com aumentos de COT no PD em relação aos preparos convencionais variando de 12 a 25 % para a camada de 0-10 cm, mas apenas 5 % para a camada de 0-20 cm (Beare et al., 1994; Angers et al., 1997). Os estoques de NT no PD também foram cerca de 20 % maiores do que os sistemas convencionais, de forma similar ao observado por Bayer & Mielniczuck, (1997) (Quadro 5).

A relação C/N do solo sob PD, AD, GPAD e GP foi de aproximadamente 12, com exceção do sistema GP na camada de 10-20 cm (Quadro 5). O solo sob FA apresentou valores maiores tanto na camada superficial (13,5), quanto na camada mais profunda (12,4). Solos cultivados devem propiciar relações C/N mais estreitas do que solos florestais, cujas variações dependem da vegetação e do manejo do solo (Duxbury et al., 1989).

As menores perdas de COT observadas no sistema PD em relação aos sistemas convencionais podem ser corroboradas pelo maior tempo de residência médio (TRM). Em média, os sistemas convencionais apresentaram TRM de 20 anos, ou seja, 12 anos a menos do que o obtido pelo sistema conservacionista (Quadro 6). Este tempo de

renovação do carbono menor pode indicar degradação mais rápida do sistema (Tiessen et al., 1994).

**Quadro 5. Teores totais de carbono orgânico (COT) e nitrogênio (NT) e relação C/N de um Argissolo Vermelho-Amarelo, nas camadas 0-10, 10-20 e 0-20 cm, 15 anos após início da utilização dos diferentes sistemas de manejo**

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

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

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

### 3.5. Estimativa de emissão de C-CO<sub>2</sub> atmosférico pelos sistemas de manejo.

Os sistemas PD, AD, GPAD e GP não mostraram potencial para seqüestro de C-CO<sub>2</sub> após 15 anos de cultivo, o que resultou em emissão líquida de 71 (PD) a 99 (GPAD) Mg C-CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup>. A taxa anual de emissão variou de 4,7 a 6,6 Mg C-CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> de ano<sup>-1</sup>, na camada de 0-10 cm. Na camada de 10-20 cm, as emissões de C-CO<sub>2</sub> oscilaram de 73 (PD) a 83 Mg ha<sup>-1</sup> (GP), o que significou taxas de 4,9 a 5,5 Mg C-CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Quadro 6). Portanto, todos os sistemas estão funcionando como fonte de C-CO<sub>2</sub> para atmosfera. Parte da explicação destes resultados pode estar relacionada ao extenso período sob preparo convencional desde a conversão da floresta para agricultura e ao tempo de experimento com os sistemas de preparo, provavelmente insuficiente para o PD funcionar como dreno de C-CO<sub>2</sub>.

O período necessário para o sistema PD atuar no seqüestro de C-CO<sub>2</sub> em solos é variável, dependendo de muitos fatores. Na maior parte dos estudos, o seqüestro de C-

CO<sub>2</sub> devido às mudanças nos sistemas de manejo tem se iniciado em torno de 25 a 50 anos (Lal et al., 1998; Follet & McConkey, 2000; Follet, 2001). Se for considerado o período experimental deste estudo (15 anos) pode-se estimar que seriam ainda necessários pelo menos 10 anos para que o PD passasse a atuar como dreno de C-CO<sub>2</sub>. A utilização de sistema de preparo conservacionista não foi suficiente para propiciar seqüestro de C-CO<sub>2</sub>. Por isso, é necessária a adoção de outras práticas de manejo que associadas ao PD aumentem os estoques de COT, como por exemplo, a introdução de sistemas de culturas de cobertura com elevado aporte de resíduos. O incremento de fitomassa das culturas comerciais, somado a fitomassa de plantas de cobertura, representaria grande contribuição na adição de resíduos vegetais ao solo e, portanto, eficiente alternativa para seqüestrar C no solo (Reicosky & Forcella, 1998). Alguns trabalhos reforçam esta assertiva, e enfatizam que o impacto de sistemas de preparo conservacionistas será significativo apenas se forem associados a sistemas de rotação de cultura intensivo que permitam maiores aportes de C (Peterson et al., 1998; Janzen et al., 1998; Batjes, 1999), causando sinergismo que aumentaria a retenção do C do solo. Além disso, a utilização de resíduos orgânicos com baixa relação C:N, combinada a maior diversidade temporal na seqüência dos cultivos também devem ser aspectos considerados (Drinkwater et al., 1998).

**Quadro 6. Tempo de residência médio do C (TRM) e estimativa de emissão de C – CO<sub>2</sub>, nas camadas 0-10, 10-20 e 0-20 cm, sob diferentes sistemas de manejos, após 15 anos de cultivo**

<b>Sistema</b>	<b>TRM</b>	<b>Emissão C – CO<sub>2</sub></b>	<b>Taxa C – CO<sub>2</sub></b>
	Anos	Mg ha <sup>-1</sup>	Mg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>
<b>0-10 cm</b>			
PD	32	71,28	4,75
AD	20	92,22	6,14
GPAD	18	99,34	6,62
GP	21	84,59	5,63
<b>10-20 cm</b>			
PD	31	72,90	4,86
AD	24	82,61	5,50
GPAD	27	81,18	5,41
GP	22	78,72	5,24
<b>0-20 cm</b>			
PD	30	84,02	5,60
AD	21	112,33	7,48
GPAD	21	115,93	7,72
GP	21	106,35	7,09

PD: plantio direto, AD: arado de disco, GPAD: grade pesada + arado de disco, GP: grade pesada.

### 3.6. Compartimentos de carbono orgânico total no solo em diferentes sistemas de manejo.

Os teores de carbono da biomassa microbiana ( $C_{MIC}$ ) variaram de 0,0381(PD) a 0,0246 dag kg<sup>-1</sup> (GP) na camada de 0-10 cm e de 0,0256 (GPAD) a 0,0215 dag kg<sup>-1</sup> (AD) na camada de 10-20 cm (Quadro 7), estando na mesma faixa dos observados em outros estudos, sob condições climáticas diversas (Follet & Schimel, 1989; Andrade et al., 1995; Balota et al., 1998). O solo sob sistema PD apresentou teores maiores ( $P < 0,05$ ) do que o solo sob sistema GP, na camada superficial. No PD não ocorre a inversão de camadas de solo, o que proporciona menores flutuações de temperatura e umidade e associado às deposições de resíduos vegetais, cria condições favoráveis ao desenvolvimento e atividade microbiana. Diversos autores têm relatado aumentos no  $C_{MIC}$  em solos submetidos ao PD, embora na maioria das vezes as diferenças em relação aos sistemas convencionais sejam pequenas e restritas às camadas superficiais (Wardle, 1995; Alvarez et al., 1995; Balota et al., 1998). O maior valor de  $C_{MIC}$  no sistema PD na camada de 0-10 cm implicará em maior imobilização temporária de C e conseqüentemente, menor perda do sistema solo-planta. Por outro lado, a atividade microbiana maior representa mais C respirado e, por conseguinte, perda de C do sistema solo-planta para a atmosfera. Portanto, é fundamental conhecer os efeitos que o manejo do solo e também das culturas exercem sobre a população microbiana e sua atividade.

Os estoques de  $C_{MIC}$  no solo sob FA foram maiores do que nos solos sob cultivo, em todas as camadas. Na camada de 0-10 cm,  $C_{MIC}$  foi reduzido em 44, 60, 62 e 68 % e na camada de 10-20 cm, a diminuição foi de 51, 60, 52 e 56 % para PD, AD, GPAD e GP, respectivamente (Quadro 7). O sistema PD apresentou maiores estoques de  $C_{MIC}$  na camada de 0-10 cm (0,5 Mg ha<sup>-1</sup>) apenas em relação ao sistema GP (0,29 Mg ha<sup>-1</sup>). Embora os estoques de  $C_{MIC}$  em termos absolutos sejam pequenos, os microrganismos constituem-se no mais importante compartimento de C lábil, sendo vitais à dinâmica do C orgânico do solo e à ciclagem de nutrientes, além de serem considerados o compartimento ativo em muitos modelos de dinâmica do C no solo, como o Century e o RothC26.3. Adicionalmente, é uma medida mais sensível da mudança na matéria orgânica em função do curto tempo de reciclagem (1 a 2 anos). As perdas proporcionalmente maiores de  $C_{MIC}$  nos sistemas de preparo em relação à FA, comparativamente às perdas obtidas pelo COT reforçam esta assertiva.

Maiores valores da proporção  $C_{MIC}/COT$  foram observados no solo sob FA em relação ao solo sob sistemas de preparo, indicando maior quantidade de C imobilizado

como biomassa microbiana na floresta, similarmente ao observado por Marchiori Jr. & Melo (1999). Não houve grandes diferenças nos valores da proporção  $C_{MIC}/COT$  em função dos sistemas de preparo para todas as camadas. No entanto, de forma similar ao  $C_{MIC}$ , para a camada superficial o PD apresentou o maior valor (2,3 %) em relação aos sistemas AD, GPAD e GP, diferentemente da camada de 10-20 cm, em que apenas o sistema AD não foi superior ao PD.

**Quadro 7. Carbono da biomassa microbiana ( $C_{MIC}$ ) e proporção do carbono da biomassa microbiana no carbono orgânico total ( $C_{MIC}/COT$ ) de um Argissolo Vermelho-Amarelo, nas camadas 0-10, 10-20 e 0-20 cm, sob diferentes sistemas de manejo**

Sistema	$C_{MIC}$		$C_{MIC}/COT$
	dag kg <sup>-1</sup>	Mg ha <sup>-1</sup>	%
<b>0-10 cm</b>			
PD	0,0381a	0,50a	2,3
AD	0,0300ab	0,36ab	2,2
GPAD	0,0284ab	0,34ab	2,2
GP	0,0246b	0,29b	1,7
FA	0,0900	0,90	2,6
<b>10-20 cm</b>			
PD	0,0238a	0,32a	1,9
AD	0,0215a	0,26a	1,8
GPAD	0,0256a	0,31a	2,0
GP	0,0225a	0,29a	2,1
FA	0,0510	0,65	2,4
<b>0-20 cm</b>			
PD	0,0310a	0,82a	2,1
AD	0,0258a	0,63a	2,0
GPAD	0,0270a	0,65a	2,1
GP	0,0236a	0,58a	1,9
FA	0,0705	1,59	2,5

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

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

O valor da proporção  $C_{MIC}/COT$  pode indicar se o carbono está em equilíbrio, acumulando ou diminuindo. Alguns autores sugerem que valores da proporção  $C_{MIC}/COT$ , que expressam o ponto de equilíbrio poderia ser de 2,3 para sistemas sob monoculturas e 4,4 para sistemas sob rotação de culturas (Insam & Domsch, 1989; Anderson & Domsch, 1989). Em solos nos quais estes valores são maiores ou menores do que o ponto de equilíbrio estaria ocorrendo respectivamente acúmulo ou perdas de C. Assim, neste estudo, o sistema PD estaria evidenciando situação de estabilidade. Por outro lado, os menores valores da proporção  $C_{MIC}/COT$  nos sistemas convencionais na camada de 0-10 cm, poderiam indicar que a disponibilidade de substrato para os

microrganismos do solo foi relativamente baixa. Esta menor disponibilidade pode ser resultado da baixa qualidade do substrato ou da baixa acessibilidade, em decorrência de barreiras físicas ou químicas (Balesdent et al., 2000).

Os sistemas de preparo não afetaram significativamente os teores de carbono da fração leve ( $C_{FL}$ ) nas camadas de 0-10 e 10-20 cm. Na camada superficial, o sistema GP apresentou o maior teor ( $0,185 \text{ dag kg}^{-1}$ ) (Quadro 8). Na camada de 10-20 cm, que apresentou menores valores do que a camada de 0-10 cm, o maior valor foi obtido pelo sistema GPAD ( $0,117 \text{ dag kg}^{-1}$ ) possivelmente devido à incorporação dos resíduos vegetais, e o menor pelo PD ( $0,050 \text{ dag kg}^{-1}$ ). Estes resultados são contrários aos normalmente observados que enfatizam a diminuição do  $C_{FL}$  sob sistemas convencionais (Cambardella & Elliot, 1992; Beare et al., 1994; Lal, 1997).

Os estoques de  $C_{FL}$  no solo sob FA foram maiores do que nos sistemas de preparo tanto para a camada de 0-10 cm ( $12 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) quanto para a camada de 10-20 cm ( $5 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) (Quadro 8). As perdas foram de 84, 83, 88 e 81 % para a camada superficial e de 87, 75, 72 e 80 % para a camada mais profunda, respectivamente para PD, AD, GPAD e GP. A tendência de intensa diminuição nos estoques de  $C_{FL}$  após conversão da floresta para os sistemas agrícolas tem sido observada por outros autores (Boone, 1994; Gregorich & Janzen, 1996; Carter et al., 1998). Neste estudo, esta mudança ocorreu há cerca de 70 anos, o que propiciou diminuição acentuada nos estoques deste compartimento.

Na camada de 0-10 cm, o maior estoque de  $C_{FL}$  foi observado no solo sob sistema GP ( $2,2 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) em relação aos solos sob PD, AD e GPAD. Estes resultados não seguiram as tendências do COT e  $C_{MIC}$  que mostraram maiores valores para o PD na camada superficial. Na camada de 10-20 cm os sistemas convencionais AD ( $1,24 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) e GPAD ( $1,42 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) propiciaram os maiores estoques de  $C_{FL}$  provavelmente pela maior incorporação de resíduos vegetais. Estes resultados para a camada de 10-20 cm são corroborados por Freixo et al. (2002) que também observaram maiores estoques de  $C_{FL}$  em um Latossolo do Rio Grande do Sul sob aração de disco em relação a um Latossolo sob PD.

O  $C_{FL}$  representou de 8,7 (PD) a 13 % (GP) do COT na camada de 0-10 e de 4 (PD) a 9,2% (GPAD) na camada de 10-20 cm, o que está de acordo com os resultados reportados em outros estudos em regiões tropicais (Motavalli et al., 1994). No solo sob FA, estes percentuais foram cerca de 3 a 4 vezes àqueles apresentados pelos sistemas de preparo na camada de 0-10 e de 2 a 4,5 vezes na camada de 10-20 cm. As proporções

apresentadas corroboram com aquelas obtidas por Tiessen & Stewart (1983) que determinaram que o  $C_{FL}$  respondeu por 20 a 30 % do COT nos solos sob floresta e de 8 a 14 % nos solos cultivados.

Os resultados de  $C_{FL}$  não foram os esperados, desde que a maior parte dos trabalhos indica valores maiores para sistema PD (Wander et al., 1998). No entanto, devido ao  $C_{FL}$  ser uma das principais fontes de substrato microbiano e porque o  $C_{MIC}$  no PD foi aproximadamente 30 % maior do que nos sistemas convencionais na camada superficial, é possível que a manutenção deste aumento na biomassa microbiana possa ter restringido maior acúmulo de  $C_{FL}$  no PD. Adicionalmente, pode-se inferir que o  $C_{FL}$  tenha reciclado mais rapidamente no solo sob PD pela maior população microbiana. Os valores da proporção  $C_{MIC}/C_{FL}$ , que servem como indicadores da qualidade do material orgânico adicionado para formar e manter a biomassa microbiana foram maiores no sistema PD em todas as camadas, endossando esta hipótese (Quadro 8).

As tendências verificadas para  $C_{MIC}$  e  $C_{FL}$  demonstraram que os estoques das frações mais biologicamente ativas do solo foram reduzidos com maior intensidade na camada abaixo da superfície no solo, principalmente sob PD, devido ao comportamento diferencial ao longo do perfil do solo. Frações da matéria orgânica do solo que ciclam rapidamente, como a biomassa microbiana e a fração leve são extremamente importantes, pois contribuem intensamente para ciclagem de nutrientes, desde que, são fontes de energia mais prontamente disponíveis para os microrganismos responsáveis por esta ciclagem (Janzen et al., 1992). Resultados concordantes foram observados em outros estudos (Wander et al., 1998; Needelman et al., 1999). No modelo Century, o  $C_{FL}$  tem menor tempo de ciclagem do que o  $C_{MIC}$  e por isso é considerado como compartimento lento.

**Quadro 8. Carbono da fração leve ( $C_{FL}$ ), proporção do carbono da fração leve no carbono orgânico total ( $C_{FL}/C_{OT}$ ) e proporção do carbono da biomassa microbiana no carbono da fração leve ( $C_{MIC}/C_{FL}$ ) de um Argissolo Vermelho-Amarelo, nas camadas 0-10, 10-20 e 0-20 cm, sob diferentes sistemas de manejo**

Sistema	$C_{FL}$		$(C_{FL}/C_{OT})$	$(C_{MIC}/C_{FL})$
	dag kg <sup>-1</sup>	Mg ha <sup>-1</sup>	%	
<b>0-10 cm</b>				
PD	0,145a	1,90a	8,68	0,263
AD	0,167a	2,00a	12,10	0,180
GPAD	0,120a	1,44a	9,30	0,237
GP	0,185a	2,22a	12,94	0,133
FA	1,174	11,74	33,54	0,077
<b>10-20 cm</b>				
PD	0,050b	0,67b	4,00	0,476
AD	0,101ab	1,24ab	8,56	0,213
GPAD	0,117a	1,43a	9,21	0,219
GP	0,080ab	1,02ab	7,34	0,281
FA	0,399	5,02	18,47	0,128
<b>0-20 cm</b>				
PD	0,097a	2,58a	6,64	0,320
AD	0,134a	3,27a	10,47	0,193
GPAD	0,119a	2,85a	9,30	0,227
GP	0,132a	3,27a	10,48	0,179
FA	0,786	17,76	27,77	0,090

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

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

Os teores das frações ácidos fúlvicos (FAF) e ácidos húmicos (FAH) foram similares em todos os sistemas, embora aqueles com pouco (GP) ou nenhum revolvimento (PD) tenham mostrado leve tendência a teores maiores na camada de 0-10 cm (Quadro 9). Esta similaridade pode estar relacionada à decomposição mais intensa da matéria orgânica em plantio convencional, quando comparada ao plantio direto. Os maiores teores da FAF em relação à FAH são consistentes com os resultados de Mendonça & Rowell (1996), nos quais solos tropicais com alto teor de argila, devido à maior interação com os óxidos e hidróxidos de Fe e Al, apresentaram maiores teores da FAF do que FAH.

A fração humina (HUM) apresentou os maiores teores em todos sistemas de preparo constituindo-se de 60 (AD) a 66 % (GP) do COT na camada de 0-10 cm e de 58 (GPAD) a 68 % (AD) na camada de 10-20 cm (Quadro 9). Diversos estudos conduzidos em solos sob clima tropical apresentaram resultados semelhantes (Mendonça, 1988; Nascimento, 1989; Coelho, 1991) o que sugere elevada interação da fração mineral dos solos tropicais com a matéria orgânica. O teor de carbono para fração HUM foi maior ( $P < 0,05$ ) no solo sob PD (1,10 dag kg<sup>-1</sup>) do que nos solos sob AD (0,83 dag kg<sup>-1</sup>) e

GPAD ( $0,82 \text{ dag kg}^{-1}$ ) e não diferenciou do sistema GP ( $0,94 \text{ dag kg}^{-1}$ ), na camada de 0-10 cm (Quadro 9). Estes resultados se devem possivelmente à ausência (PD) ou mínimo revolvimento (GP) do solo e as condições pedoambientais mais estáveis dos sistemas PD e GP propiciando às substâncias húmicas estabelecerem interações químicas mais estáveis com a fração mineral do solo (Stevenson, 1994), tornando-se mais resistentes às alterações acarretadas por práticas de manejo. Por outro lado, na camada de 10-20 cm, não foi observada diferença significativa entre os sistemas de preparo.

Os estoques da FAF nos sistemas de preparo foram reduzidos em relação à FA em 8, 30, 27 e 18 % para a camada de 0-10 cm e em 27, 33, 29 e 33 % para a camada de 10-20, respectivamente para PD, AD, GPAD e GP, o que indica menores perdas na camada superficial para os sistemas de preparo mais conservacionista (PD) e com menor perturbação ao solo (GP). Por outro lado, na camada mais profunda, as perdas foram equivalentes, reforçando a hipótese de distribuição mais uniforme de C nos sistemas convencionais (Quadro 10). Com relação a FAH, os maiores estoques foram também observados na FA, tanto na camada de 0-10 quanto na camada de 10-20 cm. As reduções observadas foram de 16, 48, 35 e 35 % para camada superficial e de 19, 53, 34 e 59 % para camada mais profunda, respectivamente para PD, AD, GPAD e GP indicando perdas de maior magnitude do que aquelas apresentadas pela FAF. A fração HUM apresentou tendência similar às demais frações com estoques maiores no solo sob FA. As perdas foram de 21, 45, 46 e 38 % para camada de 0-10 cm e de 36, 37, 43 e 42 % para a camada de 10-20 cm.

Uma das maiores dificuldades para aplicação de modelos, como o Century, é estimar os compartimentos analiticamente, embora avanços substanciais tenham sido feitos principalmente para determinação dos compartimentos ativo (C da biomassa microbiana) e lento (C da fração leve). Por outro lado, são escassos os métodos que referenciem adequadamente o compartimento passivo, caracterizado pela maior estabilidade, devido à proteção física e a presença de compostos quimicamente recalcitrantes. No entanto, considerando a média dos quatro sistemas de preparo, o estoque de C no compartimento passivo obtido por diferença ( $C_{\text{passivo}} = C_{\text{OT}} - C_{\text{MIC}} - C_{\text{FL}}$ ) foi de  $15,6 \text{ Mg ha}^{-1}$ , indicando similaridade ao estoque de C obtido por meio da soma dos estoques das substâncias húmicas ( $16,9 \text{ Mg ha}^{-1}$ ), também considerando a média dos sistemas estudados. Assim, a diferença entre as duas estimativas para o compartimento passivo foi de apenas  $1,3 \text{ Mg ha}^{-1}$  para a camada de 0-10 cm. No

entanto, estes resultados podem ficar ainda mais próximos se a FAF for dividida em ácidos fúlvicos e em compostos orgânicos de baixo peso molecular (COBPM). Estudos feitos em diversos solos tropicais demonstraram que cerca de 57 % da FAF são constituídos de COBPM (Mendonça et al., 2001). Portanto, se forem considerados apenas os ácidos fúlvicos, a diferença entre o estoque de C nas substâncias húmicas e no compartimento passivo obtido por diferença será reduzida para 0,4 Mg ha<sup>-1</sup> na camada de 0-10 cm, o que ressalta a possibilidade das substâncias húmicas serem utilizadas para referenciar o compartimento passivo.

**Quadro 9. Carbono nas frações ácidos fúlvicos (FAF), ácidos húmicos (FAH) e huminas (HUM), proporções destas frações em relação ao teor de carbono orgânico total (COT) e relação fração ácidos húmicos/ fração ácidos fúlvicos (FAH/FAF) de um Argissolo Vermelho-Amarelo, nas camadas 0-10, 10-20 e 0-20 cm, sob diferentes sistemas de manejo**

Sistema	FAF	FAH	HUM	FAF	FAH	HUM	FAH/FAF
	dag kg <sup>-1</sup>			% COT			
<b>0-10 cm</b>							
PD	0,27a	0,24a	1,10a	16,17	14,37	65,87	0,89
AD	0,22a	0,16a	0,83b	15,94	11,59	60,14	0,73
GPAD	0,23a	0,20a	0,82b	17,83	15,50	63,57	0,87
GP	0,26a	0,20a	0,94ab	18,18	13,99	65,73	0,77
FA	0,38	0,37	1,81	10,86	10,57	51,71	0,97
<b>10-20 cm</b>							
PD	0,20a	0,19a	0,74a	16,00	15,20	59,20	0,95
AD	0,20a	0,12a	0,80a	16,95	10,17	67,80	0,60
GPAD	0,21a	0,17a	0,73a	16,54	13,39	57,48	0,81
GP	0,19a	0,10a	0,71a	17,43	9,17	65,14	0,53
FA	0,29	0,25	1,24	13,43	11,57	57,40	0,86
<b>0-20 cm</b>							
PD	0,24a	0,22a	0,92a	16,09	14,79	62,54	0,92
AD	0,21a	0,14a	0,82b	16,45	10,88	63,97	0,67
GPAD	0,22a	0,19a	0,78b	17,19	14,45	60,53	0,84
GP	0,23a	0,15a	0,83b	17,81	11,58	65,44	0,65
FA	0,34	0,31	1,53	12,15	11,07	54,56	0,92

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

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

**Quadro 10. Estoques de carbono nas frações ácidos fúlvicos (FAF), ácidos húmicos (FAH) e huminas (HUM) de um Argissolo Vermelho-Amarelo, nas camadas 0-10, 10-20 e 0-20 cm, sob diferentes sistemas de manejo**

Sistema	FAF	FAH	Mgha <sup>-1</sup>	
			HUM	S
<b>0-10 cm</b>				
PD	3,57a	3,20a	14,46a	21,23
AD	2,62a	1,94a	10,06a	14,62
GPAD	2,79a	2,44a	9,87a	15,10
GP	3,11a	2,40a	11,25a	16,76
FA	3,80	3,70	18,10	25,60
<b>10-20 cm</b>				
PD	2,68a	2,52a	9,95a	15,15
AD	2,46a	1,48a	9,98a	13,92
GPAD	2,58a	2,09a	8,95a	13,62
GP	2,43a	1,31a	9,05a	12,83
FA	3,65	3,15	15,62	22,43
<b>0-20 cm</b>				
PD	6,25a	5,71a	24,37a	36,33
AD	5,12a	3,41a	19,97a	28,50
GPAD	5,35a	4,52a	18,75a	28,62
GP	5,61a	3,75a	20,40a	29,94
FA	7,68	7,01	34,58	49,27

PD: plantio direto, AD: arado de disco, GPAD: grade pesada + arado de disco, GP: grade pesada; FA: Floresta Atlântica.

Os teores de carbono lábil ( $C_L$ ) foram maiores ( $P < 0,05$ ) no PD ( $0,150 \text{ dag kg}^{-1}$ ) do que nos sistemas convencionais, na camada de 0-10 cm. Na camada de 10-20 cm as diferenças significativas foram observadas apenas entre GPAD e GP (Quadro 11). Maiores valores de  $C_L$  na camada superficial podem indicar maior liberação de C ativo a partir dos resíduos vegetais (Blair et al., 1998). O Índice de Compartimento de Carbono (ICC), a Labilidade (L) do carbono, e o Índice de Labilidade (IL) seguiram a mesma tendência tanto na camada superficial quanto na camada mais profunda. O IMC incorpora as mudanças no COT,  $C_L$  e  $C_{NL}$  e tem demonstrado ser indicador sensível da dinâmica da matéria orgânica do solo sob diferentes sistemas de manejo (Cerri et al., 1994; Conteh et al., 1997; Conteh & Blair, 1998). Os sistemas de preparo, comparativamente à FA, resultaram em decréscimo no ICM de 26 % (PD) a 55 % (GPAD), e de 6 % (GPAD) a 44 % (GP), nas camadas de 0-10 e 10-20 cm, respectivamente. Considerando que a continuidade do suprimento de C no solo depende tanto do tamanho do compartimento total quanto da labilidade, as mudanças no IMC indicam a ausência de um manejo adequado da matéria orgânica do solo, mesmo para o sistema PD.

Os estoques do  $C_L$  foram reduzidos em relação à FA em 6, 43, 47 e 41 % na camada de 0-10 cm e em 20, 19, 11 e 43 %, na camada de 10-20 cm, respectivamente

para PD, AD, GPAD e GP. A redução no  $C_{NL}$  variou em torno de 40 a 60 % nas camadas de 0-10 e 10-20 cm, respectivamente, com o PD apresentando as menores perdas. A perda de  $C_L$  nos sistemas cultivados em relação à FA foi também observada por outros autores (Lefroy et al., 1993; Blair, 2000) e pode ser atribuída ao incremento nas taxas de decomposição causado pela ruptura de macroagregados, e o aumento no número e intensidade dos ciclos de umedecimento e secagem (Syers & Craswell, 1995), além dos compostos deste compartimento que são rapidamente mineralizados, com tempo de reciclagem variando de dias a alguns anos (Woomer et al., 1994).

Os constituintes do  $C_L$ , apesar da ciclagem rápida, não são totalmente conhecidos (Conteh & Blair, 1998). Para caracterizá-los tem sido usado o C oxidado por permanganato de potássio (Blair et al., 1995) o  $C_{MIC}$  (Degens & Sparling, 1996), ou juntamente com o  $C_{MIC}$ , carboidratos, peptídeos amino-açúcar, lipídios e materiais estruturais menos prontamente metabolizados, como ceras, gorduras, resinas, lignina e hemicelulose (Woomer et al., 1994). Os valores dos estoques de  $C_L$  nos sistemas de preparo foram de 3 a 4 vezes os estoques de  $C_{MIC}$  (Quadro 7), na camada de 0-10 cm e de 2 a 4 vezes na camada de 10-20 cm, indicando que além da biomassa microbiana, outros compostos constituem este compartimento. Nos solos da FA esta diferença foi de menor magnitude (em torno de 2 vezes), o que sugere maior participação da biomassa microbiana neste compartimento. Por outro lado, os valores para  $C_{NL}$  foram similares aos obtidos pela soma dos estoques da FAF, FAH e HUM, nos sistemas de preparo, tanto para camada de 0-10 cm quanto para camada de 10-20 cm.

**Quadro 11. Carbono lábil ( $C_L$ ), carbono não lábil ( $C_{NL}$ ), proporção do carbono lábil no carbono orgânico total ( $C_L/COT$ ) e Índice de Manejo de Carbono (IMC) de um Argissolo Vermelho-Amarelo, nas camadas 0-10 cm, 10-20 cm e 0-20 cm, sob diferentes sistemas de manejo**

Sistema	$C_L$		$C_{NL}$		$C_L/COT$	Índices			
	dagkg <sup>-1</sup>	Mgha <sup>-1</sup>	dagkg <sup>-1</sup>	Mgha <sup>-1</sup>		ICC	L	IL	IMC
<b>0-10 cm</b>									
PD	0,150a	1,98a	1,52a	20,06a	8,98	0,48	0,099	1,54	74
AD	0,098b	1,19b	1,28b	15,49b	7,10	0,39	0,076	1,19	47
GPAD	0,093b	1,12b	1,20b	14,40	7,21	0,37	0,078	1,21	45
GP	0,103b	1,24b	1,33b	15,96b	7,20	0,41	0,078	1,21	50
FA	0,210	2,10	3,29	32,90	6,00		0,064		
<b>10-20 cm</b>									
PD	0,070ab	0,92ab	1,18a	15,81a	5,60	0,58	0,059	1,32	76
AD	0,078ab	0,96ab	1,10b	13,53b	6,61	0,55	0,071	1,57	86
GPAD	0,085a	1,05a	1,19a	14,61ab	6,69	0,59	0,072	1,59	94
GP	0,052b	0,67b	1,04b	19,31b	4,77	0,50	0,050	1,11	56
FA	0,094	1,18	2,07	26,08	4,35		0,045		
<b>0-20 cm</b>									
PD	0,110a	2,90a	1,35a	35,64a	7,29	0,53	0,079	1,43	75
AD	0,088b	2,15b	1,19b	29,04b	6,86	0,47	0,073	1,38	66,5
GPAD	0,089b	2,15b	1,20b	29,04b	6,95	0,48	0,075	1,40	69,5
GP	0,077b	1,91b	1,19b	29,51b	5,99	0,45	0,064	1,16	53
FA	0,152	2,44	2,68	60,17	5,18		0,054		

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

PD: plantio direto, AD: arado de disco, GPAD: grade pesada + arado de disco, GP: grade pesada; FA: Floresta Atlântica (amostra referência). ICC- Índice de Compartimento de Carbono; L- Labilidade; IL- Índice de Labilidade.

#### 4. CONCLUSÕES

Os estoques de COT e NT nos solos sob sistemas de preparo foram menores do que nos solos sob FA, em todas as camadas.

O extenso período de cultivo convencional ocorrido anteriormente ao experimento resultou na degradação do solo e por isso, as mudanças induzidas pelo PD não foram observadas após 15 anos.

Os sistemas PD e convencionais atuaram como fonte de C-CO<sub>2</sub> para a atmosfera. Por isso, sistemas de produção sustentáveis que envolvam culturas em rotação com plantas de cobertura com elevado aporte de resíduos, aliados a preparos conservacionistas, devem ser adotados para que o solo possa agir como dreno, contribuindo para mitigar as emissões de C-CO<sub>2</sub> para a atmosfera.

Os maiores estoques dos compartimentos  $C_{MIC}$  e  $C_L$  no sistema PD foram limitados à camada de 0-10 cm. Na camada de 10-20 cm, os estoques nestes compartimentos e principalmente no  $C_{FL}$ , que foi a fração mais sensível à degradação,

foram reduzidos com maior intensidade, o que restringiu os benefícios do PD à camada superficial do solo.

As substâncias húmicas constituíram-se de aproximadamente 80 a 90 % do carbono orgânico total e podem ser usadas para estimar o compartimento passivo em solos tropicais.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R.F. de; BARROS, N.F.; CANTARUTTI, R.B. & LOPES, A.S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G. & ALVAREZ V., V.H.; eds. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5 aproximação. Viçosa-MG, UFV, 1999. p.25-32.

ALVAREZ, R.; DÍAZ, R.A.; BARBERO, N.; SANTANATOGLIA, O.J. & BLOTTA, L. Soil organic carbon, microbial biomass and C-CO<sub>2</sub> production from three tillage systems. *Soil Till. Res.*, 33:17-28, 1995.

ALVAREZ, R. & LAVADO, R.S. Climatic, organic matter and clay content relationship in the Pampa and Chaco soils, Argentina. *Geoderma*, 83:127-141,1998.

ALVAREZ, R.; RUSSO, M.E.; PRYSTUPA, P.; SCHEINER, J.D. & BLOTTA, L. Soil pools under conventional and no-tillage systems in the Argentina rolling Pampa. *Agron. J.*, 90:138-143, 1998.

AMADO, T.J.C.; BAYER, C.; ELTZ, F.L.F. & BRUM, A.C.R. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. *R. Bras. Ci. Solo*, 25: 189-198, 2001.

ANDERSON, T.H. & DOMSCH, K.H., Ratios of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils. *Soil Biol. Biochem.*, 21:471-479, 1989.

ANDRADE, D.S.; COLLOZI-FILHO, A.; PAVAN, M.A.; BALOTA, E.L. & CHAVES, J.C.D. Atividade microbiana em função da calagem em um solo cultivado com cafeeiro. *R. Bras. Ci. Solo*, 19:191-196, 1995.

ANGERS, D.A.; BOLINDER, M.A.; CARTER, M.R.; GREGORICH, E.G.; DRURY, C.F.; LIANG, B.C.; VORONEY, R.P.; SIMARD, R.R.; DONALD, R.G.; BEYAERT,

- R.P. & MARTEL, J. Impact of tillage practices on organic carbon and nitrogen storage in cool, humid soils of eastern Canada. *Soil Till. Res.*, 41:191-201, 1997.
- BALESDENT, J.; CHENU, C. & BALABANE, M. Relationship soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. *Soil Till. Res.*, 53:215-230, 2000.
- BALOTA, E.L.; COLOZZI-FILHO, A.; ANDRADE, D.S. & HUNGRIA, M. Biomassa microbiana e sua atividade em solos sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas. *R. Bras. Ci. Solo*, 22:641-649, 1998.
- BATJES, N.H. Management options for reducing CO<sub>2</sub>-concentrations in the atmosphere by increasing carbon sequestration in the soil. Report 410-200-031, Dutch National Research Programme on Global Air Pollution and Climate & Technical Paper 30, International Soil Reference and Information Centre. 1999. 114p.
- BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. *R. Bras. Ci. Solo*, 21:235-239, 1997.
- BEARE, M.H.; HENDRIX, P.F. & COLEMAN, D.C. Water-stable aggregates and organic matter fractions in conventional and no tillage soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 58:777-786, 1994.
- BLAIR, G.J.; CHAPMAN, L.; WHITBREAD, A.M.; BALL-COELHO, B.; LARSEN, P. & TIESSEN, H. Soil carbon change resulting from sugarcane trash management at two locations in Queensland, Australia, and in North-East Brazil. *Aust. J. Soil Res.*, 36:873-881, 1998.
- BLAIR, N. Impact of cultivation and sugar-cane green trash management on carbon fractions and aggregate stability for a Chromic Luvisol in Queensland, Australia. *Soil Till. Res.*, 55:183-191, 2000.
- BLAIR, G.J.; LEFROY, R.D.B. & LISLE, L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and development of a carbon management index for agricultural systems. *Aust. J. Agric. Res.*, 46:1459-1466, 1995.
- BOONE, R.D. Light-fraction soil organic matter: origin and contribution to net nitrogen mineralization. *Soil Biol. Biochem.*, 26:1459-1468, 1994.
- BRAGA, J.M. & DEFELIPO, B.V. Determinação espectrofotométrica do fósforo em extratos de solos e plantas. *Rev. Ceres*, 21:73-85, 1974.

- BREMNER, J.M. & MULVANEY, C.S. Nitrogen total. In: PAGE, A. L., ed. Methods of soil analysis. Madison: American Society of Agronomy. 1982. p.595-624.
- CAMBARDELLA, C.A. & ELLIOT E.T. Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence. Soil Sci. Soc. Am. J., 56:777-783, 1992.
- CAMBARDELLA, C.A. & ELLIOT E.T. Carbon and nitrogen distribution in aggregates from cultivated grassland soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 57:1071-1076, 1993.
- CARTER, M.R.; GREGORICH, E.G.; ANGERS, D.A.; DONALD, R.G. & BOLINDER, M.A. Organic C and N storage, and organic fractions, in adjacent cultivated and forested soils of eastern Canada. Soil Till. Res., 47: 253-261, 1998.
- CENTURION, J.F.; DEMATTÊ, J.L.I. & FERNANDEZ, F.M. Efeitos de sistemas de preparo nas propriedades químicas de um solo cultivado com soja. R. Bras. Ci. Solo, 9:267-270, 1985.
- CERRI, C.C.; BERNOUX, M. & BLAIR, G.J. Carbon pools and fluxes in Brazilian natural and agricultural systems and the implications for global CO<sub>2</sub> balance. In: Transactions of the 15<sup>th</sup> World Congress of Soil Science, volume 5a, México, 1994. p.399-406.
- COELHO, R.M. Influência da vinhaça, da fertilização mineral e do cultivo em características químicas da matéria orgânica e da fração mineral de um Latossolo Vermelho-Escuro. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1991. 84p. (Tese de Mestrado).
- COLLEMAN, K. & JENKINSON, D.S. RothC 26.3- a model for the turnover of carbon in soil. In: POLWSON, T.S., SMITH, P. & SMITH, J.U., eds. Evaluation of soil organic matter models using existing long term datasets. NATO ASI, Series I, 38: 237-246, 1996.
- COLOZZI-FILHO A.; BALOTA, E.L. & ANDRADE, D.S. de. Microrganismos e processos biológicos no sistema plantio direto. In: SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S.; LOPES.A.S.; GUILHERME, L.R.G.; FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A.E. & CARVALHO, J.C., eds. Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas, Lavras, Viçosa:SBCS, Lavras:UFLA, 1999. p.487-508.
- CONSERVATION TECHNOLOGY INFORMATION CENTER. CRM Executive Summary. Internet: <http://www.ctic.purdue.edu/CRM/ExecSummary.html>. Conservation Technology Information Center, West Lafayette, EUA. 1996.

- CONTEH, A. & BLAIR, G.J. The distribution and relative losses of soil organic carbon fractions in aggregate size fractions from cracking clay soils (Vertisols) under cotton production. *Aust. J. Soil Res.*, 36:257-71, 1998.
- CONTEH, A.; BLAIR, G.J.; MacLEOD D.A. & LEFROY R.D.B. Soil organic carbon changes in cracking clay soils under cotton production as studied by carbon fractionation. *Aust. J. Agric. Res.*, 48: 1049-1058. 1997.
- CORAZZA. E.J.; SILVA, J.E.; RESCK, D.V.S. & GOMES A.C., Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação de Cerrado. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:425-432, 1999.
- 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.
- De MARIA, I.C.; NNABUDE, P.C. & CASTRO, O.M. de. Long-term tillage and crop rotation effects on soil chemical properties of a Rhodic Ferralsol in southern Brazil. *Soil Till. Res.*, 51:71-79, 1999.
- DEGENS, B. & SPARLING, G. Changes in aggregation do not correspond with changes in labile organic C fractions in soil amended with <sup>14</sup>C-glucose. *Soil Biol. Biochem.*, 28:453-462, 1996.
- DESJARDINS, T.; ANDREAUX, F.; VOLKOFF, B. & CERRI, C.C. Organic carbon and <sup>13</sup>C content in soils and soil size classes and their changes due to deforestation and pasture installations in eastern Amazonia. *Geoderma*, 61:103-118. 1994.
- DRINKWATER, L.E.; WAGONER, P. & SARRANTONIO, M. Legume-based cropping systems have reduced carbon and nitrogen losses. *Nature*, 396:262-265, 1998.
- DUXBURY, J.M.; SMITH, M.S. & DORAN, J.W. Soil organic matter as a source and sink of plant nutrients. In: *Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems*. COLEMAN, D.C.; OADES, J. M. & UEHARA, G., eds. University of Hawaii. 1989. p.33-67.
- ELTZ, F.L.F.; PEIXOTO, R.T.G. & JASTER, F. Efeitos de sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas e químicas de um Latossolo Bruno Álico. *R. Bras. Ci. Solo*, 13:259-267, 1989.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Manual de Métodos de Análise de Solo. Centro Nacional de Pesquisa de Solos - 2 ed. 1997. 212p.

ESWARAN, H.; Van Den BERG, E.; REICH, P. & KIMBLE, J. Global soil carbon resources. In: Soil and Global Change. LAL, R.; KIMBLE, E. & STEWART, B.A.,eds. Lewis Publishers, 1995. p.27-43.

FERNANDES, E.C.M.; MOTAVALLI, P.P.; CASTILLA, C. & MUKURUMBIRA, L. Management control of soil organic matter dynamics in tropical land-use systems. *Geoderma*, 79: 49-67, 1997.

FERREIRA, A.S.; CAMARGO, F.A.O. & VIDOR, C. Utilização de microondas na avaliação da biomassa microbiana do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:991-996, 1999.

FOLLET, R.F. Soil management concepts and carbon sequestration zin cropland soils. *Soil Till. Res.*, 61:77-92, 2001.

FOLLET, R.F. & SCHIMEL, D.S. Effect of tillage practices on microbial biomass dynamics. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 53:1091-1096, 1989.

FOLLET, R.F. & McCONKEY, B. The role of cropland agriculture for C sequestration in the Great Plains, In: *Proceedings of the Conference on Great Plains Soil Fertility*, 8:1-15, 2000.

FORTIN, M.C.; ROCHETE, P. & PATTEY, E. Soil carbon dioxide fluxes from conventional a no tillage small-grain cropping systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 60:1541-1547, 1996.

FREIXO, A.A.; MACHADO, P.L.O. de 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 system in southern Brazil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65:1121-1128, 2002.

FUNARBE. SAEG-Sistema para análise estatística v.5.0. Viçosa-MG, 1993.

GALVÃO, J.C.C. Características físicas e químicas do solo e produção de milho exclusivo e consorciado com feijão em função de adubações orgânica e mineral contínuas. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1995. 194p. (Tese de Doutorado).

GREGORICH, E.G. & JANZEN, H.H. Storage of soil carbon in the light fraction and macroorganic matter. In: CARTER, M.R. & STEWART, B.A., eds. *Structure and*

organic matter storage in agricultural soils. CRC Press/Lewis Publishers, Boca Raton, FL, EUA, 1996. p.167-190.

GUIMARÃES, J.B.R. Efeitos de sistemas de manejo de um Latossolo Roxo em seus atributos físicos e químicos e na produtividade de soja (*Glicine Max L., Merrill*). Campo Grande, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 1999. 62p (Tese de Mestrado).

HOUGHTON, R.A. Changes in the storage of terrestrial carbon since 1850. In: LAL, R.; KIMBLE, J.; LEVINE, E. & STEWART, B.A., eds. *Soils and global change*. Boca Raton, CRC Lewis Publishers, 1995. p.45-65.

HUSSAIN, I.; OLSON, 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.

INGRAM, J.S.I. & FERNANDES, E.C.M. Managing carbon sequestration in soils: concepts and terminology. *Soil Till. Res.*, 87:111-117, 2001.

INSAN, H. & DOMSCH, K.H. The influence of macroclimate on soil microbial biomass levels. *Soil Biol. Biochem.*, 21:211-221, 1989.

ISLAM K.R. & WEIL, R.R. Microwave irradiation of soil for routine measurement of microbial biomass carbon. *Biol. Fertil. Soils*, 27: 408-416, 1998.

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.

JANZEN, H.H.; CAMPBELL, C.A.; IZAURRALDE, R.C.; ELLERT, B.H.; JUMA, H.; MCGILL, W.B. & ZETNER, R.P. Management effects on soil C storage on the Canadian prairies. *Soil Till. Res.*, 47:181-195, 1998.

KERN, J.S. & JOHNSON, M.G. Conservation tillage impacts on national soil and atmospheric carbon levels. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 57:200-210, 1993.

KIEHL, E.J. *Fertilizantes orgânicos*. São Paulo: Ceres, 1985. 492p.

KLEPKER, D. & ANGHINONI, I. Características físicas e químicas do solo afetadas por métodos de preparo e modos de adubação. *R. Bras. Ci. Solo*, 19:395-401, 1995.

LAL, R. Residue management, conservation tillage and soil restoration for mitigating greenhouse effect by CO<sub>2</sub>-enrichment. *Soil Till. Res.*, 43:81-107, 1997.

- LAL, R.; KIMBLE, J.; LEVINE, E. & WHITMAN, C. Towards improving the global data base on soil carbon. In: LAL, R.; KIMBLE, J.; LEVINE, E. & STEWART, B. A., eds. *Soils and Global Change*. Boca Raton, CRC Lewis Publishers, 1995. p.433-436.
- LAL, R.; KIMBLE, J.M.; FOLLET, R.F. & COLE, C.V. The potential of U.S. cropland to sequester carbon and mitigate the greenhouse effect. Chelsea: Ann Arbor, 1998. 128p.
- LAL, R. & BRUCE, J.P. The potential of world cropland soils to sequester C and mitigate the greenhouse effect. *Environ. Sci. & Policy*. 2:177-185, 1999.
- LAL, R.; FOLLET, R.F.; KIMBLE, J. & COLE, C.V. Managing US cropland to sequester carbon in soil. *J. Soil Water Conserv.*, 54:374-381, 1999.
- LAVELLE, P.; GILOT, C. & PASHANASI, B. Soil fauna and sustainable land use in the tropics. In: GREENLAND D.J., ed. *Soil resilience and sustainable land use*. 1994. p.291-308.
- LEFROY, R.D.B.; BLAIR, G.J. & STRONG, W.M., Changes in soil organic matter with cropping as measured by organic carbon fractions and <sup>13</sup>C natural isotope abundance. *Plant Soil*, 155/156:399-402, 1993.
- LIANG, B.C.; GREGORICH, E.G. & MACKENZIE, A.F. Modelling the effects of organic and inorganic amendments on organic matter in a Quebec soil. *Soil Sci.*, 161:1-6, 1995.
- LYON, D.J.; MONZ, C.A.; BROWN, R.E. & METHERELL, A.K. Soil organic matter changes over two decades of winter wheat-fallow cropping in western Nebraska. In: PAUL, E.A.; PAUSTIAN, K.A.; ELLIOT, E.T. & COLE, C.V., eds. *Soil organic matter in temperate agroecosystems*. Lewis Publishers, Boca Raton, FL, EUA, 1996. p.343-351.
- MACHADO, P.L.O. de A. & SILVA, C.A. Soil management under no-tillage systems in the tropics with special reference to Brazil. *Nutrient Cycling Agroecosystems*. 61:119-130, 2001.
- MARCHIORI JÚNIOR, M. & MELO, W.J. Carbono, carbono da biomassa microbiana e atividade enzimática em um solo sob mata natural, pastagem e cultura do algodoeiro R. Bras. Ci. Solo, 23:257-263, 1999.

- MAZZARINO, M.J.; SZOTT, L. & JIMENEZ, M. Dynamics of soil total C and N, microbial biomass and water-soluble C in tropical agroecosystems. *Soil Biol. Biochem.*, 25:205-214,1993.
- MENDONÇA, E.S. Matéria orgânica e características químicas de agregados de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob mata natural, seringueira e pastagem. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1988. 78p (Tese de Mestrado).
- MENDONÇA, E.S. & ROWELL, R.L. Mineral and organic fractions of two oxisols and their influence on effective cation-exchangeable capacity. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 60:1888-1892, 1996.
- MENDONÇA, E.S.; SILVA, A.C.; MEDEIROS, M.L. & FONTES, M.P.F. Carbono orgânico extraído por soluções salinas y su relación con otras formas de carbono de suelos tropicales. *Agrociência*, 35:397-406, 2001.
- MERNES, F.J.V. Influência de sistemas de preparo em algumas propriedades químicas e físicas de um Podzólico Vermelho-Amarelo Câmbico, Argiloso, e na cultura do trigo (*Triticum aestivum* L.). Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1998. 81p. (Tese de Doutorado).
- MIELNICZUK, J. Matéria Orgânica e a sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: SANTOS, G.A. & CAMARGO, F.A.O., eds. *Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais*. Porto Alegre: Genesis, 1999. p27-40.
- MOSIER, A. R. Soil processes and global change. *Biol. Fertil. Soils*, 27:221-229, 1998.
- MOTAVALLI, P.P.; PALM, C.A.; PARTON, W.J.; ELLIOT, E.T. & FREY, S.D. Comparison of laboratory and modeling simulation methods for estimating soil carbon pools in tropical forest soils. *Soil Biol. Biochem.*, 26:935-944, 1994
- MUZILLI, O. Influência do sistema de plantio direto, comparado ao convencional, sobre a fertilidade da camada arável do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 7:95-102, 1983.
- NASCIMENTO, E.J. Dinâmica da matéria orgânica em um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, fase cerrado, submetido a diferentes sistemas de preparo do solo e rotação milho e soja. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1989. 69p (Tese de Mestrado).

- NEEDELMAN, B.A.; WANDER, M.M.; BOLLERO, G.A.; BOAST, C.W.; SIMS, G.K. & BULLOCK, D.G. Interaction of tillage and soil texture: biologically active soil organic matter in Illinois. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63:1326-1334, 1999.
- PAIVA, P.J.R.; VALE, F.R. do; FURTINI NETO, A.E. & FAQUIN, V. Acidificação de um Latossolo Roxo do estado de Paraná sob diferentes sistemas de manejo R. *Bras. Ci. Solo*, 20:71-75, 1996.
- PARFITT, R.L.; THENG, B.K.G.; WHITTON, J.S.; SHEPPERD, T.G. Effects of clay minerals and land use on organic matter pools. *Geoderma*, 75:1-15, 1997.
- PARTON, W.J.; SCHIMEL D.S.; COLE, C.V. & OJIMA, D.S. Analysis of factors controlling soil organic matter levels in great plains grasslands. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 51:1173-1179, 1987.
- PARTON, W.J.; SANFORD, R.L.; SANCHEZ, P.A. & STEWART, J.W.B. Modeling soil organic matter dynamics in tropical soils. In: COLEMAN, D.C.; OADES, J.M. & UEHARA, G., eds. *Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems*. University of Hawaii. 1989. p.153-170.
- PARTON, W.J.; SCURLOCK, A.S.; OJIMA, T.G.; GILLMANOV, R.J. & SCHOLES, D.S. Observations and modeling of biomass and soil organic matter dynamics for the grassland biome worldwide. *Global Biochem. Cycles*, 7:785:802, 1993.
- PAUL, E.A. Dynamics of organic matter in soils. *Plant Soil* 76, 275-285, 1984
- PAUSTIAN, K.; ANDRÉN, O.; JANZEN, H.H.; LAL, R.; SMITH, P.; TIAN, G.; TIESSEN, H.; Van NOORDWIJK, M. & WOOMER, P. Agricultural soils as a sink to mitigate CO<sub>2</sub> emissions. *Soil Use and Manag.*, 13:230-244, 1997a.
- PAUSTIAN, K.; COLLINS, H.P. & PAUL, E.A. Management controls on soil carbon. In: PAUL, E.A.; PAUSTIAN, K.; ELLIOT, E.T. & COLE, C.V., eds. *Soil organic matter in temperate agroecosystems, Long-term experiments in North America*. CRC Press, Boca Raton, FL., p15-49, 1997b.
- PAUSTIAN, R.; PARTON W. J. & PERSSON J. Modeling soil organic matter in organic-amended and nitrogen-fertilized long-term plots. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 56:476-488, 1992.

PETERSON, G.A.; HALVORSON, A.D.; HAVLIN, J.L.; JONES, O.R.; LYON, D.J. & TANAKA, D.L. Reduced tillage and increasing cropping intensity in the great plains conserves soil C. *Soil Till. Res.*, 47:207-218, 1998.

POST, W.M. Organic carbon in soil and the global carbon cycle. US Department of Energy. Carbon Dioxide Research Program, Atmospheric and Climate Research Division. 1992.

REICOSKY, D.C. & FORCELLA, F. Cover crop and soil quality interactions in agroecosystems. *J. Soil Water Conserv.*, 53:224-229, 1998.

REICOSKY, D.C. & LINDSTROM, M.J. Fall tillage method: effect on short-term carbon dioxide flux from soil. *Agron. J.*, 85:1237-1243, 1993.

SÁ, J.C.M de. Manejo da fertilidade do solo em plantio direto. In: PLANTIO DIRETO NO BRASIL. EMBRAPA-CNPT, 1993. p.37-60.

SÁ, J.C.M. de. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto. In: SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S.; LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.G.; FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A.E. & CARVALHO, J.G., eds. Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas. Viçosa: SBCS, Lavras: UFLA, 1999. 818p.

SAMPAIO, G.V. Efeito de sistemas de preparo do solo sobre o consórcio milho-feijão e sobre algumas propriedades físicas e químicas do solo. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1987. 121p. (Tese de Mestrado).

SCHAEFER, C.E.G.R.; SOUZA, C.M.; VALLEJOS, F.J.; VIANA, J.H.M.; GALVÃO, J.C.C. & RIBEIRO, L.M. Características da porosidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo submetido a diferentes sistemas de preparo do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 25:765-776, 2001.

SCHIMMEL, D.S. Terrestrial ecosystems and the carbon cycle. *Global Change Biology*. 1:77-91, 1995.

SCHOLES, M.C.; POLWSON, D. & TIAN G. Input control of organic matter dynamics. *Geoderma*, 79:25-47, 1997.

SCHOMBERG, H.H.; FORD, P.B. & HARGROVE, W.L. Influence of crop residue on nutrients cycling and soil chemical properties. In: UNGER, P.W., ed. *Managing agricultural residues*. Lewis Publ. Boca Raton, FL, 1994. p.99-122.

- SHANG, C. & TIESSEN H. Organic matter lability in a tropical oxisol: evidence from shifting cultivation, chemical oxidation, particle size, density, and magnetic fractionations. *Soil Sci.*, 162:795-807, 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.
- SIDIRAS, N.; VIEIRA, S.R. & ROTH, C.H. Determinação de algumas características físicas de um Latossolo Roxo distrófico sob plantio direto e preparo convencional. *R. Bras. Ci. Solo*, 8:265-268, 1984.
- SILVA, J.E. & RESCK, D.V.S. Matéria orgânica do solo. In: *Biologia dos solos do Cerrados*. VARGAS, M.A.T. & HUNGRIA M., eds. EMBRAPA-CPAC, 1997. p.465-524.
- SIQUEIRA, N.S.S. Efeito de sistemas de preparo do solo sobre a cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris*, L) e sobre algumas propriedades físicas e químicas do solo. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1989. 105p. (Tese de Mestrado).
- SIQUEIRA, N.S.S. Influência de sistemas de preparo sobre algumas propriedades químicas e físicas do solo e sobre a cultura do milho (*Zea mays* L.). Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1995. 78p. (Tese de Doutorado).
- SMITH, P.; FALLON, P.; COLEMAN, K.; SMITH, J.; PICCOLO M.; CERRI, C; BERNOUX, M.; JENKINSON, D.; INGRAM, J.; SZABO J. & PASZTOR, L. Modeling soil carbon dynamics in tropical ecosystems. *Advances in Soil Science*, 1-35, 1998.
- SMITH, W.N.; ROCHETE P.; MONREAL, C.; PATTEY E. & JAQUES, A. The rate of carbon change in agricultural soils in Canada at the landscape level. *Can. J Soil Sci.*, 77:219-229, 1997.
- SMITH, W.N.; DESJARDINS, R.L. & GRANT, B. Estimated changes in soil carbon associated with agricultural practices in Canada. *Can. J. Soil Sci.* 81: 221-227, 2001.
- SOHI S.; MAHIEU N.; ARAH J.R.M.; POLWSON D.S.P.; MADARI B. & GAUNT J.L. A procedure for isolating soil organic matter fractions suitable for modeling. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 65, 1121-1128, 2001.

- SPARLING, G.P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicator of changes in soil organic matter. *Aust. J. Soil Res.*, 30:195-207, 1992.
- SPARLING, G.P. & WEST, A.W. A direct extraction method to estimate soil microbial C:Calibration in situ using microbial respiration and <sup>14</sup>C labelled cells. *Soil Biol. Biochem.*, 20:337-343, 1988.
- STEVENSON, F.J. *Humus Chemistry*. New York, John Wiley & Sons, 1994. 496p.
- SWIFT, R.S. Organic matter characterization. In: SPARKS, D.L.; PAGE, A.L.; HELMKE, P.A.; LOEPPERT, R.H.; SOLTANPOUR, P.N; TABATABAI, M.A.; JOHNSTON, C.T. & SUMMER, M.E., eds. *Methods of soil analysis*. Madison: Soil Science Society of America / American Society of Agronomy, 1996. Part 3. Chemical methods. p.1011-1020 (Soil Science Society of America Book, Series 5).
- SYERS, J.K. & CRASWELL, E.T. Role of organic matter in sustainable agricultural systems. In: LEFROY, R.D.B.; BLAIR, G.J. & CRASWELL, E.T., eds. *Soil organic matter management for sustainable agriculture ACIAR Proceedings N.56*, Ubon, Thailand, ACIAR, Canberra, Australia, 1995. p.7-14.
- TIESSEN, H.; CUEVAS, E. & CHACON, P. The role of soil organic matter in sustaining soil fertility. *Nature*, 371:783-785, 1994.
- TIESSEN, H. & STEWART, J.W.B. Particle size fractions and their use in studies of soil organic matter: II. Cultivation effect on organic matter composition in size fractions. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 47:509-514, 1983.
- WANDER, M.M.; BIDART-BOUZAT, G. & AREF, S. Tillage impacts on depth distribution of total and particulate organic matter in three Illinois soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 62:1740-1711, 1998.
- WARDLE, D.A. Impacts of disturbance on detritus food webs in agroecosystems of contrasting tillage and weed management practices. In: BERGON, M. & FITTER, A.H., eds. *Advances in Ecological Research*, v.26. Academic press, New York, 1995. p105-185.
- WOOMER P.L.; MARTIM A.; ALBRECHT, A.; RESCK, D.V.S. & SCHARPENSEEL, H.W. The importance and management of soil organic matter in the tropics. In: WOOMER, P.L. & SWIFT, M.J., eds. *The biological management of tropical soil fertility*. Chichester, West Sussex, UK: John Wiley & Sons. 1994. p.47-80.

YANG, X.M. & KAY, B.D. Impacts of tillage practices on total, loose-and occluded-particulate, and humified organic carbon fractions in soils within a field in southern Ontario. *Can. J. Soil Sci.*, 81:149-156, 2001.

YANG, X.M. & WANDER, M.M. Tillage effects on soil organic carbon distribution and storage in a silt loam soil in Illinois. *Soil Till. Res.*, 52:1-9, 1999.

YEOMANS, J.C. & BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 19:1467-1476, 1988.

ZECH, W.; SENESI, N.; GUGGENBERGER G.; KAISER K.; LEHMANN, J.; MIANO, M.; MILTNER A. & SCHROTH G. Factors controlling humification and mineralization of soil organic matter in the tropics. *Geoderma*, 79:117-161, 1997.

## **CAPÍTULO 2**

### **ESTOQUES TOTAIS DE CARBONO E NITROGÊNIO E DE COMPARTIMENTOS DE CARBONO ORGÂNICO EM SISTEMAS DE ADUBAÇÃO ORGÂNICA E MINERAL E FLORESTA ATLÂNTICA**

#### **1. INTRODUÇÃO**

Como recurso renovável, a matéria orgânica do solo é tanto fonte quanto dreno de nutrientes (Duxbury, 1989). É material trocador de íon, que promove a formação ou dispersão de agregados, e portanto influencia as propriedades físicas do solo, além de ser substrato energético para os microrganismos do solo e para a macrofauna (Allison, 1973). Em solos de regiões temperadas e tropicais, o preparo do solo, a irrigação e os fertilizantes químicos, têm sido usados para complementar e até mesmo aumentar as funções da matéria orgânica do solo. Entretanto, os impactos ambientais negativos promovidos pelos fertilizantes e pesticidas utilizados em excesso, revelam a necessidade de se melhorar o conhecimento da matéria orgânica e seus compartimentos, visando diminuir efeitos colaterais da aplicação de insumos com simultâneo aperfeiçoamento dos critérios de recomendação. Além da influência da matéria orgânica na produtividade do solo, a acelerada decomposição em decorrência da utilização de sistemas convencionais de manejo, com a resultante perda de carbono para a atmosfera e a sua contribuição para o efeito estufa, tem se tornado um importante problema global (Fernandes et al., 1997).

O conteúdo de matéria orgânica do solo em qualquer agroecossistema, é determinado pela interação dos fatores que determinam a formação e aqueles que promovem a decomposição (Nye & Greenland, 1964). A hipótese mais aceita estabelece um declínio no conteúdo de matéria orgânica após a conversão de florestas nativas para sistemas agrícolas (Lungren, 1978; Detwiler, 1986; Houghton et al., 1991). Esta redução pode ser atribuída ao aumento da erosão do solo, processos mais acelerados de mineralização da matéria orgânica e oxidação de carbono (C) orgânico do solo, quantidades menores de aportes orgânicos e, ou, aportes orgânicos mais facilmente decompostos, em sistemas manejados comparativamente a florestas nativas. No entanto, em alguns sistemas manejados, o aumento no conteúdo de matéria orgânica tem

ocorrido, em face da maximização da produtividade das culturas e consequente aumento nos aportes da parte aérea e do sistema radicular ao solo (Lugo & Brown, 1993).

Portanto, é desejável manipular por meio de práticas de manejo, os fatores que regulam a síntese e decomposição da matéria orgânica, contribuindo para produtividade sustentável do ecossistema. Em sistemas agrícolas, as principais formas nas quais a dinâmica da matéria orgânica pode ser influenciada pelo manejo são delineadas por meio da seleção de sistemas de culturas e de preparo e pela adição de materiais orgânicos e fertilizantes químicos, que influenciam positivamente os processos biológicos de decomposição e mineralização (Nill & Nill, 1993; Fernandes et al., 1997).

A adição de materiais orgânicos é fundamental, caracterizando-se pela liberação gradativa de nutrientes, reduzindo processos como lixiviação, fixação e volatilização, dependendo no entanto, da taxa de decomposição, controlada pela temperatura, umidade, textura e mineralogia do solo, além da composição química do composto orgânico utilizado (Zech et al., 1997). Estudos recentes enfatizam a importância das características químicas para determinar a qualidade do aporte orgânico e a disponibilidade de nutrientes (Palm, 1995; Palm et al., 2001). Os percentuais de nitrogênio (N), lignina e polifenóis, e as relações C:N, lignina:N e polifenóis:N são os principais determinantes da composição química (Manfोगoya et al., 1997). Quanto ao uso de materiais orgânicos para aumentar os estoques de C orgânico do solo sob condições tropicais, são necessárias quantidades elevadas de adições anuais (Snapp et al., 1998). Aproximadamente 7 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de resíduos com alta relação C:N (raízes, galhos) ou 10 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de resíduos com baixa relação C:N (folhas de adubos verdes) são requeridos para manter o teor de C orgânico no solo em 1,0 dag kg<sup>-1</sup> (Janssen, 1993).

Por isso, o uso combinado de fertilizantes químicos e materiais orgânicos têm sido recomendado como importante sistema de manejo alternativo, possibilitando a manutenção de alta produtividade, com estabilidade, principalmente quando o material orgânico aplicado apresenta alta relação C:N, e altos conteúdos de lignina e polifenóis, e para regiões onde a recomendação de uso de fertilizante é disponibilizada (Babu et al., 1991; Fernandes et al., 1997).

Em sua maioria, os estudos sobre o efeito de sistemas de manejo evidenciam a pouca sensibilidade da medida do C orgânico total. Como alternativa, tem-se apontado o C da biomassa microbiana do solo, representando o compartimento ativo da matéria orgânica do solo, e a fração leve, referenciando o compartimento lento, como

indicadores mais sensíveis aos efeitos do manejo. Considerando um contínuo de sensibilidade ao manejo, numa extremidade teríamos as medidas de carbono da biomassa microbiana, bastante variável e sensível, e na outra, a medida do carbono orgânico do solo, pouco variável e sensível. A fração leve da matéria orgânica do solo tem se constituído numa medida de sensibilidade intermediária e, mais importante, que reflete as ações antrópicas (Cambardella & Elliot, 1992; Janzen et al., 1992; Six et al., 1998; Six et al., 2000).

Em condições tropicais, em que a dinâmica da matéria orgânica é relativamente rápida (Chander et al., 1997), são escassos os estudos que visem determinar os efeitos de sistemas de adubação mineral ou orgânica nos compartimentos da matéria orgânica do solo (Kanchikerimath & Singh, 2001). Os objetivos deste estudo foram: (a) quantificar o impacto de sistemas de adubação orgânica e mineral sobre os estoques totais de C e N e dos compartimentos de C orgânico; (b) estimar a contribuição destes sistemas na emissão ou seqüestro de CO<sub>2</sub> atmosférico.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Localização e descrição da área

O estudo está localizado na Estação Experimental da Universidade Federal de Viçosa, em Coimbra (20° 45' S, 42° 51' W e 700 m de altitude), na Zona da Mata mineira. A temperatura e a precipitação média anual são de 19°C e 1400 mm, respectivamente (Galvão, 1995).

A área originalmente sob vegetação natural até 1930, passou a ser cultivada subsequentemente por cerca de 50 anos com culturas de subsistência, como o milho e o feijão. O experimento iniciou-se em 1984, com a adequação da área visando à implantação dos sistemas de manejo. Durante o período experimental foram realizadas duas calagens com calcário dolomítico, para correção do solo. Procedeu-se o preparo do solo com aração, utilizando arado de disco reversível, sendo que a cada ano o tombamento da leiva era invertido em relação ao ano anterior, e uma gradagem com grade de disco convencional.

O solo da área é um Argissolo Vermelho-Amarelo fase terraço, muito argiloso. No início do experimento o solo apresentava na camada de 0-20 cm, pH (H<sub>2</sub>O) 5,9; Al<sup>+3</sup>, Ca<sup>+2</sup> e Mg<sup>+2</sup>, iguais a 0,0; 2,6 e 1,7 cmol<sub>c</sub>dm<sup>3</sup>, respectivamente; P e K disponíveis (Mehlich-1) iguais a 11 e 58 mg/dm<sup>3</sup>, respectivamente; e o teor de C orgânico igual a 2,3 dag kg<sup>-1</sup> (Walkley Black). A análise granulométrica revelou para os teores de areia grossa e areia fina, silte e argila, valores de 8 %, 6 % 16 % e 70 %, respectivamente (Galvão, 1995).

### 2.2. Procedimento experimental e tratamentos

O experimento consistiu na utilização de adubações orgânica e mineral contínuas em cultivos de milho exclusivo e consorciado com feijão, instalados em um arranjo fatorial com as parcelas dispostas seguindo um delineamento em blocos casualizados, constituído de doze tratamentos e quatro repetições. As unidades experimentais consistiram de oito sulcos de plantio, de oito metros de comprimento, espaçados entre si em um metro. A área total foi de 84 m<sup>2</sup> e a área útil de 12 m<sup>2</sup>, consistindo de quatro fileiras centrais, desprezados os 2,5 m das extremidades. As

parcelas e os respectivos tratamentos foram mantidos desde o início do experimento na mesma posição, para possibilitar a avaliação do efeito residual dos tratamentos.

Os tratamentos constaram de combinações entre dois sistemas de cultivo de milho (exclusivo e consorciado com feijão), com dois níveis (0 e 1) de composto orgânico nas doses de 0 e 40 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> e três níveis (0, 1 e 2) de adubo mineral nas doses de 0, 250 e 500 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 4-14-8. Em 16 anos, esta adubação química correspondeu à aplicação acumulada de 160, 560 e 320 kg ha<sup>-1</sup> de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O, respectivamente para a menor dose, 320, 1120 e 640 kg ha<sup>-1</sup>, para a maior dose. A adubação nitrogenada em cobertura foi efetuada no feijão das "águas" e no milho, tanto em cultivo exclusivo, quanto no consorciado, aos 20 e 45 dias após emergência, respectivamente. Foram realizadas as adubações de cobertura com sulfato de amônio, nas doses de 0, 50 e 100 kg ha<sup>-1</sup>, para o feijão das "águas" e de 0, 100 e 200 kg ha<sup>-1</sup> para o milho, de acordo com a adubação básica de plantio. Para os tratamentos que continham apenas adubo orgânico, não foi realizada a cobertura com adubo nitrogenado. O composto orgânico utilizado, feito de palhada de soja e feijão junto com esterco bovino, apresentou em média 380 g kg<sup>-1</sup> água, 0,36 g cm<sup>-3</sup> de densidade e teores de P, K, Ca, Mg e N de 0,7; 2,8; 1,0; 0,4 e 3,2 dag kg<sup>-1</sup>, respectivamente. A relação C:N do composto orgânico foi de 5. O composto orgânico e o adubo químico foram aplicados no sulco de plantio e incorporados com enxada.

No período das "águas", o plantio foi feito no início da estação chuvosa, no mês de outubro, em que o milho foi plantado em cultivo exclusivo e consorciado com feijão. Neste último, o plantio das duas espécies foi simultâneo e no mesmo sulco. Foram mantidos, em ambos sistemas de cultivo do milho, 40.000 plantas de milho/ha. No sistema consorciado foram mantidas 160.000 plantas de feijão por hectare. Na época "seca", o sistema de plantio foi o de substituição, com duas linhas de feijão plantadas entre as fileiras de milho, sem adubação. O feijão da "seca" foi plantado nas parcelas em que se realizou o cultivo do feijão das "águas", com uma população de 300.000 plantas por hectare.

Uma área sob Floresta Atlântica (FA), adjacente ao experimento (distante aproximadamente 100 metros), com mesmo tipo de solo, também foi estudada, utilizando-a como referência. Nesta área foi definido, no terço médio, um transecto de aproximadamente 100 metros no qual delimitaram-se 4 pequenas áreas, para obtenção das amostras.

### **2.3. Análises químicas e físicas do solo**

A amostragem do solo foi feita em abril de 2000. Nesta época, a colheita de grãos tinha sido recentemente realizada e os restos culturais estavam mantidos sobre o solo. Em cada unidade experimental coletaram-se 8 amostras de solo simples com um trado manual, para formar uma amostra composta por repetição, das camadas 0-10 e 10-20 cm. Para a área de Floresta Atlântica foram coletadas 15 amostras simples por área delimitada. As amostras foram destorroadas e passadas em peneira de malha de 2 mm, e uma porção (em torno de 100 g) foi separada e acondicionada sob sistema de refrigeração, com temperatura situada entre 4 e 8° C, visando a determinação da biomassa microbiana. Para as demais análises, as amostras de solo foram secas ao ar (TFSA). Os resultados das análises químicas e físicas dos sistemas estão nos Quadros 1 e 2, respectivamente.

#### **2.3.1. Análises químicas**

Foram determinados pH em água (1:2,5) por potenciometria, e acidez trocável ( $Al^{+3}$ ) extraída com KCl 1 mol L<sup>-1</sup> e quantificada por titulometria com hidróxido de sódio 0,025 mol L<sup>-1</sup>, padronizado com biftalato de potássio (Embrapa, 1997). O fósforo e o potássio foram extraídos com Mehlich 1 (Embrapa, 1997) e determinados por colorimetria (Braga & Defelipo, 1974) e fotometria de chama, respectivamente. Cálcio e magnésio foram extraídos com KCl 1 mol L<sup>-1</sup> e determinados por espectrofotometria de absorção atômica (Embrapa, 1997).

Para determinação dos teores de carbono orgânico total (COT), as amostras de solo foram trituradas em almofariz e passadas em peneira de malha 0,21 mm, quantificada por oxidação da matéria orgânica via úmida, empregando solução de dicromato de potássio em meio ácido, com fonte externa de calor (Yeomans & Bremner, 1988).

O fracionamento químico das substâncias húmicas foi realizado segundo a técnica da solubilidade diferencial, separando-se os ácidos fúlvicos (FAF), os ácidos húmicos (FAH) e as huminas (HUM), de acordo com os conceitos de frações húmicas estabelecidos pela Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas (Swift, 1996).

O extrator utilizado foi NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup>. A determinação do carbono dessas frações foi feita mediante oxidação por dicromato de potássio com aquecimento externo (Yeomans & Bremner, 1988).

O carbono orgânico lábil (C<sub>L</sub>) foi quantificado por meio de oxidação com KMnO<sub>4</sub> (33 mmol L<sup>-1</sup>), como proposto por Blair et al., (1995) e modificado por Shang & Tiessen (1997), enquanto que, o carbono não lábil (C<sub>NL</sub>), equivalente ao C não oxidado por KMnO<sub>4</sub> (33 mmol L<sup>-1</sup>), foi determinado por diferença (C<sub>NL</sub> = COT - C<sub>L</sub>). Com base nas mudanças no COT, entre um sistema referência e um sistema cultivado foi criado um Índice de Compartimento de Carbono (ICC), calculado como: ICC = COT<sub>cultivado</sub>/COT<sub>referência</sub>. Fundamentando-se nas mudanças na proporção de C<sub>L</sub> (i.e. L = C<sub>L</sub>/ C<sub>NL</sub>) no solo, um Índice de Labilidade (IL) foi determinado como : IL = L<sub>cultivado</sub>/L<sub>referência</sub>. Estes dois índices foram usados para calcular o Índice de Manejo de Carbono (IMC) obtido pela seguinte expressão: IMC = ICC x IL x 100 (Blair et al., 1995).

O nitrogênio total (NT) foi quantificado nas amostras de solo submetido à digestão sulfúrica e dosado por destilação Kjeldahl (Bremner & Mulvaney, 1982). A biomassa microbiana (C<sub>MIC</sub>) foi determinada pelo método da irradiação-extração, utilizando forno de microondas (Cônsul, frequência de 2450 MHz, energia a 900 W por 180 segundos). Neste método, a eliminação dos microrganismos é resultado da quantidade de irradiação eletromagnética aplicada, pois os níveis de irradiação têm efeito na transferência de energia e na temperatura, rompendo a parede celular e, conseqüentemente liberando o material citoplasmático para a solução do solo (Islam & Weil, 1998; Ferreira et al., 1999). O extrator utilizado foi K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,5 mol L<sup>-1</sup> e o carbono contido nos extratos foi quantificado por meio de procedimento por oxidação úmida (Yeomans & Bremner, 1988). O fator de conversão (K<sub>C</sub>) usado para converter o fluxo de C para C da biomassa microbiana foi 0,33 (Sparling & West, 1988). A proporção C<sub>MIC</sub>/COT ou quociente microbiano foi calculado para refletir os aportes de C e a conversão de substratos orgânicos para o C da biomassa microbiana (Sparling, 1992).

A fração leve foi determinada pelo procedimento de obtenção da fração leve-livre de Sohi et al. (2001). Em frascos de centrífuga de 50 mL, foram adicionados 5 g de TFSA e 35 mL de Iodeto de Sódio (NaI, densidade igual a 1,8 g cm<sup>-3</sup>). O frasco contendo a mistura foi agitado manualmente por 30 segundos, para permitir que as frações orgânicas não associadas aos componentes minerais atingissem a superfície da

suspensão. Em seguida, solo mais a solução de NaI foram centrifugados a 3200 rpm por 15 minutos, a fim de sedimentar as partículas minerais do solo no fundo do frasco, sendo posteriormente feita a aspiração da fração leve presente na superfície da solução de NaI. A fração leve aspirada juntamente com solução de NaI foi imediatamente separada por filtração a vácuo com filtros de fibra de vidro (47 mm de diâmetro; 2 microns-Whatman tipo GF/A), onde a solução de NaI coletada na filtragem foi retornada para o frasco de centrífuga contendo a amostra de solo remanescente. As amostras de fração leve retidas nos filtros foram cuidadosamente lavadas com água destilada visando eliminar o excesso de NaI. A fração leve juntamente com os filtros, foi seca a 105°C, pesada e moída. O carbono da fração leve ( $C_{FL}$ ), foi determinado por combustão via seca em analisador Perkin Elmer CHNS/O 2400.

Os estoques totais de C e N e dos compartimentos de C (em  $Mg\ ha^{-1}$ ) para cada profundidade, foram determinados pela expressão: teor de C ou N ( $dag\ kg^{-1}$ ) x  $ds$  x  $e$ , onde,  $ds$  = densidade do solo ( $Mg\ m^{-3}$ ) e;  $e$  = espessura da camada de solo (m).

### **2.3.2. Análises físicas**

A densidade do solo para cada profundidade e amostrada foi obtida por meio do método do anel volumétrico, e a análise granulométrica foi executada segundo método da pipeta (Embrapa, 1997).

### **2.4. Estimativa de emissão ou seqüestro de C-CO<sub>2</sub>**

Os estoques do COT no início do experimento ( $46\ Mg\ ha^{-1}$ ) e no ano 2000 foram usados para calcular a contribuição dos sistemas de manejo na emissão ou seqüestro de C-CO<sub>2</sub> pelo solo, na camada de 0-20 cm. O aporte de C por meio dos resíduos vegetais e do composto orgânico foram somados ao estoque inicial. No entanto, apenas 30% destes aportes foram considerados, pois, 70% do material orgânico adicionado ao solo são perdidos na forma de CO<sub>2</sub> (Kiehl, 1985). Além disto, foi considerado o fator de conversão de C para CO<sub>2</sub> de 3,67 (massa molar do CO<sub>2</sub>/massa molar do C) (Amado et al., 2001). O tempo de residência médio (TRM) foi calculado como o inverso da constante de decomposição ( $1/k$ ), assumindo que o C declina a partir do C da Floresta Atlântica ( $C_{FA}$ ) seguindo a equação  $C = C_{FA} e^{-kt}$ , em que  $t$  é o tempo em anos.

## 2.5. Análise Fitotécnica

A estimativa dos aportes médios anuais de C e N pelas culturas foi realizada com base nos resultados de produtividade apresentados por Galvão (1995), Bastos (1999) e Maia (1999). Esta estimativa considerou a contribuição apenas da parte aérea e foi calculada por meio da equação:

$$\text{Aporte de C (N)} = \frac{P(100-U)}{IC} \times \frac{C}{100} \text{ (N)}$$

Em que:

P = Produtividade da cultura (Mg ha<sup>-1</sup>)

U = Umidade no grão (%)

IC = Índice de colheita (%)

C (N) = Percentual de carbono (50%) ou nitrogênio (2%) no material vegetal

## 2.6. Análises Estatísticas

Apenas os dados de carbono e nitrogênio totais e dos compartimentos de carbono orgânico foram submetidos à análise estatística. A análise de variância foi feita considerando-se as camadas de 0-10, 10-20 e 0-20 cm, isoladamente, com auxílio do sistema computacional SAEG (FUNARBE, 1993).

**Quadro 1. Características químicas de um Argissolo Vermelho-Amarelo, nas camadas 0-10 e 10-20 cm, em função das adubações mineral e orgânica e em sistemas de cultivo exclusivo e consorciado**

Sistema	pH em água (1:2,5)					
		Al	Ca	Mg	K	P
		cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>			mg dm <sup>-3</sup>	
<b>0-10 cm</b>						
<b>FA</b>	5,64	0,14	0,97	0,36	134,0	3,85
<b>Exclusivo</b>						
0	5,88	0,07	0,83	0,27	80,7	4,5
AM1	5,62	0,18	0,80	0,24	85,3	5,8
AM2	5,25	0,23	0,76	0,19	82,7	11,1
AO	6,34	0,01	1,18	0,35	166,3	14,5
AM1+AO	6,15	0,03	1,22	0,33	159,0	26,0
AM2+AO	5,78	0,05	1,16	0,29	135,7	29,0
<b>ConSORCIADO</b>						
0	5,41	0,08	0,82	0,27	69,7	3,5
AM1	5,57	0,18	0,78	0,21	55,0	7,5
AM2	5,11	0,52	0,68	0,17	60,7	14,3
AO	6,30	0,03	1,12	0,33	167,3	14,5
AM1+AO	5,86	0,04	1,02	0,27	112,0	18,1
AM2+AO	5,81	0,04	1,12	0,28	147,3	27,3
<b>10-20cm</b>						
<b>FA</b>	5,33	0,35	0,53	0,29	81,5	2,5
<b>Exclusivo</b>						
0	5,84	0,06	0,82	0,27	54,7	3,3
AM1	5,59	0,17	0,79	0,25	50,0	4,9
AM2	5,26	0,23	0,72	0,18	71,0	9,6
AO	6,42	0,03	1,20	0,35	176,3	12,8
AM1+AO	6,16	0,05	1,23	0,33	176,0	24,5
AM2+AO	5,91	0,06	1,19	0,31	137,3	29,2
<b>ConSORCIADO</b>						
0	5,72	0,07	0,81	0,27	59,3	2,4
AM1	5,51	0,20	0,76	0,22	50,7	6,1
AM2	5,10	0,50	0,69	0,17	44,7	14,5
AO	6,28	0,03	1,15	0,34	168,0	14,0
AM1+AO	6,08	0,05	1,04	0,29	133,7	17,5
AM2+AO	5,97	0,05	1,12	0,28	166,7	26,9

0: testemunha; AM1: 250 kg ha<sup>-1</sup> de 4-14-8 + 20 kg N ha<sup>-1</sup> em cobertura; AM2: 500 kg ha<sup>-1</sup> de 4-14-8 + 40 kg em cobertura; AO: adubo orgânico, 40 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>; FA: Floresta Atlântica.

**Quadro 2. Características físicas de um Argissolo Vermelho-Amarelo, nas camadas 0-10 e 10-20 cm, em função das adubações mineral e orgânica e em sistemas de cultivo exclusivo e consorciado**

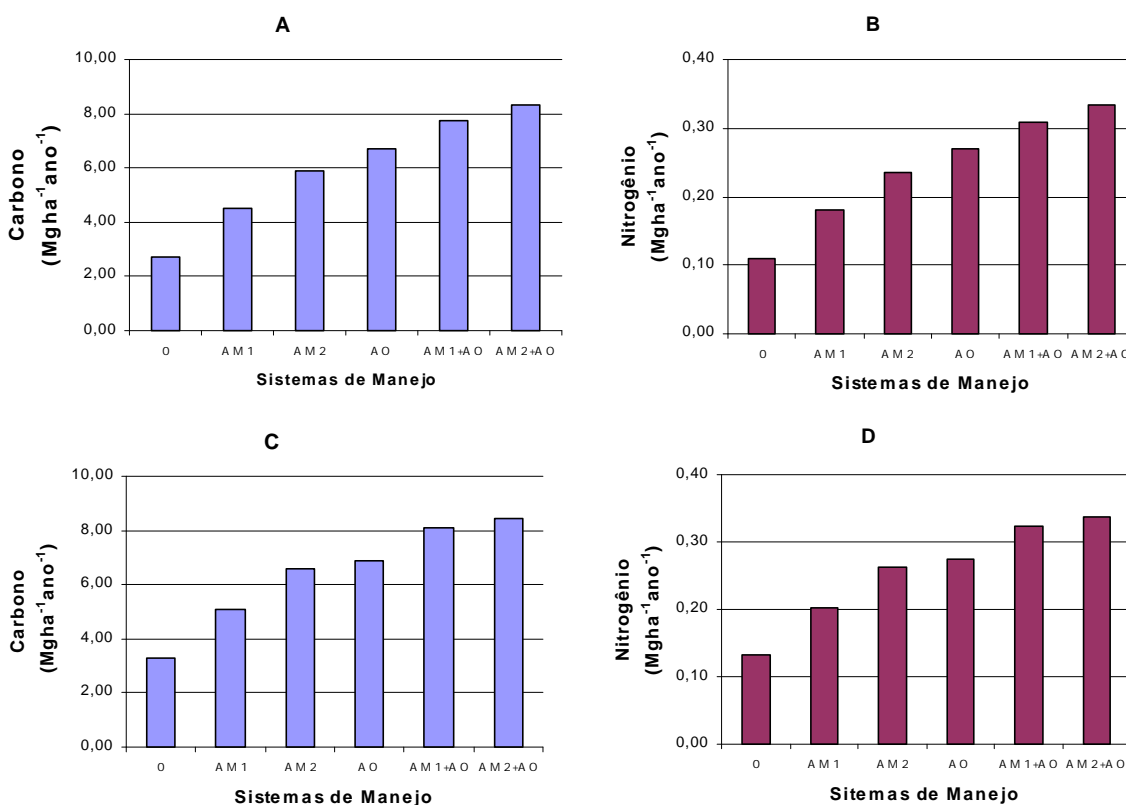
Sistema	Areia grossa	Areia fina	Silte		Argila	Densidade do solo Mg m <sup>-3</sup>
			dag kg <sup>-1</sup>			
<b>0-10 cm</b>						
<b>FA</b>	29,0	11,0	15,0		45,0	1,00
<b>Exclusivo</b>						
0	11,5	6,5	15,5		66,5	1,03
AM1	3,5	4,0	18,0		74,5	1,00
AM2	11,0	5,5	14,0		69,5	1,03
AO	4,5	5,0	16,5		74,0	1,05
AM1+AO	3,5	3,5	16,5		76,5	1,07
AM2+AO	11,0	6,0	13,5		69,5	1,06
<b>ConSORCIADO</b>						
0	5,0	4,0	19,0		72,0	1,06
AM1	3,5	3,0	13,5		80,0	1,07
AM2	7,5	5,5	17,0		70,0	1,06
AO	8,5	5,5	17,0		69,0	1,05
AM1+AO	11,5	6,5	16,0		66,0	1,05
AM2+AO	3,5	4,0	17,5		75,0	1,05
<b>10-20cm</b>						
<b>FA</b>	24,8	11,2	16,8		47,2	1,26
<b>Exclusivo</b>						
0	12,0	5,5	15,5		67,0	1,04
AM1	3,0	3,5	17,5		76,0	0,98
AM2	10,5	5,0	13,5		71,0	1,01
AO	5,5	4,5	15,0		75,0	1,04
AM1+AO	3,0	3,5	16,0		77,5	1,05
AM2+AO	10,5	5,5	15,5		68,5	1,04
<b>ConSORCIADO</b>						
0	4,0	4,0	19,5		72,5	1,04
AM1	3,0	4,0	19,5		73,5	1,04
AM2	6,5	4,5	19,5		69,5	1,04
AO	7,5	5,5	16,5		70,5	1,05
AM1+AO	10,0	6,0	16,5		67,5	1,05
AM2+AO	3,5	4,0	19,0		73,5	1,05

0: testemunha; AM1: 250 kg ha<sup>-1</sup> de 4-14-8 + 20 kg N ha<sup>-1</sup> em cobertura; AM2: 500 kg ha<sup>-1</sup> de 4-14-8 + 40 kg em cobertura; AO: adubo orgânico, 40 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>; FA: Floresta Atlântica.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Aporte de carbono e nitrogênio ao solo pela cultura do milho

Durante o período experimental foram observadas variações no aporte de C e N pela parte aérea da cultura do milho em função principalmente das condições climáticas (Galvão, 1995). Os cultivos exclusivo e consorciado apresentaram aportes similares. Na média dos dezesseis anos, os aportes anuais de C e N variaram de 2,7 (0) a 8,3 Mg ha<sup>-1</sup> (AM2+AO) de C e de 0,11 (0) a 0,33 Mg ha<sup>-1</sup> (AM2+AO) de N no cultivo exclusivo e de 3,29 (0) a 8,44 Mg ha<sup>-1</sup> (AM2+AO) de C e 0,13 (0) a 0,34 Mg ha<sup>-1</sup> (AM2+AO) de N no cultivo consorciado (Figura 1). Os sistemas com a presença da adubação orgânica combinada com adubação mineral apresentaram tendências para maiores valores de C e N, comparativamente aos sistemas sem a presença de adubação ou apenas com adubação mineral, similarmente ao observado por Kanchikerimath & Singh (2001) e isto refletiu nos teores de COT e NT no solo (Quadro 3).



**Figura 1. Aporte médio anual de carbono (C) e nitrogênio (N) pela parte aérea da cultura do milho em função das adubações mineral e orgânica nos sistemas exclusivo (A e B) e consorciado (C e D). Média de 16 anos. 0: testemunha; AM1: 250 kg ha<sup>-1</sup> de 4-14-8 + 20 kg N ha<sup>-1</sup> em cobertura; AM2: 500 kg ha<sup>-1</sup> de 4-14-8 + 40 kg N ha<sup>-1</sup> em cobertura; AO: adubo orgânico, 40 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>.**

### 3.2. Teores e estoques totais de carbono e nitrogênio após 16 anos

Os teores de carbono orgânico total (COT) nos solos sob sistemas de cultivo exclusivo e consorciado não diferiram estatisticamente nas camadas de 0-10, 10-20 e 0-20 cm (Quadro 3). No cultivo exclusivo, os sistemas com adubação orgânica apresentaram maiores teores de COT ( $P < 0,05$ ) do que os sistemas sem adubação ou apenas com adubação mineral. Na camada de 0-10 cm, os teores oscilaram entre 1,83 (0) e 2,48 dag kg<sup>-1</sup> (AM1+AO) e na camada de 10-20 cm, entre 1,73 (0) e 2,36 dag kg<sup>-1</sup> (AM1+AO). Os teores de nitrogênio total (NT) apresentaram tendência similar ao COT, variando de 0,15 (0) a 0,20 dag kg<sup>-1</sup> (AM1+AO e AM2+AO), na camada superficial e de 0,15 (0) a 0,19 dag kg<sup>-1</sup> (AM1+AO) na camada mais profunda. No cultivo consorciado, apenas o sistema AM2+AO (2,38 e 2,27 dag kg<sup>-1</sup>) foi maior ( $P < 0,05$ ) do que o sistema AM2 (2,16 e 1,94 dag kg<sup>-1</sup>), nas camadas de 0-10 e 10-20 cm, respectivamente (Quadro 3). O aumento nos teores de COT e NT nos sistemas que receberam adubação orgânica está relacionado ao maior aporte de resíduos vegetais retornado ao solo, como observado em diversos estudos (Omay et al., 1997; Paustian et al., 1997; Kanchikerimath & Singh, 2001) e a aplicação de 1,4 Mg C ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> por meio do composto orgânico, similarmente ao constatado por Batjes (1999). Assim, embora a adubação orgânica tenha aumentado significativamente os teores de COT, parte deste aumento reflete apenas o C importado de outro compartimento.

Após 16 anos de cultivo, todas as estratégias de manejo resultaram em redução nos estoques de COT em relação à FA, indicando a susceptibilidade da oxidação do COT dos solos sob vegetação natural, quando estes são submetidos à agricultura. Na camada de 0-20 cm, os estoques de COT foram reduzidos em 42, 38, 37, 25, 20 e 22 % para 0, AM1, AM2, AO, AM1+AO e AM2+AO, respectivamente, no cultivo exclusivo. No cultivo consorciado, as reduções nos estoques de COT em relação à FA foram de 29, 31, 33, 26, 27, 24 % para 0, AM1, AM2, AO, AM1+AO e AM2+AO, respectivamente (Quadro 4). Com exceção do sistema 0, todos os outros sistemas apresentaram redução nos estoques de COT comparado à FA menor do que o percentual de 40 % estimado por Scholes et al. (1997) para solos tropicais.

As menores perdas de COT foram observadas nos sistemas com a presença da adubação orgânica, de forma similar aos resultados obtidos nos experimentos clássicos de Rothamsted (Jenkinson, 1991) e em experimentos de longa duração (26 anos) no Quênia (Kapkiyai et al., 1999) e na Índia (Biswas & Benbi, 1997; Kanchikerimath &

Singh, 2001), indicando maior resiliência destes sistemas. O tempo de residência médio (TRM) do C, maior nos sistemas com adubação orgânica do que nos sistemas apenas com adubação mineral ou sem adubação nos cultivos exclusivo e consorciado confirma esta tendência (Quadro 5).

A perda de COT nos sistemas agrícolas é devido à intensificação da atividade biológica provocada pelo revolvimento do solo, pela correção da acidez e pela adubação, o que cria um ambiente mais favorável à ação dos microrganismos, em razão do incremento do teor de água em profundidade, das melhores condições de arejamento e da disponibilidade de nutrientes (Paustian et al., 1997). Os estoques de NT também foram maiores no solo sob FA comparado ao solo sob os sistemas de manejo. Na camada de 0-20 cm, as perdas de NT variaram de 37 (0) a 15,4 % (AM1+AO) e de 35 (AM2) a 12 % (AM2+AO), nos cultivos exclusivo e consorciado, respectivamente, significando, de forma semelhante ao COT, menores perdas para os sistemas com a presença da adubação orgânica.

Na camada de 0-10 cm, a relação C/N variou de 11,8 (AO) a 13,2 (AM1 e AM2), no sistema exclusivo e de 11,6 (AM2+AO) a 13,6 (0), no sistema consorciado, o que indica menores valores para os sistemas com a presença da adubação orgânica, devido provavelmente à relação 5:1 do composto orgânico incorporado anualmente. Na camada 10-20 cm, os sistemas 0 e AM1 apresentaram as menores relações C/N (11,8 e 11,6, respectivamente) no cultivo exclusivo, enquanto que no cultivo consorciado, a tendência foi similar à da camada superficial.

**Quadro 3. Teores totais de carbono orgânico (COT) e nitrogênio (NT), nas camadas 0-10, 10-20 e 0-20 cm, de um Argissolo Vermelho-Amarelo, em função das adubações mineral e orgânica e em sistemas de cultivo exclusivo e consorciado**

Adubo mineral	Adubo orgânico		Média	Adubo orgânico		Média
	0	AO		0	AO	
	COT (dag kg <sup>-1</sup> )			NT (dag kg <sup>-1</sup> )		
<b>0-10 cm</b>						
<b>Exclusivo</b>						
0	1,83 b <sup>(1)</sup>	2,40 a	2,12	0,15 b	0,19 a	0,17
AM1	2,16 b	2,48 a	2,32	0,16 b	0,20 a	0,18
AM2	2,00 b	2,43 a	2,22	0,15 b	0,20 a	0,17
Média	-	-	2,22 A <sup>(2)</sup>	-	-	0,17 A
Efeito linear	-	-	ns	-	-	ns
Efeito quadrático	-	-	*	-	-	ns
<b>Consoiciado</b>						
0	2,25 a	2,30 a	2,28	0,17 a	0,18 a	0,17
AM1	2,16 a	2,32 a	2,24	0,17 a	0,19 a	0,18
AM2	2,16 b	2,38 a	2,27	0,16 b	0,21 a	0,18
Média	-	-	2,26 A	-	-	0,18 A
Efeito linear	-	-	ns	-	-	ns
Efeito quadrático	-	-	ns	-	-	ns
<b>10-20 cm</b>						
<b>Exclusivo</b>						
0	1,73 b <sup>(1)</sup>	2,17 a	1,95	0,15 b	0,18 a	0,16
AM1	1,89 b	2,36 a	2,12	0,16 b	0,19 a	0,18
AM2	1,92 b	2,29 a	2,10	0,14 b	0,18 a	0,16
Média	-	-	2,06 A <sup>(2)</sup>	-	-	0,17 A
Efeito linear	-	-	ns	-	-	ns
Efeito quadrático	-	-	ns	-	-	*
<b>Consoiciado</b>						
0	2,17 a	2,21 a	1,95	0,15 b	0,18 a	0,16
AM1	2,02 a	2,15 a	2,09	0,15 b	0,17 a	0,16
AM2	1,94 b	2,27 a	2,11	0,14 b	0,20 a	0,17
Média	-	-	2,13 A	-	-	0,18 A
Efeito linear	-	-	ns	-	-	ns
Efeito quadrático	-	-	ns	-	-	ns
<b>0-20 cm</b>						
<b>Exclusivo</b>						
0	1,78 b <sup>(1)</sup>	2,29 a	2,04	0,15 b	0,18 a	0,17
AM1	2,02 b	2,42 a	2,23	0,16 b	0,19 a	0,18
AM2	1,96 b	2,36 a	2,16	0,15 b	0,19 a	0,17
Média	-	-	2,14 A <sup>(2)</sup>	-	-	0,17 A
Efeito linear	-	-	ns	-	-	ns
Efeito quadrático	-	-	ns	-	-	ns
<b>Consoiciado</b>						
0	2,21 a	2,26 a	2,23	0,16 a	0,18 a	0,17
AM1	2,09 a	2,24 a	2,16	0,16 b	0,18 a	0,17
AM2	2,05 b	2,33 a	2,19	0,15 b	0,20 a	0,18
Média	-	-	2,20 A <sup>(2)</sup>	-	-	0,17 A
Efeito linear	-	-	ns	-	-	ns
Efeito quadrático	-	-	ns	-	-	ns

<sup>(1)</sup> Médias seguidas de mesma letra minúscula, na linha, não diferem entre si ao nível de 5 % pelo teste F. <sup>(2)</sup> Médias seguidas de mesma letra maiúscula, na coluna para a mesma profundidade, não diferem entre si ao nível de 5 % pelo teste F. ns = não significativo pelo teste F a 5 %. \* e \*\* = Significativos, respectivamente, a 5 e 1 % pelo teste F. 0: testemunha; AM1: 250 kg ha<sup>-1</sup> de 4-14-8 + 20 kg N ha<sup>-1</sup> em cobertura; AM2: 500 kg ha<sup>-1</sup> de 4-14-8 + 40 kg N ha<sup>-1</sup> em cobertura; AO: 40 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>.

**Quadro 4. Estoques totais de carbono orgânico (COT) e nitrogênio (NT) e relação C/N, nas camadas 0-10, 10-20 e 0-20 cm, de um Argissolo Vermelho-Amarelo, em função das adubações mineral e orgânica e em sistemas de cultivo exclusivo e consorciado.**

Sistema	Massa do Solo	COT Mg ha <sup>-1</sup>		
			NT	C/N
<b>0-10 cm</b>				
<b>FA</b>	1000	35,00	2,59	13,5
<b>Exclusivo</b>				
0	1030	18,87	1,54	12,3
AM1	1000	21,65	1,64	13,2
AM2	1030	20,61	1,56	13,2
AO	1050	23,35	1,98	11,8
AM1+AO	1070	26,50	2,11	12,6
AM2+AO	1060	25,91	2,09	12,4
<b>ConSORCIADO</b>				
0	1040	23,43	1,73	13,5
AM1	1060	22,90	1,77	13,0
AM2	1070	23,07	1,73	13,3
AO	1060	24,40	1,94	12,6
AM1+AO	1030	24,39	1,95	12,5
AM2+AO	1050	25,02	2,15	11,6
<b>10-20 cm</b>				
<b>FA</b>	1260	27,21	2,19	12,4
<b>Exclusivo</b>				
0	1040	18,04	1,53	11,8
AM1	960	18,12	1,56	11,6
AM2	1010	19,38	1,44	13,4
AO	1040	22,72	1,86	12,2
AM1+AO	1050	24,81	2,02	12,3
AM2+AO	1060	24,14	1,95	12,4
<b>ConSORCIADO</b>				
0	1020	22,19	1,58	14,0
AM1	1040	21,00	1,53	13,7
AM2	1040	20,17	1,47	13,7
AO	1040	23,03	1,76	13,0
AM1+AO	1050	22,63	1,84	12,3
AM2+AO	1050	23,86	2,12	11,3
<b>0-20 cm</b>				
<b>FA</b>	2260	63,95	4,88	13,1
<b>Exclusivo</b>				
0	2070	36,92	3,07	12,0
AM1	1960	39,71	3,20	12,4
AM2	2040	39,98	3,01	13,3
AO	2090	48,06	3,84	12,5
AM1+AO	2120	51,30	4,13	12,4
AM2+AO	2120	50,05	4,04	12,4
<b>ConSORCIADO</b>				
0	2060	45,61	3,31	13,8
AM1	2100	43,88	3,29	13,3
AM2	2110	43,00	3,18	13,5
AO	2100	47,42	3,70	12,8
AM1+AO	2100	47,01	3,79	12,4
AM2+AO	2100	48,88	4,30	11,4

0: testemunha; AM1: 250 kg ha<sup>-1</sup> de 4-14-8 + 20 kg N ha<sup>-1</sup> em cobertura; AM2: 500 kg ha<sup>-1</sup> de 4-14-8 + 40 kg N ha<sup>-1</sup> em cobertura, AO: adubo orgânico, 40 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> FA: Floresta Atlântica.

### 3.3. Estimativa de emissão de C-CO<sub>2</sub> atmosférico pelos sistemas de manejo

Os estoques de C são determinados pelo balanço das entradas, como o aporte de resíduos vegetais e a aplicação de compostos orgânicos e as saídas, por meio da decomposição da matéria orgânica. Por isso, para se ter seqüestro de C-CO<sub>2</sub> é essencial o aumento das entradas de C, a diminuição da decomposição, ou ambos. Neste estudo, o aporte de C foi maior nos sistemas com adubação orgânica, o que poderia indicar potencial para seqüestro de C- CO<sub>2</sub> por parte destes sistemas.

No entanto, após 16 anos de cultivo, os sistemas com adubação orgânica emitiram em torno de 1,5 vezes mais C-CO<sub>2</sub> do que os sistemas sem a presença da adubação orgânica (Quadro 5). As maiores taxas de emissão de C-CO<sub>2</sub> foram observadas nos sistemas AM2+AO (9,82 Mg C-CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) e AM1+AO (10,24 Mg C-CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>) e as menores no sistema 0 (5,1 e 3,7 Mg C-CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>), nos cultivos exclusivo e consorciado, respectivamente.

O composto orgânico utilizado neste estudo, parcialmente constituído por esterco animal, apresenta alta proporção de materiais recalcitrantes, pois os compostos lábeis são seletivamente removidos no processo de digestão (Paustian e al., 1997). Por isso, nem todo ganho de COT, a partir das aplicações do composto representa remoção líquida de CO<sub>2</sub> atmosférico; a maioria é apenas uma redistribuição do C proveniente do material vegetal usado como forragem, indicando que a adubação orgânica não seqüestra C-CO<sub>2</sub> em solos, como pressuposto em alguns estudos (Smith et al., 1997; Swift, 2001) e preconizado no Protocolo de Quioto (artigo 3.3). Entretanto, por meio dos benefícios causados a fertilidade e estrutura do solo, as aplicações dos compostos orgânicos podem aumentar o rendimento das culturas e, portanto contribuir para ganhos de C a partir de maior aporte de resíduos vegetais.

**Quadro 5. Tempo de residência médio do C (TRM), estimativa de emissão de C-CO<sub>2</sub> e taxa anual de emissão de C-CO<sub>2</sub>, na camada de 0-20 cm de um Argissolo Vermelho-Amarelo, em função das adubações mineral e orgânica e em sistemas de cultivo exclusivo e consorciado, após 16 anos**

<b>Sistema</b>	<b>TRM</b>	<b>Emissão C – CO<sub>2</sub></b>	<b>Taxa C – CO<sub>2</sub></b>
	Anos	Mg ha <sup>-1</sup>	Mg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>
<b>Exclusivo</b>			
0	29	81,40	5,09
AM1	34	102,42	6,40
AM2	34	125,78	7,86
AO	56	136,14	8,51
AM1+AO	73	141,89	8,87
AM2+AO	65	157,18	9,82
<b>ConSORCIADO</b>			
0	47	59,30	3,71
AM1	42	97,36	6,08
AM2	40	126,95	7,93
AO	54	140,67	8,79
AM1+AO	52	163,78	10,24
AM2+AO	60	163,26	10,20

0: testemunha; AM1: 250 kg ha<sup>-1</sup> de 4-14-8 + 20 kg N ha<sup>-1</sup> em cobertura; AM2: 500 kg ha<sup>-1</sup> de 4-14-8 + 40 kg N ha<sup>-1</sup> em cobertura; AO: adubo orgânico, 40 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>.

### **3.4. Compartimentos de carbono orgânico total no solo em diferentes sistemas de manejo**

Os teores de carbono da biomassa microbiana (C<sub>MIC</sub>) foram maiores ( $P < 0,05$ ) no sistema consorciado do que no sistema exclusivo, nas camadas de 0-10 e 0-20 cm (Quadro 6). Isto pode estar associado ao maior aporte de C ao solo (Figura 1) e as condições mais favoráveis para decomposição dos resíduos vegetais, devido à menor relação C/N da leguminosa, corroborando com os trabalhos realizados por Collins et al., (1992), Fauci & Dick, (1994) e Vega-Corea, (1998). No cultivo exclusivo, não se observaram diferenças significativas entre os sistemas, contrariando diversos autores que constataram aumento na atividade e biomassa microbiana em sistemas sob adubação orgânica comparados a sistemas apenas com adubação mineral (Kirckner et al., 1993; Marinari et al. 2000; Kanchikerimath & Singh, 2001). No cultivo consorciado, a tendência foi similar, exceção feita aos teores observados na camada de 0-10 cm, em que o tratamento AM1 (0,050 dag kg<sup>-1</sup>) foi maior ( $P < 0,05$ ) do que o tratamento AM1+AO (0,038 dag kg<sup>-1</sup>) (Quadro 6). Os teores similares de C<sub>MIC</sub> entre os sistemas com adubação orgânica e adubação mineral, ou sem adubação, pode ser devido à recalcitrância do C no composto orgânico aplicado. A amostragem do C<sub>MIC</sub> foi feita após a colheita da cultura do milho e previamente a incorporação dos resíduos vegetais, o que pode indicar a ausência nos sistemas de manejo de elevada proporção de C facilmente disponível, que favorece o aumento da biomassa microbiana, conforme

constatado por Fauci & Dick, (1994), Six et al., (1998) e Kanchikerimath & Smith, (2001) em experimentos com adubação orgânica e mineral. Como os aportes de resíduos nos sistemas que receberam adubação orgânica foram maiores do que os sistemas apenas com adubação mineral, ou sem adubação, poder-se-ia estimar que avaliado em diversos períodos, o  $C_{MIC}$  provavelmente seria maior no sistema orgânico, similarmente ao constatado por Gunapala et al. (1998).

O carbono da fração leve ( $C_{FL}$ ) foi maior ( $P < 0,05$ ) nos sistemas com adubação orgânica do que nos sistemas apenas com adubação mineral ou sem adubação. Na camada de 0-10 cm, os maiores teores foram alcançados pelos sistemas AM1+AO e AM2+AO ( $0,19 \text{ dag kg}^{-1}$ ), no cultivo exclusivo e AO ( $0,20 \text{ dag kg}^{-1}$ ) no cultivo consorciado. Na camada de 10-20 cm, os sistemas AO, AM1+AO e AM2+AO, no cultivo exclusivo, apresentaram os maiores teores ( $0,16 \text{ dag kg}^{-1}$ ), enquanto que no consorciado, de forma similar à camada superficial, os maiores teores foram verificados no tratamento AO ( $0,18 \text{ dag kg}^{-1}$ ) (Quadro 6). Os maiores teores de  $C_{FL}$  nos sistemas com adubação orgânica provavelmente são decorrentes das maiores produtividades das culturas nestes sistemas (dados não mostrados), o que causa aumento no retorno para o solo de substratos orgânicos, por meio da parte aérea, raízes e exsudatos, em relação aos sistemas sem a presença de adubação orgânica, como preconizado por Wander et al., (1994) e Kapkiyai et al., (1999).

Os estoques de  $C_{MIC}$  nos sistemas 0, AM1, AM2, AO, AM1+AO, AM2+AO foram menores do que os da FA, em 67, 61, 60, 62, 48 e 47 %, no cultivo exclusivo, e em 55, 41, 51, 60, 55 e 52 %, no cultivo consorciado, respectivamente, na camada de 0-10 cm. Na camada 10-20 cm, as reduções em relação à FA foram de 60, 57, 52, 52, 51 e 40 %, no cultivo exclusivo, e de 51, 40, 38, 54, 43 e 46 % no cultivo consorciado (Quadro 7), o que pode estar relacionado, especialmente nos sistemas com adubação orgânica, ao longo período de manejo convencional, desde a derrubada da FA até o início do experimento. Estas perdas em relação à FA foram maiores do que aquelas observadas para o COT, mostrando que o  $C_{MIC}$  responde mais rapidamente às alterações nas práticas de manejo, e que pode ser considerado indicador de qualidade de solo (Gregorich et al., 1994; Kapkiyai et al., 1999; Haynes, 2000). Em modelos de simulação da dinâmica da matéria orgânica do solo, como o Century, o  $C_{MIC}$  é relacionado ao compartimento ativo e apresenta curto tempo de ciclagem que varia de 1 a 2 anos.

A proporção  $C_{MIC}/COT$  ou quociente microbiano, um indicador da disponibilidade da matéria orgânica para os microrganismos, foi maior no solo sob FA,

tanto na camada de 0-10 cm (2,6 %), quanto na camada de 10-20 cm (2,4 %). Nos sistemas de manejo a variação foi de 1,3 (AO) a 1,8 % (AM1+AO), no cultivo exclusivo e de 1,5 (AO), a 2,3 % (AM1), no cultivo consorciado, na camada de 0-10 cm. Na camada de 10-20 cm, a variação foi de 1,3 (AM1+AO) a 1,6 % (AM2+AO), no cultivo exclusivo e de 1,3 (AO) a 2,0 % (AM2) no cultivo consorciado (Quadro 7). Estes valores estão na mesma ordem de magnitude daqueles observados em diversos sistemas agrícolas (1-2 %), e variam em função do clima, pH, sistemas de cultura e de preparo, quantidade e qualidade do aporte de C (Castillo & Joergensen, 2001; von Lutzow et al., 2002). Na camada de 0-20 cm, o solo sob cultivo consorciado apresentou maiores quocientes microbianos do que o cultivo exclusivo, principalmente nos sistemas sem adubação orgânica. Alguns autores têm sugerido que as diferenças observadas nos quocientes microbianos entre solos sob cultivos exclusivos e consorciados ou sob rotação de culturas, podem ser devido à utilização mais eficiente de C pela comunidade microbiana, evidenciada pela menor taxa de respiração e uma maior afinidade para glucose pelos microrganismos do solo, nestes últimos sistemas (Anderson & Domsch, 1990; Witter & Kanal, 1998).

Os menores valores da proporção  $C_{MIC}/COT$  nos sistemas com adubação orgânica, contrariam os resultados observados em outros trabalhos (Franzluebbers et al., 1994; Witter & Kanal, 1998) e indica menor disponibilidade de substrato para os microrganismos nestes sistemas; porém, não esclarece se esta baixa disponibilidade foi resultado da qualidade do substrato, ou especificamente do composto orgânico aplicado, ou devido à formação de complexos organo-minerais, por meio do efeito protetor da argila (Oades, 1995, Castilho & Joergensen, 2001). No entanto, como o teor de argila é similar em todos os sistemas, a primeira explicação parece ser mais adequada. Apesar destas tendências, a proporção  $C_{MIC}/COT$  não se mostrou sensível sob as condições deste estudo.

As maiores perdas dos estoques de  $C_{FL}$  em relação à FA foram observadas nos sistemas sem a presença de adubação orgânica. Na camada de 0-10 cm, as reduções variaram de 83 (AO e AM1+AO) a 90 % (AM2), no cultivo exclusivo, e de 82 % (AO) a 89 % (0), no cultivo consorciado. Na camada de 10-20 cm, as perdas foram menores e oscilaram entre 66 % (AO, AM1+AO e AM2+AO) e 78 % (0), no cultivo exclusivo e entre 62% (AO) e 77 % (0), no cultivo consorciado (Quadro 7). Estes resultados indicam maior sensibilidade do  $C_{FL}$  às alterações nas práticas de manejo do que o COT e o  $C_{MIC}$ , concordando com outros estudos (Bremer et al., 1994; Alvarez et al., 1998;

Haynes, 2000) e ressaltam a sua importância na avaliação da degradação da matéria orgânica do solo. A rápida mineralização do  $C_{FL}$  é provavelmente devido à natureza lábil dos seus constituintes e a falta de proteção física por meio dos agregados. Os estoques maiores de  $C_{FL}$  verificados na FA podem estar relacionados ao maior aporte de resíduos verificados em sistemas naturais (Fernandes et al., 1997), a qualidade destes resíduos e a maior reciclagem do sistema radicular, especialmente das raízes finas (Six et al., 1998).

O  $C_{FL}$  representou de 5,9 (AM2) a 7,9 % (AO) do COT, no sistema de cultivo exclusivo e de 5,6 (0) a 8,8 % (AO) no sistema consorciado, na camada de 0-10 cm. Na camada de 10-20 cm, a tendência foi similar à camada superficial, e a proporção do  $C_{FL}$  no COT foi de 5,6 (AM2) a 7,4 % (AO) no sistema consorciado e de 5,1 (0) a 8,1 % (AO), no sistema consorciado (Quadro 7). Estas proporções de  $C_{FL}$  estão na mesma faixa dos resultados de diversos estudos em solos tropicais (Fernandes et al., 1997). De forma contrária ao quociente microbiano, os maiores percentuais do  $C_{FL}$  no COT foram observados nos sistemas com adubação orgânica o que está associado ao maior aporte de resíduos vegetais verificados nestes sistemas. A proporção de  $C_{FL}$  no COT na FA foi cerca de 5 e 3 vezes aquela obtida pelos sistemas de manejo, nas camadas de 0-10 e 10-20 cm, respectivamente. No entanto, o  $C_{FL}$  é um compartimento transitório que se situa entre os resíduos vegetais e a matéria orgânica humificada e seu tamanho em relação ao COT depende da época de aplicação dos resíduos vegetais e de sua taxa de decomposição (Gregorich & Janzen, 1996). No modelo Century, o  $C_{FL}$  ou a matéria orgânica particulada, constituem o compartimento lento, com ciclagem intermediária entre o compartimento ativo ( $C_{MIC}$ ) e o compartimento passivo. Os valores da proporção  $C_{MIC}/C_{FL}$  foram maiores nos sistemas sem a presença da adubação orgânica em todas as camadas, o que sugere maior requerimento de substrato por parte dos microrganismos destes sistemas (Quadro 7).

**Quadro 6. Carbono da biomassa microbiana ( $C_{MIC}$ ) e carbono da fração leve ( $C_{FL}$ ), nas camadas 0-10, 10-20 cm e 0-20 cm, de um Argissolo Vermelho-Amarelo em função das adubações mineral e orgânica e em sistemas de cultivo exclusivo e consorciado**

adubo mineral	adubo orgânico		Média	adubo orgânico		Média
	0	AO		0	AO	
	$C_{MIC}$ (dag kg <sup>-1</sup> )			$C_{FL}$ (dag kg <sup>-1</sup> )		
<b>0-10 cm</b>						
<b>Exclusivo</b>						
0	0,03 a	0,03 a	0,03	0,13 b <sup>(1)</sup>	0,19 a	0,16
AM1	0,03 a	0,04 a	0,04	0,13 b	0,19 a	0,16
AM2	0,03 a	0,04 a	0,04	0,12 b	0,18 a	0,15
Média	-	-	0,03 B	-	-	0,16 A <sup>(2)</sup>
Efeito linear	-	-	*	-	-	ns
Efeito quadrático	-	-	*	-	-	ns
<b>ConSORCIADO</b>						
0	0,04 a	0,03 a	0,03	0,13 b	0,20 a	0,16
AM1	0,05 a	0,04 b	0,04	0,13 a	0,17 a	0,15
AM2	0,04 a	0,04 a	0,04	0,14 b	0,18 a	0,16
Média	-	-	0,04 A	-	-	0,16 A
Efeito linear	-	-	ns	-	-	ns
Efeito quadrático	-	-	ns	-	-	ns
<b>10-20 cm</b>						
<b>Exclusivo</b>						
0	0,02 a	0,03 a	0,03	0,10 b <sup>(1)</sup>	0,16 a	0,13
AM1	0,03 a	0,03 a	0,03	0,13 a	0,16 a	0,14
AM2	0,03 a	0,04 a	0,03	0,11 b	0,16 a	0,13
Média	-	-	0,03 A	-	-	0,14 A <sup>(2)</sup>
Efeito linear	-	-	ns	-	-	ns
Efeito quadrático	-	-	ns	-	-	ns
<b>ConSORCIADO</b>						
0	0,03 a	0,03a	0,03	0,11 b	0,18 a	0,14
AM1	0,04 a	0,03 a	0,04	0,11 b	0,17 a	0,14
AM2	0,04 a	0,03 a	0,04	0,13 b	0,17 a	0,15
Média	-	-	0,03 A	-	-	0,14 A
Efeito linear	-	-	ns	-	-	ns
Efeito quadrático	-	-	ns	-	-	ns
<b>0-20 cm</b>						
<b>Exclusivo</b>						
0	0,03 a	0,03 a	0,03	0,12 b <sup>(1)</sup>	0,18 a	0,15
AM1	0,03 a	0,04 a	0,03	0,13 b	0,18 a	0,15
AM2	0,03 a	0,04 a	0,03	0,11 b	0,17 a	0,14
Média	-	-	0,03 B	-	-	0,15 A <sup>(2)</sup>
Efeito linear	-	-	*	-	-	ns
Efeito quadrático	-	-	ns	-	-	ns
<b>ConSORCIADO</b>						
0	0,03 a	0,03 a	0,03	0,12 b	0,19 a	0,15
AM1	0,04 a	0,04 a	0,04	0,12 b	0,17 a	0,15
AM2	0,04 a	0,04 a	0,04	0,13 b	0,18 a	0,15
Média	-	-	0,04 A	-	-	0,15 A
Efeito linear	-	-	ns	-	-	ns
Efeito quadrático	-	-	ns	-	-	ns

<sup>(1)</sup> Médias seguidas de mesma letra minúscula, na linha, não diferem entre si ao nível de 5 % pelo teste F. <sup>(2)</sup> Médias seguidas de mesma letra maiúscula, na coluna para a mesma profundidade, não diferem entre si ao nível de 5 % pelo teste F. ns = não significativo pelo teste F a 5 %. \* e \*\* = Significativos, respectivamente, a 5 e 1 % pelo teste F. 0: testemunha; AM1: 250 kg ha<sup>-1</sup> de 4-14-8 + 20 kg N ha<sup>-1</sup> em cobertura; AM2: 500 kg ha<sup>-1</sup> de 4-14-8 + 40 kg N ha<sup>-1</sup> em cobertura; AO: 40 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>.

**Quadro 7. Estoques de carbono da biomassa microbiana ( $C_{MIC}$ ), carbono da fração leve ( $C_{FL}$ ), proporção de carbono da biomassa microbiana no carbono orgânico total ( $C_{MIC}/COT$ ), proporção do carbono da fração leve no carbono orgânico total ( $C_{FL}/COT$ ) e proporção do carbono da biomassa microbiana no carbono da fração leve ( $C_{MIC}/C_{FL}$ ), nas camadas 0-10, 10-20 e 0-20 cm, de um Argissolo Vermelho-Amarelo em função das adubações mineral e orgânica e em sistemas de cultivo exclusivo e consorciado**

Sistema	$C_{MIC}^{(a)}$	$C_{FL}^{(a)}$	$C_{MIC}/COT$	$C_{FL}/COT$	$C_{MIC}/C_{FL}$
	Mg ha <sup>-1</sup>		%		
<b>0-10 cm</b>					
<b>FA</b>	0,90	11,74	2,57	33,54	0,08
<b>Exclusivo</b>					
0	0,30	1,39	1,59	7,36	0,22
AM1	0,35	1,33	1,62	6,16	0,26
AM2	0,36	1,21	1,76	5,88	0,30
AO	0,34	1,99	1,33	7,85	0,17
AM1+AO	0,47	2,02	1,77	7,63	0,23
AM2+AO	0,42	1,89	1,60	7,30	0,22
<b>Consoiciado</b>					
0	0,40	1,31	1,71	5,57	0,31
AM1	0,53	1,40	2,31	6,11	0,38
AM2	0,44	1,47	1,90	6,38	0,30
AO	0,36	2,14	1,49	8,76	0,17
AM1+AO	0,40	1,81	1,64	7,40	0,22
AM2+AO	0,43	1,92	1,71	7,68	0,22
<b>10-20 cm</b>					
<b>FA</b>	0,65	5,02	2,36	18,47	0,13
<b>Exclusivo</b>					
0	0,26	1,09	1,46	6,07	0,24
AM1	0,28	1,24	1,54	6,84	0,22
AM2	0,31	1,08	1,61	5,58	0,29
AO	0,31	1,69	1,37	7,44	0,18
AM1+AO	0,32	1,69	1,31	6,80	0,19
AM2+AO	0,39	1,68	1,60	6,97	0,23
<b>Consoiciado</b>					
0	0,32	1,14	1,43	5,13	0,28
AM1	0,39	1,17	1,84	5,58	0,33
AM2	0,40	1,31	1,99	6,52	0,31
AO	0,30	1,87	1,32	8,11	0,16
AM1+AO	0,37	1,74	1,64	7,71	0,21
AM2+AO	0,35	1,78	1,47	7,48	0,19
<b>0-20 cm</b>					
<b>FA</b>	1,59	17,76	2,47	27,77	0,09
<b>Exclusivo</b>					
0	0,57	2,48	1,54	6,73	0,23
AM1	0,63	2,57	1,58	6,48	0,24
AM2	0,68	2,29	1,69	5,73	0,29
AO	0,65	3,68	1,35	7,76	0,18
AM1+AO	0,79	3,71	1,55	7,22	0,21
AM2+AO	0,80	3,57	1,60	7,14	0,22
<b>Consoiciado</b>					
0	0,72	2,44	1,57	5,35	0,29
AM1	0,91	2,57	2,08	5,86	0,35
AM2	0,84	2,77	1,95	6,45	0,30
AO	0,67	4,00	1,41	8,44	0,17
AM1+AO	0,77	3,55	1,64	7,55	0,22
AM2+AO	0,78	3,70	1,60	7,58	0,21

<sup>(a)</sup> Baseado na mesma massa de solo mostrada no Quadro 4. 0: testemunha; AM1: 250 kg ha<sup>-1</sup> de 4-14-8 + 20 kg N ha<sup>-1</sup> em cobertura; AM2: 500 kg ha<sup>-1</sup> de 4-14-8 + 40 kg N ha<sup>-1</sup> em cobertura; AO: adubo orgânico, 40 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>; FA: Floresta Atlântica.

No cultivo consorciado, os teores da fração ácidos fúlvicos (FAF) foram maiores ( $P < 0,05$ ) nos sistemas sem a presença da adubação orgânica, com exceção do sistema AM2 que não diferiu do AM2+AO, na camada de 0-10 cm (Quadro 8). Por outro lado, na camada de 10-20 cm, apenas o sistema AM1 foi maior ( $P < 0,05$ ) do que o sistema AM1+AO, similarmente ao observado por Rosales et al., (1999) neste mesmo experimento. Os maiores teores ( $P < 0,05$ ) da fração ácidos húmicos (FAH) no cultivo exclusivo foram observados nos sistemas com adubação orgânica e variaram de 0,19 (0) a 0,33 dag kg<sup>-1</sup> (AM2+AO), e de 0,18 (0) a 0,34 dag kg<sup>-1</sup> (AM2+AO), nas camadas de 0-10 e 10-20 cm, respectivamente. No cultivo consorciado, os efeitos do adubo orgânico não foram tão expressivos quanto no cultivo exclusivo, e apenas o sistema AM2+AO (0,37 dag kg<sup>-1</sup>) foi maior ( $P < 0,05$ ) do que o sistema AM2 (0,27 dag kg<sup>-1</sup>), na camada de 0-10 cm. Nesta camada, os teores da FAH foram maiores ( $P < 0,05$ ) no sistema de cultivo consorciado comparado ao sistema exclusivo, corroborando com os resultados obtidos por Vega-Corea (1998). Em relação às doses de adubo mineral aplicado (0, 250 e 500 kg ha<sup>-1</sup>) observou-se efeito linear nos sistemas exclusivo ( $P < 0,01$ ) e consorciado ( $P < 0,05$ ), na camada de 0-10 cm. Nas camadas de 10-20 e 0-20 cm, o efeito linear foi observado apenas para o cultivo exclusivo ( $P=0,01$ ). Os teores da fração huminas (HUM) foram maiores ( $P < 0,05$ ) apenas no sistema AM2+AO comparado ao sistema AM2, nas camadas de 10-20 e 0-20 cm, no cultivo exclusivo (Quadro 8).

Os estoques da FAF nos sistemas de manejo foram menores do que os da FA. No cultivo exclusivo, a redução variou de 3,4 % (AM1+AO) a 19 % (AM2) e no consorciado de 4,5 % (0) a 23 % (AM1+AO), na camada de 0-10 cm. Na camada de 10-20 cm, o sistema AM1+AO, no cultivo exclusivo apresentou estoque da FAF (3,69 Mg ha<sup>-1</sup>) similar ao da FA (3,65 Mg ha<sup>-1</sup>), enquanto que os demais sistemas apresentaram reduções que oscilaram entre 6,5 % (AM2+AO) e 17 % (AM1). No cultivo consorciado os estoques da FAF foram reduzidos de 5,7 % (AM1) a 19 % (AO) (Quadro 9). Os sistemas que receberam adubação orgânica apresentaram os maiores estoques, e portanto as menores perdas, no cultivo exclusivo. Por outro lado, no cultivo consorciado, os sistemas sem a presença da adubação orgânica obtiveram os maiores estoques.

As diminuições nos estoques da FAH nos sistemas de manejo em relação à FA foram de maior magnitude do que aquelas demonstradas na FAF. Na camada de 0-10 cm, a menor redução observada no cultivo exclusivo foi no sistema AM2+AO (4,5 %) e a maior no sistema 0 (46 %). No cultivo consorciado, o estoque do sistema AM2+AO

(3,93 Mg ha<sup>-1</sup>) foi maior do que o obtido pela FA (3,7 Mg ha<sup>-1</sup>), enquanto que, os sistemas 0 e AM1+AO apresentaram a maior redução (27 %). Na camada 10-20 cm, no cultivo exclusivo, os sistemas AM1+AO (3,4 Mg ha<sup>-1</sup>) e AM2+AO (3,6 Mg ha<sup>-1</sup>) apresentaram estoques superiores à FA (3,15 Mg ha<sup>-1</sup>). Por outro lado, no sistema 0, foi observada a maior redução nos estoques da FAH (41 %). Os estoques da FAH nos sistemas sem a adubação orgânica diminuíram com aumento da profundidade, de forma oposta aos estoques nos sistemas com a presença da adubação orgânica, tanto no cultivo exclusivo quanto no consorciado.

No cultivo consorciado, nenhum dos sistemas apresentou estoques da FAH maiores do que à FA. As reduções variaram de 4,1 (AO) a 28 % (0) e de forma diferenciada a FAF, os sistemas com adubação orgânica foram aqueles que apresentaram as menores perdas da FAH em relação à FA. A proporção de COT na FAF foi maior do que na FAH, em todos sistemas e camadas estudadas, contrariamente ao constatado por Vega-Corea (1998) neste mesmo experimento.

De forma similar às FAF e FAH, a fração HUM apresentou menores estoques em relação à FA. Na camada de 0-10 cm, as maiores reduções foram de 34 % e observadas nos sistemas sem a presença de adubação orgânica, tanto no cultivo exclusivo (0 e AM2) quanto no consorciado (AM2). Por outro lado, na camada de 10-20 cm, esta tendência se repetiu apenas no cultivo exclusivo, em que a maior redução foi observada no sistema AM2 (35 %). No cultivo consorciado, as perdas em relação à FA foram equivalentes entre os sistemas com e sem adubação orgânica, com exceção apenas do sistema AM2+AO que apresentou redução menos significativa (12 %) do que os demais. A diminuição dos estoques das frações FAF, FAH e HUM devido à mudança de vegetação natural para agricultura também foi observada por Ferreira (1997) e Longo & Espíndola (2000).

A fração HUM constituiu-se de cerca de 50 a 60 % do COT em ambos os cultivos, similarmente ao observado por Mendonça (1988), Coelho (1991) e Rosales et al., (1999), o que pode estar relacionado ao tamanho das moléculas e ao longo tempo de residência no solo, associados a esta fração. Por outro lado, as FAF e FAH, por possuírem menor estabilidade sofrem processos de movimentação no perfil, polimerização, ou mineralização, diminuindo sua composição percentual no solo. A proporção FAH/FAF foi maior no solo sob FA, do que no solo sob sistemas de manejo (Quadro 9). Em florestas naturais, sem perturbação do solo, há maior polimerização de compostos húmicos, aumentando a proporção da FAH em relação à FAF. Além disto, o

maior acúmulo de matéria orgânica do solo nestes sistemas naturais pode contribuir para aumento dos estoques de ácidos húmicos, por meio de um processo de herança de compostos da matéria orgânica fresca, de modo semelhante ao que ocorreria com a humina herdada, particularmente herança da lignina (Stevenson, 1994). Entre os sistemas de manejo, a aplicação do composto orgânico em cada cultivo favoreceu a maior proporção dos componentes de maior peso molecular, o que pode indicar a presença de matéria orgânica de maior estabilidade.

**Quadro 8. Carbono nas frações ácidos fúlvicos (FAF), ácidos húmicos (FAH) e huminas (HUM), nas camadas de 0-10, 10-20 e 0-20 cm, de um Argissolo Vermelho-Amarelo em função das adubações mineral e orgânica e em sistemas de cultivo exclusivo e consorciado**

Dose de adubo mineral	adubo orgânico		Média	adubo orgânico		Média	adubo orgânico		Média
	0	AO		0	AO		0	AO	
	FAF (dag kg <sup>-1</sup> )			FAH (dag kg <sup>-1</sup> )			HUM (dag kg <sup>-1</sup> )		
<b>0-10 cm</b>									
<b>Exclusivo</b>									
0	0,33 a <sup>(1)</sup>	0,31 a	0,32	0,19 b	0,25 a	0,22	1,18 a	1,43 a	1,30
AM1	0,32 a	0,34 a	0,33	0,24 a	0,30 a	0,27	1,27 a	1,45 a	1,36
AM22	0,30 a	0,31 a	0,30	0,25 b	0,33 a	0,29	1,16 a	1,36 a	1,26
Média	-	-	0,32 A <sup>(2)</sup>			0,26 B		-	1,31 A
Efeito linear	-	-	ns			**		-	ns
Efeito quadrático	-	-	ns			ns		-	ns
<b>Consoiciado</b>									
0	0,35 a	0,29 b	0,31	0,26 a	0,29 a	0,27	1,21 a	1,37 a	1,30
AM1	0,33 a	0,28 b	0,31	0,28 a	0,25 a	0,27	1,25 a	1,32 a	1,30
AM2	0,33 a	0,34 a	0,34	0,27 b	0,37 a	0,32	1,12 a	1,18 a	1,15
Média	-	-	0,32 A			0,29 A		-	1,24 A
Efeito linear	-	-	ns			*		-	ns
Efeito quadrático	-	-	ns			ns		-	ns
<b>10-20 cm</b>									
<b>Exclusivo</b>									
0	0,30 a <sup>(1)</sup>	0,31 a	0,30	0,18 b	0,27 a	0,22	1,14 a	1,35 a	1,25
AM1	0,32 a	0,35 a	0,33	0,23 b	0,32 a	0,28	1,22 a	1,29 a	1,26
AM2	0,31 a	0,32 a	0,32	0,24 b	0,34 a	0,29	1,01 b	1,35 a	1,18
Média	-	-	0,32 A <sup>(2)</sup>			0,26 A		-	1,23 A
Efeito linear	-	-	ns			**		-	ns
Efeito quadrático	-	-	ns			ns		-	ns
<b>Consoiciado</b>									
0	0,32 a	0,28 a	0,30	0,22 a	0,29 a	0,26	1,29 a	1,26 a	1,28
AM1	0,33 a	0,28 b	0,31	0,26 a	0,26 a	0,26	1,23 a	1,18 a	1,21
AM2	0,34 a	0,30 a	0,32	0,22 a	0,28 a	0,25	1,11 a	1,31 a	1,21
Média	-	-	0,31 A			0,25 A		-	1,23 A
Efeito linear	-	-	ns			ns		-	ns
Efeito quadrático	-	-	ns			ns		-	ns
<b>0-20 cm</b>									
<b>Exclusivo</b>									
0	0,31 a <sup>(1)</sup>	0,31 a	0,31	0,19 b	0,26 a	0,22	1,16 a	1,39 a	1,28
AM1	0,32 a	0,35 a	0,33	0,24 b	0,31 a	0,27	1,25 a	1,37 a	1,31
AM2	0,30 a	0,32 a	0,31	0,25 b	0,34 a	0,29	1,08 b	1,36 a	1,22
Média	-	-	0,32 A <sup>(2)</sup>			0,26 A		-	1,27 A
Efeito linear	-	-	ns			**		-	ns
Efeito quadrático	-	-	*			ns		-	ns
<b>Consoiciado</b>									
0	0,34 a	0,28 b	0,31	0,24 a	0,29 a	0,27	1,26 a	1,32 a	1,29
AM1	0,33 a	0,28 b	0,31	0,27 a	0,26 a	0,26	1,24 a	1,25 a	1,25
AM2	0,34 a	0,32 a	0,33	0,25 b	0,33 a	0,29	1,12 a	1,24 a	1,18
Média	-	-	0,31 A			0,27 A		-	1,24 A
Efeito linear	-	-	ns			ns		-	ns
Efeito quadrático	-	-	ns			ns		-	ns

<sup>(1)</sup> Médias seguidas de mesma letra minúscula, na linha, não diferem entre si ao nível de 5 % pelo teste F.

<sup>(2)</sup> Médias seguidas de mesma letra maiúscula, na coluna para a mesma profundidade, não diferem entre si ao nível de 5 % pelo teste F. ns = não significativo pelo teste F a 5 %. \* e \*\* = Significativos, respectivamente, a 5 e 1 % pelo teste F. 0: testemunha; AM1: 250 kg ha<sup>-1</sup> de 4-14-8 + 20 kg N ha<sup>-1</sup> em cobertura; AM2: 500 kg ha<sup>-1</sup> de 4-14-8 + 40 kg N ha<sup>-1</sup> em cobertura; AO: 40 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>.

**Quadro 9. Estoques de carbono nas frações ácidos fúlvicos (FAF), ácidos húmicos (FAH) e huminas (HUM), proporção destas frações no carbono orgânico total (COT) e proporção fração ácidos húmicos/ fração ácidos fúlvicos (FAH/FAF), nas camadas de 0-10, 10-20 e 0-20 cm, de um Argissolo Vermelho-Amarelo em função das adubações mineral e orgânica e em sistemas de cultivo exclusivo e consorciado**

Sistema	FAF <sup>(a)</sup>	FAH <sup>(a)</sup>	HUM <sup>(a)</sup>	S	FAF	FAH	HUM	S	FAH/FAF
	Mg ha <sup>-1</sup>				% COT				
<b>0-10 cm</b>									
<b>FA</b>	3,80	3,70	18,10	25,60	10,86	10,57	51,71	73,14	0,97
<b>Exclusivo</b>									
0	3,38	2,01	12,11	17,50	17,90	10,66	64,17	92,72	0,60
AM1	3,21	2,40	12,73	18,34	14,82	11,09	58,79	84,70	0,75
AM2	3,06	2,57	12,00	17,61	14,85	12,48	58,12	85,45	0,84
AO	3,31	2,69	15,14	21,15	13,06	10,63	59,75	83,44	0,81
AM1+AO	3,67	3,17	15,49	22,33	13,85	11,96	58,46	84,26	0,86
AM2+AO	3,27	3,53	14,51	21,32	12,63	13,64	56,00	82,27	1,08
<b>Consoiciado</b>									
0	3,63	2,70	12,67	19,01	15,48	11,58	54,09	81,14	0,75
AM1	3,58	2,94	13,27	19,79	15,65	12,84	57,95	86,44	0,82
AM2	3,59	2,91	11,98	18,48	15,54	12,60	51,93	80,07	0,81
AO	3,06	3,09	14,58	20,72	12,53	12,65	59,74	84,93	1,01
AM1+AO	2,90	2,70	13,84	19,42	11,91	10,99	56,74	79,65	0,92
AM2+AO	3,59	3,93	12,44	19,96	14,34	15,71	49,73	79,78	1,10
<b>10-20 cm</b>									
<b>FA</b>	3,65	3,15	15,62	22,43	13,41	11,58	57,41	82,43	0,97
<b>Exclusivo</b>									
0	3,14	1,86	11,91	16,91	17,40	10,31	66,02	93,73	0,59
AM1	3,04	2,24	11,73	17,01	16,80	12,35	64,72	93,87	0,74
AM2	3,14	2,51	10,17	15,82	16,21	12,94	52,45	81,60	0,80
AO	3,21	2,80	14,16	20,17	14,12	12,32	62,31	88,76	0,87
AM1+AO	3,69	3,38	13,54	20,61	14,89	13,63	54,56	83,08	0,92
AM2+AO	3,42	3,61	14,30	21,33	14,17	14,94	59,22	88,34	1,05
<b>Consoiciado</b>									
0	3,32	2,26	13,20	18,78	14,95	10,20	59,50	84,66	0,68
AM1	3,44	2,66	12,80	18,89	16,37	12,66	60,94	89,97	0,77
AM2	3,51	2,30	11,60	17,41	17,40	11,41	57,52	86,33	0,66
AO	2,96	3,02	13,14	19,12	12,85	13,11	57,03	82,99	1,02
AM1+AO	3,00	2,71	12,40	18,11	13,24	12,00	54,80	80,03	0,91
AM2+AO	3,17	2,95	13,71	19,84	13,30	12,38	57,46	83,14	0,93
<b>0-20 cm</b>									
<b>FA</b>	7,68	7,01	34,58	49,27	12,01	10,96	54,07	77,04	0,92
<b>Exclusivo</b>									
0	6,52	3,87	24,02	34,41	17,66	10,49	65,07	93,21	0,59
AM1	6,25	4,64	24,45	35,33	15,74	11,68	61,55	88,97	0,74
AM2	6,20	5,08	22,13	33,41	15,51	12,71	55,34	83,56	0,82
AO	6,52	5,49	29,30	41,31	13,57	11,43	60,96	85,97	0,84
AM1+AO	7,37	6,55	29,01	42,93	14,36	12,77	56,55	83,69	0,89
AM2+AO	6,70	7,14	28,81	42,65	13,38	14,27	57,56	85,21	1,07
<b>Consoiciado</b>									
0	6,94	4,97	25,88	37,80	15,22	10,90	56,75	82,87	0,72
AM1	7,02	5,59	26,06	38,68	16,00	12,75	59,40	88,14	0,80
AM2	7,06	5,18	23,47	35,71	16,42	12,03	54,58	83,03	0,73
AO	6,02	6,11	27,70	39,82	12,69	12,88	58,42	83,98	1,02
AM1+AO	5,90	5,40	26,24	37,53	12,55	11,48	55,81	79,83	0,91
AM2+AO	6,76	6,88	26,15	39,80	13,83	14,08	53,51	81,42	1,02

<sup>(a)</sup> Baseado na mesma massa de solo mostrada no Quadro 4. 0: testemunha; AM1: 250 kg ha<sup>-1</sup> de 4-14-8 + 20 kg N ha<sup>-1</sup> em cobertura; AM2: 500 kg ha<sup>-1</sup> de 4-14-8 + 40 kg N ha<sup>-1</sup> em cobertura; AO: adubação orgânica, 40m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>; FA: Floresta Atlântica.

Os teores de carbono lábil ( $C_L$ ) foram maiores ( $P < 0,05$ ) nos sistemas com a adubação orgânica. Nos cultivos exclusivo e consorciado, os maiores teores foram observados nos sistemas AO e AM2+AO ( $0,17 \text{ dag kg}^{-1}$ ), na camada de 0-10 cm. Na camada de 10-20 cm, os sistemas AM1+AO e AM2+AO ( $0,15 \text{ dag kg}^{-1}$ ) apresentaram os maiores teores no cultivo exclusivo, enquanto que no cultivo consorciado, o melhor resultado foi obtido pelo sistema AM2+AO ( $0,15 \text{ dag kg}^{-1}$ ) (Quadro 10). A manutenção dos teores de C do solo, especialmente as frações lábeis, é essencial à melhoria da qualidade do solo e sustentabilidade dos sistemas (Blair, 2000).

Os estoques de  $C_L$  na FA foram maiores do que nos sistemas agrícolas na camada de 0-10 cm, similarmente ao constatado por Hu et al. (1997). No cultivo exclusivo, a redução nos estoques de  $C_L$  em relação à FA foi de 49 e 19 % nos sistemas sem adubação orgânica (0, AM1 e AM2) e com adubação orgânica (AO, AM1+AO e AM2+AO), respectivamente. No cultivo consorciado, as reduções foram da mesma magnitude, sendo de 48 %, para os sistemas sem a presença de adubação orgânica e de 20 % para aqueles com a presença. Por outro lado, na camada de 10-20 cm, apenas os sistemas que não receberam a adubação orgânica apresentaram redução nos estoques de  $C_L$ , tanto no cultivo exclusivo (17 %), quanto no consorciado (13 %) (Quadro 11). Nos sistemas orgânicos, observou-se aumento médio dos estoques de  $C_L$  em relação à FA, de 29 e 22 % para os cultivos exclusivo e consorciado, respectivamente, diferenciando este compartimento do  $C_{MIC}$  e  $C_{FL}$  que apresentaram redução nos estoques em todas camadas e sistemas estudados. Os estoques de  $C_L$  declinam rapidamente, porém a recuperação destes estoques é similarmente acelerada, o que o torna indicador sensível da dinâmica do C no sistema (Whitbread et al., 2000).

O Índice de Manejo de Carbono (IMC) aumentou com a incorporação do composto orgânico (Quadro 11). Na camada de 0-20 cm, o IMC variou de 64 (AM1) a 103 (AO), no cultivo exclusivo e de 61 (0) a 106 (AM2+AO) no consorciado. Valores de IMC menores do que 100 são indicativos de impacto negativo das práticas de manejo sobre os teores da matéria orgânica e qualidade do solo (Blair et al., 1995). Assim, todos os sistemas estão contribuindo para redução dos estoques de COT na camada de 0-10 cm e aumento na camada de 10-20 cm. No entanto, os sistemas com a presença orgânica apresentam maior preservação dos estoques de COT.

**Quadro 10. Carbono lábil (C<sub>L</sub>) e carbono não lábil (C<sub>NL</sub>) nas camadas 0-10, 10-20 e 0-20 cm, de um Argissolo Vermelho-Amarelo em função das adubações mineral e orgânica e em sistemas de cultivo exclusivo e consorciado**

adubo mineral	adubo orgânico		Média	adubo orgânico		Média
	0	AO		0	AO	
	C <sub>L</sub> (dag kg <sup>-1</sup> )			C <sub>NL</sub> (dag kg <sup>-1</sup> )		
<b>0-10 cm</b>						
<b>Exclusivo</b>						
0	0,10 b	0,17 a	0,14	1,73 b	2,23 a	1,98
AM1	0,10 b	0,15 a	0,13	2,06 b	2,33 a	2,06
AM2	0,11 b	0,16 a	0,13	1,89 b	2,27 a	2,08
Média	-	-	0,13 A	-	-	2,04 A
Efeito linear	-	-	ns	ns	ns	
Efeito quadrático	-	-	ns	ns	ns	
<b>Consoiciado</b>						
0	0,09 b	0,16 a	0,13	2,16 b	2,14 a	2,15
AM1	0,11 b	0,15 a	0,13	2,05 b	2,17 a	2,11
AM2	0,10 b	0,17 a	0,14	2,05 b	2,21 a	2,13
Média	-	-	0,13 A	-	-	2,13 A
Efeito linear	-	-	ns	ns	ns	
Efeito quadrático	-	-	ns	ns	ns	
<b>10-20 cm</b>						
<b>Exclusivo</b>						
0	0,10 b	0,14 a	0,12	1,63 b	2,03 a	1,83
AM1	0,10 b	0,15 a	0,12	1,79 b	2,22 a	2,00
AM2	0,09 b	0,15 a	0,12	1,83 b	2,14 a	1,98
Média	-	-	0,12 A	-	-	1,94 A
Efeito linear	-	-	ns	ns	ns	
Efeito quadrático	-	-	ns	ns	ns	
<b>Consoiciado</b>						
0	0,10 b	0,13 a	0,12	2,08 a	2,08 a	2,08
AM1	0,09 b	0,13 a	0,11	1,92 b	2,02 a	1,97
AM2	0,10 b	0,15 a	0,12	1,84 b	2,13 a	1,98
Média	-	-	0,12 A	-	-	2,01 A
Efeito linear	-	-	ns	ns	ns	
Efeito quadrático	-	-	ns	ns	ns	
<b>0-20 cm</b>						
<b>Exclusivo</b>						
0	0,10 b	0,15 a	0,13	1,68 a	2,13 a	1,90
AM1	0,10 b	0,15 a	0,13	1,93 a	2,27 a	2,10
AM2	0,10 b	0,15 a	0,13	1,86 a	2,21 a	2,03
Média	-	-	0,13 A	-	-	2,01A
Efeito linear	-	-	ns	ns	ns	
Efeito quadrático	-	-	ns	ns	ns	
<b>Consoiciado</b>						
0	0,09 b	0,15 a	0,12	2,12 a	2,11 a	2,11
AM1	0,10 b	0,14 a	0,12	1,98 a	2,10 a	2,04
AM2	0,10 b	0,16 a	0,13	1,94 b	2,17 a	2,05
Média	-	-	0,12 A	-	-	2,07A
Efeito linear	-	-	ns	ns	ns	
Efeito quadrático	-	-	ns	ns	ns	

Médias seguidas de mesma letra minúscula, na linha, não diferem entre si ao nível de 5 % pelo teste F. <sup>(2)</sup> Médias seguidas de mesma letra maiúscula, na coluna para a mesma profundidade, não diferem entre si ao nível de 5 % pelo teste F. ns = não significativo pelo teste F a 5 %. \* e \*\* = Significativos, respectivamente, a 5 e 1 % pelo teste F. 0: testemunha; AM1: 250 kg ha<sup>-1</sup> de 4-14-8 + 20 kg N ha<sup>-1</sup> em cobertura; AM2: 500 kg ha<sup>-1</sup> de 4-14-8 + 40 kg N ha<sup>-1</sup> em cobertura; AO: 40 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>

**Quadro 11. Estoque de carbono lábil ( $C_L$ ) e de carbono não lábil ( $C_{NL}$ ), proporção do carbono lábil no carbono orgânico total ( $C_L/COT$ ) e Índice de Manejo de Carbono (IMC) nas camadas 0-10, 10-20 e 0-20 cm, de um Argissolo Vermelho-Amarelo em função das adubações mineral e orgânica e em sistemas de cultivo exclusivo e consorciado**

Sistema	$C_L$	$C_{NL}$	$C_L/COT$	Índices <sup>(a)</sup>			
				ICC	L	IL	IMC
	Mg ha <sup>-1</sup>		%				
				<b>0-10 cm</b>			
<b>FA</b>	2,10	32,90	6,00	-	0,06	-	-
<b>Exclusivo</b>							
0	1,06	17,81	5,62	0,52	0,06	0,93	49
AM1	1,02	20,63	4,73	0,62	0,05	0,78	48
AM2	1,12	19,49	5,42	0,57	0,06	0,90	51
AO	1,78	23,56	7,04	0,69	0,08	1,18	81
AM1+AO	1,62	24,89	6,10	0,71	0,06	1,01	72
AM2+AO	1,69	24,23	6,50	0,70	0,07	1,09	76
<b>Consoiciado</b>							
0	0,92	22,51	3,94	0,64	0,04	0,64	41
AM1	1,21	21,68	5,30	0,62	0,06	0,88	54
AM2	1,11	21,96	4,82	0,62	0,05	0,79	49
AO	1,73	22,67	7,09	0,66	0,08	1,19	78
AM1+AO	1,56	22,83	6,39	0,66	0,07	1,07	71
AM2+AO	1,79	23,23	7,16	0,68	0,08	1,20	82
				<b>10-20 cm</b>			
<b>FA</b>	1,18	26,08	4,34	-	0,04	-	-
<b>Exclusivo</b>							
0	1,10	16,94	6,09	0,80	0,06	1,44	116
AM1	0,95	17,17	5,24	0,87	0,05	1,23	107
AM2	0,88	18,50	4,55	0,89	0,05	1,06	94
AO	1,47	21,25	6,47	1,01	0,07	1,54	155
AM1+AO	1,55	23,26	6,26	1,09	0,07	1,48	162
AM2+AO	1,56	22,58	6,47	1,06	0,07	1,54	163
<b>Consoiciado</b>							
0	1,01	21,18	4,55	1,01	0,05	1,06	107
AM1	0,99	20,01	4,72	0,93	0,05	1,10	103
AM2	1,06	19,10	5,27	0,90	0,06	1,24	111
AO	1,38	21,66	5,98	1,03	0,06	1,41	145
AM1+AO	1,42	21,21	6,27	1,00	0,07	1,49	148
AM2+AO	1,54	22,32	6,46	1,05	0,07	1,53	161
				<b>0-20 cm</b>			
<b>FA</b>	3,43	60,17	5,36	-	0,06	-	-
<b>Exclusivo</b>							
0	2,16	34,76	5,85	0,63	0,06	1,09	69
AM1	1,97	37,74	4,97	0,72	0,05	0,92	66
AM2	2,00	37,99	5,00	0,69	0,05	0,92	64
AO	3,25	44,81	6,77	0,81	0,07	1,27	103
AM1+AO	3,17	48,13	6,18	0,86	0,07	1,16	99
AM2+AO	3,25	46,80	6,49	0,83	0,07	1,22	102
<b>Consoiciado</b>							
0	1,93	43,68	4,24	0,78	0,04	0,78	61
AM1	2,20	41,68	5,02	0,74	0,05	0,93	68
AM2	2,16	40,84	5,03	0,72	0,05	0,93	67
AO	3,10	44,32	6,55	0,80	0,07	1,23	98
AM1+AO	2,98	44,04	6,33	0,79	0,07	1,19	94
AM2+AO	3,33	45,55	6,82	0,82	0,07	1,28	106

0: testemunha; AM1: 250 kg ha<sup>-1</sup> de 4-14-8 + 20 kg N ha<sup>-1</sup> em cobertura; AM2: 500 kg ha<sup>-1</sup> de 4-14-8 + 40 kg N ha<sup>-1</sup> em cobertura; AO: adubo orgânico, 40 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>; FA: Floresta Atlântica <sup>(a)</sup> ICC- Índice de compartimento de carbono; L- Labilidade; IL- Índice de Labilidade

#### 4. CONCLUSÕES

Os estoques de carbono orgânico e nitrogênio total foram diminuídos após a mudança da Floresta Atlântica para a agricultura.

A presença da adubação orgânica aumentou os estoques de carbono orgânico e nitrogênio total, em relação aos sistemas com adubação mineral ou mesmo sem adubação, o que a coloca como uma estratégia de manejo importante à conservação e qualidade do solo.

Em decorrência da natureza dinâmica, os estoques de carbono da biomassa microbiana, do carbono da fração leve e do carbono lábil foram reduzidos com maior intensidade do que o carbono orgânico total nos sistemas agrícolas e por isso podem ser considerados indicadores mais sensíveis das mudanças no estado da matéria orgânica do solo.

Os sistemas com a presença da adubação orgânica não apresentaram potencial para seqüestro e emitiram as maiores quantidades de C-CO<sub>2</sub> para atmosfera. No entanto, a aplicação do composto orgânico é uma efetiva forma de reciclagem de nutrientes e retorno de C ao solo.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLISON, F.E. Soil organic matter and its role in crop production. Elsevier Amsterdã, 673p.

ALVAREZ, C.R.; ALVAREZ, R.; GRIGERA, M.S. & LAVADO, R.S. Associations between organic matter fractions and the active soil microbial biomass. Soil Biol. Biochem., 30: 767-773, 1998.

AMADO, T.J.C.; BAYER, C.; ELTZ, F.L.F. & BRUM, A.C.R. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. R. Bras. Ci. Solo. 25: 189-198, 2001.

ANDERSON, T.H. & DOMSCH, K.H. Application of ecophysiological quotients (qCO<sub>2</sub> and qD) on microbial biomasses from soils of different cropping histories. Soil Biol. Biochem., 22: 251-255, 1990.

BABU, S.C.; SUBRAMANIAN, S.R. & RAJASEKKERAN, B. Fertilizer and organic manure use under uncertainty: policy comparisons for irrigated and dryland farming systems in South India. *Agric. Syst.* 35: 89-102. 1991.

BASTOS, C.S. Sistemas de adubação em cultivo de milho exclusivo e consorciado com feijão, afetando a produção, estado nutricional e incidência de insetos fitófagos e inimigos naturais. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 117p (Tese de Mestrado).

BATJES, N.H. Management options for reducing CO<sub>2</sub>-concentrations in the atmosphere by increasing carbon sequestration in the soil. Report 410-200-031, Dutch National Research Programme on Global Air Pollution and Climate & Technical Paper 30, International Soil Reference and Information Centre. 1999. 114p.

BISWAS, C.R. & BENBI, D.K. Sustainable yield trends of irrigated maize and wheat in a long- term experiment on a loamy sand in semiarid India. *Nutrient Cycling Agroecosystems*, 46: 225-234, 1997.

BLAIR N. Impact of cultivation and sugar-cane green trash management on carbon fractions and aggregate stability for a Chromic Luvisol in Queensland, Australia. *Soil Till. Res.* 55: 183-191, 2000.

BLAIR. G. J.; LEFROY, R. D. B. & LISLE, L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and development of a carbon management index for agricultural systems. *Aust. J. Agric. Res.* 46: 1459-1466, 1995.

BRAGA, J.M. & DEFELIPO, B.V. Determinação espectrofotométrica do fósforo em extratos de solos e plantas. *Rev. Ceres*, 21:73-85, 1974.

BREMER, E.; JANZEN, H.H. & JOHNSTON, A.M. Sensitivity of total, light-fraction and mineralizable organic matter to management practices in a Lethbridge soil. *Can. J. Soil Sci.*, 74:131-138, 1994.

BREMNER, J. M. & MULVANEY, C. S. Nitrogen total. In: PAGE, A. L., ed. *Methods of soil analysis*. Madison: American Society of Agronomy, 1982. p.595-624.

CAMBARDELLA, C.A. & ELLIOT, E.T. Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence *Soil Sci Soc. Am. J.*, 56:777-783.1992.

CASTILLO, X. & JOERGENSEN, R.G. Impact of ecological and conventional arable management system on chemical and biological soil quality indices in Nicaragua. *Soil Biol. Biochem.*, 33:1591-1597, 2001.

CHANDER, K.; GOYAL, S.; MUNDRA, M.C. & KAPOOR, K.K. Organic matter, microbial biomass and enzyme activity of soils under different crop rotations in the tropics. *Biol. Fertil. Soils*, 24:306-310, 1997.

COELHO, R.M. Influência da vinhaça, da fertilização mineral e do cultivo em características químicas da matéria orgânica e da fração mineral de um Latossolo Vermelho-Escuro. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1991. 84p (Tese de Mestrado).

COLLINS, H.P.; RASMUSSEN, P.E. & DOUGLAS Jr. C.L. Crop rotation and residue management effects on soil carbon and microbial dynamics. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 56:783-788, 1992.

DETWILER, R.P. Land use change and the global carbon cycle: the role of tropical soils. *Biogeochemistry*, 2:67-93, 1986.

DUXBURY, J. M.; SMITH, M. S. & DORAN, J. W. Soil organic matter as a source and sink of plant nutrients. In: *Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems*. COLEMAN, D. C.; OADES J. M. & UEHARA G., eds. University of Hawaii, 1989. p.33-67.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Manual de Métodos de Análise de Solo. Centro Nacional de Pesquisa de Solos - 2 ed. 1997. 212p.

FAUCI, M.F. & DICK, R.P. Soil microbial dynamics: short and long-term effects of inorganic and organic nitrogen. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 58: 801-806, 1994.

FERNANDES, E.C.; MOTAVALLI, P.P.; CASTILLA, C. & MUKURUMBIRA, L. Management control of soil organic matter dynamics in tropical land-use systems. *Geoderma* 79:49-67, 1997.

FERREIRA, A.S.; CAMARGO, F.A.O. & VIDOR, C. Utilização de microondas na avaliação da biomassa microbiana do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 23: 991-996, 1999.

FERREIRA, L.M. As interações entre a fração mineral e a fração orgânica em solos da região de Bauru-SP. São Paulo, Universidade de São Paulo, 1997. 217p. (Tese de Doutorado).

FRANZLUEBBERS, A.J.; HONS, F.M. & ZUBERER, D. Seasonal changes in soil microbial biomass and mineralizable C and N in wheat management systems. *Soil Biol. Biochem.* 26: 1469-1475, 1994.

FUNARBE. SAEG-Sistema para análise estatística v.5.0. Viçosa-MG, 1993.

GALVÃO, J.C.C. Características físicas e químicas do solo e produção de milho exclusivo e consorciado com feijão em função de adubações orgânica e mineral contínuas. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1995. 194p. (Tese de Doutorado).

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. *Can. J. Soil Sci.*, 74:367-385, 1994.

GREGORICH, E.G. & JANZEN, M.H. Storage of soil carbon in the light fraction and macro organic matter. In: CARTER, M.R. & STEWART, B.A., eds. *Advances in soil science. Structure and organic matter storage in agricultural soils.* CRC Lewis, Boca Raton, 1996. p.167-385.

GUNAPALA, N.; VENETTE, R.C.; FERRIS, H. & SCOW, K.M. Effects of soil management history on the rate of organic matter decomposition. *Soil Biol. Biochem.*, 30:1917-1927, 1998.

HAYNES, R.J. Labile organic matter as an indicator of soil organic matter quality in arable and pastoral soils in New Zealand. *Soil Biol. Biochem.*, 32:211-219, 2000.

HOUGHTON, R.A.; SKOLE, D.L. & LEFKOWITZ, D.S. Changes in the landscape of Latin America between 1850 and 1985. II Net release of CO<sub>2</sub> to the atmosphere. *For. Ecol. Manag.* 38:173-199, 1991.

HU, S.; COLEMAN, D.C.; CARROL, C.R.; HENDRIX, P.F. & BEARE, M.H. Labile soil carbon pools in subtropical forest and agricultural ecosystems as influenced by management practices and vegetation types. *Agric. Ecosys. Environ.*, 65:69-78, 1997.

ISLAM K. R. & WEIL, R. R. Microwave irradiation of soil for routine measurement of microbial biomass carbon. *Biol Fert. Soils.* 27: 408-416, 1998.

- JANSSEN, B.H. Integrated nutrient management: the use of organic and mineral fertilizers. In REULER, H.V. & PRINS, H., eds. The role of plant nutrients for sustainable food crop production in sub-Saharan Africa. Leidschendam: VKP, 1993. p.89-106.
- JANZEN, H. H.; CAMPBELL, C. A.; BRANDT, S. A.; LAFOND, G. P. & TOWNLEY-SMITH, L. Light-fraction organic matter in soils from long-term crop rotations. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 56: 1799-1806, 1992.
- JENKINSON, D.S. The Rothamsted long-term experiments: are they still of use? *Agron. J.*, 83: 2-10, 1991.
- KANCHIKERIMATH, M. & SINGH, D. Soil organic matter and biological properties after 26 years of maize-wheat-cowpea cropping as affected by manure and fertilization in a Cambisol in semiarid region of India. *Agric. Ecosys. Environ.*, 86: 155-162, 2001.
- KAPKIYAI, J.J.; KARANJA, N.K.; QURESHI, J.N.; SMITHSON, P.C. & WOOMER, P.L. Soil organic matter and nutrient dynamics in a Kenyan nitisol under long-term fertilizer and organic input management. *Soil Biol. Biochem.*, 31: 1773-1782, 1999.
- KIEHL, E.J. Fertilizantes orgânicos. São Paulo: Ceres, 1985. 492p.
- KIRCKNER, M.J.; WOLLUM, A.G. & KING, L.D. Soil microbial populations and activities in reduced chemical input agroecosystems. *J. Soil Sci. Am. Soc.*, 57:1289-1295, 1993.
- LONGO, R.M. & ESPÍNDOLA, C.R. C – orgânico, N – total e substâncias húmicas sob influência da introdução de pastagens (*Brachiaria* sp.) em áreas de Cerrado e Floresta Amazônica. *R. Bras. Ci. Solo*, 24:723-729, 2000.
- LUGO, A.E & BROWN, S. Management of tropical soils as sink or sources of atmospheric carbon. *Plant Soil*, 149: 27-41,1993.
- LUNGREN, B.O. Soil conditions and nutrient cycling under natural and plantation forests in Tanzania highlands. Reports in Forest Ecology and Forest soils 31. Department of Forestry soils, Swedish University of Agricultural Sciences,Uppsala., 1978. 426p
- MAIA, C.E. Reserva e disponibilidade de nitrogênio pela adição continuada de adubação orgânica e da mineral na cultura do milho em um Podzólico Vermelho-

Amarelo Câmbrico. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 55p (Tese de Mestrado).

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

MARINARI, S.; MASCIANDARO, G.; CECCANTI, B. & GREGO, S. Influence of organic and mineral fertilisers on soil biological and physical properties. *Biores. Techn.*, 72: 9-17, 2000.

MENDONÇA, E.S. de. Matéria orgânica e características químicas de agregados de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob mata natural, seringueira e pastagem. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1988. 78p (Tese de Mestrado).

NILL, D. & NILL, E. The efficient use of mulch layers to reduce runoff and soil loss. In: MULONGOY, K. & MERCKX, L., eds. Soil organic matter dynamics and sustainability of tropical agriculture. John Wiley, 1993. p.331-338.

NYE, P.H. & GREENLAND, D. Changes in the soil after clearing tropical forest. *Plant Soil* 21, 101-112, 1964.

OADES, J. Recent advances in organomineral interactions implications for carbon cycling and soil structure. In: HUANG, P.M.; ERTHELIN, J.; BOLLAG, J.M.; MCGILL, W.B. & PAGE, A.L., eds. Environmental impact of soil component interactions. Lewis Publishers, Boca Raton, 1995. p.119-134,

OMAY, A.B.; RICE, C.W.; MADDUX, L.D. & GORDON, W.B. Changes in soil microbial and chemical properties under long-term crop rotation and fertilization. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 61:1672-1678, 1997.

PALM, C.A. Contribution of agroforestry trees to nutrient requirements of intercropped plants. *Agroforestry System*, 30:105-124, 1995.

PALM, C.A.; GACHENKO, C.N.; DELVE, R.J.; CADISCH, G. & GILLER, K.E. Organic inputs for soil fertility management in tropical agroecosystems: application of an organic resource database. *Agric. Ecosys. Environ.*, 83:27-42, 2001.

PAUSTIAN, K.; ANDRÉN, O.; JANZEN, H.H.; LAL, R.; SMITH, P.; TIAN, G.; TIESSEN, H.; Van NOORDWIJK, M. & WOOMER, P. Agricultural soils as a sink to mitigate CO<sub>2</sub> emissions. *Soil Use Manag.*, 13:230-244, 1997.

ROSALES, M.A.; OLIVEIRA, O.S.; MOURA, M.A. & LOURES, E.G. Influência das adubações orgânica e mineral contínuas sobre as características das frações das substâncias húmicas do solo. *Rev. Ceres*, 46: 67-81, 1999.

SCHOLES, M.C.; POWLSON, D. & TIAN, G. Input control of organic matter dynamics. *Geoderma*, 79:25-47, 1997.

SHANG, C. & TIESSEN H. Organic matter lability in a tropical oxisol: evidence from shifting cultivation, chemical oxidation, particle size, density, and magnetic fractionations. *Soil Sci.*, 162:795-807, 1997.

SIX, J.; ELLIOT E.T.; PAUSTIAN, K. & DORAN, J.W. Aggregation and soil organic matter accumulation in cultivated and native grassland soils. *Soil Sci Soc. Am. J.* 62: 1153-1161, 1998.

SIX, J.; MERCKX, R.; KIMPE, K.; PAUSTIAN, K. & ELLIOT E.T. A re-evaluation of the enriched labile soil organic matter fraction. *Euro. J. Soil Sci.*, 51:283-293, 2000.

SMITH, P.; POWLSON, D.S.; GLENDINING, M.J. & SMITH, J.U. Potential for carbon sequestration in European soils: preliminary estimates for five scenarios using results from long-term experiments. *Global Change Biology*. 3:67-79, 1997.

SNAPP, S.S.; MAFONGOYA, P.L. & WADDINGTON, S. Organic matter technologies for integrated nutrient management in smallholder cropping systems of southern Africa. *Agric. Ecosys. Environ.*, 71:185-200, 1998.

SOHI S.; MAHIEU N.; ARAH J.R.M.; POLWSON D.S.P.; MADARI B. & GAUNT J.L. A procedure for isolating soil organic matter fractions suitable for modeling. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 65: 1121-1128, 2001.

SPARLING, G.P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicator of changes in soil organic matter. *Aust. J. Soil Res.*, 30: 195-207, 1992.

SPARLING, G.P. & WEST, A.W. A direct extraction method to estimate soil microbial C: Calibration in situ using microbial respiration and <sup>14</sup>C labelled cells. *Soil Biol. Biochem.*, 20:337-343, 1988.

- STEVENSON, F.J. Humus Chemistry. New York, John Wiley & Sons, 1994. 496p.
- SWIFT, R.S. Organic matter characterization. In: SPARKS, D.L.; PAGE, A.L.; HELMKE, P.A.; LOEPPERT, R.H.; SOLTANPOUR, P.N; TABATABAI, M.A.; JOHNSTON, C.T. & SUMMER, M.E., eds. Methods of soil analysis. Madison: Soil Science Society of America / American Society of Agronomy, 1996. Part 3. Chemical methods. p.1011-1020 (Soil Science Society of America Book, Series 5).
- SWIFT, R.S Sequestration of carbon by soil. Soil Sci., 166:858-871, 2001.
- VEGA-COREA, E.J., Avaliação do carbono orgânico do solo sob diferentes condições de manejo. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1998. 77p (Tese de Mestrado).
- Von LUTZOW, M.; LEIFELD, J.; KAINZ, M.; KNABNER-KOGEL, I. & MUNCH, J.C. Indications for soil organic matter quality in soils under different management. Geoderma, 105:243-258, 2002.
- WANDER, M.M.; TRAINA, S.J.; STINNER B.R. & PETERS, S.E. Organic and conventional management effects on biologically active soil organic matter pools. Soil Sci. Soc. Am. J. 58: 1130-1139, 1994.
- WHITBREAD, A.M.; BLAIR, G.J. & LEFROY, R.D.B. Managing legume leys, residues and fertilizers to enhance the sustainability of wheat cropping systems in Australia 2. Soil physical fertility and carbon. Soil Till. Res. 54: 77-89, 2000.
- WITTER, E. & KANAL, A. Characteristics of the soil microbial biomass in soils from a long-term field experiment with different levels of C input. Applied Soil Ecology, 10:37-49, 1998.
- YEOMANS, J. C. & BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. Commun. Soil Sci. Plant Anal., 19:1467-1476, 1988.
- ZECH, W.; SENESI, N.; GUGGENBERGER, G.; KAISER, K.; LEHMANN, J.; MIANO, T.M.; MILTNER, A. & SCHROTH, G. Factor controlling humification and mineralization of soil organic matter in the tropics. Geoderma, 79:117-161, 1997.

## **CAPÍTULO 3**

# **SIMULAÇÃO PELO MODELO CENTURY DA DINÂMICA DA MATÉRIA ORGÂNICA DE UM ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO SOB PLANTIO DIRETO E PREPARO CONVENCIONAL E ADUBAÇÃO MINERAL E ORGÂNICA**

### **1. INTRODUÇÃO**

Os processos do carbono (C) no solo afetam diretamente a qualidade e produtividade do solo. Nos últimos anos, dentro do contexto ambiental, o C orgânico do solo vem sendo sistematicamente quantificado tanto na forma de teores totais quanto em diferentes compartimentos no solo. Isto se dá pela alta relevância que o solo tem, por meio do seu manejo, em evitar que o carbono seja transferido para a atmosfera ou que ele seja retido no material de solo, minimizando os riscos do fenômeno de aquecimento global. A partir da otimização dos métodos experimentais, os pesquisadores acumularam ao longo do tempo, informações importantes acerca da dinâmica do C no solo aumentando a habilidade em manejar adequadamente o C orgânico do solo (Shaffer et al., 2001). Concomitantemente, modelos conceituais dos processos do C e também do nitrogênio (N) no solo passaram a ser desenvolvidos (Molina & Smith, 1998).

Nos primeiros modelos (Jenny 1941; Henin & Dupuis, 1945; Olson, 1963; Stanford & Smith, 1972), enfocaram-se processos individuais, porém faltavam as ferramentas e o conhecimento necessários para a abordagem do complexo ambiente solo, como um sistema integrado. No entanto, os avanços na tecnologia de computadores, nas técnicas com elementos marcados e sensoriamento remoto, nos procedimentos de amostragem no campo e nos métodos analíticos de laboratório, permitiram precisar os processos de C e suas interações o que possibilitou o desenvolvimento de modelos de simulação de sistemas e subsistemas de solo completos e integrados (Shaffer & Ma, 2001). Os modelos de simulação Century (Parton et al., 1987) e RothC 26.3 (Coleman & Jenkinson, 1996) de dinâmica de C, foram avaliados para uso em ecossistemas tropicais e apresentaram, entre outros nove modelos, os melhores resultados (Smith et al., 1998). Os modelos de dinâmica de C, embora ainda considerados prematuros para tomada de decisões, têm sido usados para analisar problemas agrícolas e ambientais, como o manejo dos fertilizantes químicos e orgânicos

(Ma et al., 2001), a qualidade do ar e do solo (Del Grosso et al., 2001; Delgado, 2001) e a avaliação de sistemas de preparo e de culturas (Smith et al., 2001; Del Grosso et al., 2001).

Diversos autores têm proposto a existência de compartimentos de C com diferentes taxas de decomposição, que podem ser avaliados por meio de métodos empíricos e modelos de simulação (Motavalli et al., 1994; Woomer et al., 1994; Fernandes et al., 1997; Shaffer & Ma, 2001). Os compartimentos de C usados nos modelos de simulação são, na sua maior parte, conceituais e apenas aproximadamente correlacionados aos compartimentos ou frações física ou quimicamente quantificados (Paul, 1984; Janzen et al., 1992; Eswaran et al., 1995; Follet, 2000). Em geral, os compartimentos físicos de C são descritos com base no tamanho e inclui resíduos facilmente reconhecidos (tamanho > 2 mm), uma fração leve (tamanho de 0,25 a 2 mm), que pode ser flotada em líquido de alta densidade ( $1,8 \text{ g cm}^{-3}$ ) e uma matéria orgânica particulada que pode ser separada usando dispersão e técnicas de separação física (tamanho de 0,05 a 2 mm). O C da biomassa microbiana é determinado por meio dos métodos fumigação-extração (Jenkinson & Polwson, 1976) ou irradiação-extração (Islam & Weil, 1998). As formas mais resistentes da matéria orgânica do solo, incluindo ácidos húmicos, ácidos fúlvicos e huminas, são fracionadas usando técnicas químicas, tais como, os métodos com HCl e NaOH (Ping et al., 1999) e por meio do fracionamento granulométrico que permite quantificar o C orgânico associado às frações areia, argila e silte. Por outro lado, estes métodos físicos ou químicos usados para estimar compartimentos de C cineticamente definidos não são claramente estabelecidos, pois, a labilidade biológica não é dependente somente das formas físicas e químicas do C (Duxbury et al., 1989), mas também da interação do C com outros constituintes do solo e condições ambientais (Motavalli et al., 1994).

Para validar um modelo, os compartimentos simulados são comparados com aqueles obtidos analiticamente. No modelo Century, o compartimento ativo de ciclagem rápida, é constituído pela biomassa microbiana e seus produtos. No entanto, para os compartimentos lento e passivo, frações mais resistentes à decomposição, devido à constituição química ou proteção física (Parton et al., 1987), os métodos analíticos necessitam de ajuste, especialmente em solos tropicais.

O modelo Century simula simultaneamente os fluxos de C, N, P e S no sistema solo-planta e tem sido aplicado com sucesso em diversos ecossistemas naturais e cultivados (Paustian et al., 1992; Parton & Rasmussen, 1994; Kelly et al., 1997; Del

Grosso et al., 2001). No entanto, ele foi desenvolvido para as condições de clima temperado e as validações para as condições tropicais ou subtropicais são ainda muito incipientes (Parton et al., 1994; Silveira et al., 2000).

Os objetivos deste estudo foram: a) simular por meio do modelo Century, versão 4.0, o impacto de sistemas de preparo de solo em plantio direto e convencional e de sistemas de adubação orgânica, mineral e organo-mineral, sobre a dinâmica do C de um Argissolo Vermelho-Amarelo; b) comparar estoques de C e N medidos com os simulados pelo modelo Century; c) quantificar a sensibilidade dos resultados do modelo às mudanças nos valores de algumas variáveis de entrada.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Descrição das áreas

Os dois experimentos usados neste estudo estão localizados na Estação Experimental da Universidade Federal de Viçosa, no município de Coimbra-MG, sob um Argissolo Vermelho-Amarelo. A região do Planalto de Viçosa, onde está localizada a Estação Experimental está situada a 20° 45' S e 42° 51' W, com altitude média de 700 m. Apresenta ainda temperatura média anual de 19°C e precipitação média anual de 1400 mm, concentrada nos meses de outubro a março, com média anual de umidade relativa do ar de 85 % (Galvão, 1995). Como referência, ou seja, um sistema em estado de equilíbrio, foi escolhido uma área de floresta secundária (Floresta Atlântica), com mesmo tipo de solo, adjacente aos experimentos.

### 2.2. Eventos de manejo

Uma das maiores dificuldades observadas durante a organização dos eventos de manejo foi resgatar historicamente quais plantas foram cultivadas, quando e em que quantidades. Para auxiliar na tarefa, de 1930, quando a Floresta Atlântica foi derrubada, até 1978, quando a área passou à Universidade Federal de Viçosa, foram realizadas entrevistas com agricultores locais, possibilitando-se o conhecimento do manejo adotado neste período. As culturas utilizadas foram o feijão e o milho, com plantio no mês de outubro e colheita nos meses de janeiro e março, respectivamente. Pela limitação econômica dos agricultores, não foram considerados nos eventos, as raras fertilizações químicas ou orgânicas em baixas quantidades. Os sistemas de preparo de solo limitaram-se à aração com tração animal. Em 1978, a adoção de tecnologia por parte da Universidade, como o uso de sementes melhoradas, e de fertilizantes, promoveu aumento na produtividade das culturas do milho e feijão. A partir de 1984, foi realizada a preparação das áreas visando a implantação dos dois experimentos. Para o experimento com sistemas de preparo do solo, iniciado em 1985, a adequação constou da correção da acidez do solo com aplicação de 4 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico e da fertilidade com aplicações diferenciadas ao longo dos quinze anos do experimento. Entre 1985 e 1987 foram aplicados 350 kg ha<sup>-1</sup> de NPK 4-14-8 (14, 49 e 28 kg ha<sup>-1</sup> de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O, respectivamente), formulada com sulfato de amônio, superfosfato

simples e cloreto de potássio. Entre 1987 e 1990 e entre 1991 e 2000, foram aplicados 375 e 400 kg ha<sup>-1</sup> da mesma fórmula, utilizando as mesmas fontes de N, P e K. Durante o período experimental (1985-2000), a área foi submetida a um preparo de solo por ano e cultivada sempre com a cultura do milho, exceto nos períodos de 1986 a 1987 e de 1989-1990, com a cultura do feijão e 1995 a 1998, com as culturas de soja e trigo. Para todas as culturas, realizaram-se cultivos anuais, procedendo-se o plantio e a colheita entre os meses de outubro a março, enquanto que nos demais meses do ano, as áreas permaneciam sob pousio.

O experimento constou de quatro tipos de preparo do solo, dispostos em parcelas de 14 x 8 m e em delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições. Os tratamentos estudados foram os seguintes: Plantio direto (PD) – solo revolvido apenas ao longo das linhas de plantio, tendo sido, por ocasião da semeadura, sulcado com plantadora-adubadora de tração motorizada; Arado de disco (AD) – utilizou-se arado de discos fixo, com três discos, de tração motorizada, em uma única aração, com profundidade de 20-25 cm; Grade Pesada + Arado de Disco (GPAD) – uma única gradagem, com grade pesada, de 20 discos, sendo 10 rugosos e 10 lisos, para trituração dos restos vegetais e posteriormente uma única aração com arado de discos fixo, com três discos, de tração motorizada, com profundidade de 20-25 cm, para incorporação dos resíduos vegetais; Grade Pesada (GP) – uma gradagem, com grade pesada de 20 discos, sendo 10 rugosos e 10 lisos, de tração motorizada, com profundidade de 10-15 cm. Todos os sistemas, exceto o PD, receberam uma gradagem leve com grade de 28 discos, para destorroamento e nivelamento do terreno.

O experimento com adubações orgânica e mineral e sob cultivos de milho exclusivo e consorciado com feijão, foi iniciado em 1984 e instalado em um arranjo fatorial com as parcelas (8 x 8 m) dispostas em um delineamento blocos casualizados, constituído de doze tratamentos e quatro repetições. Para este estudo, apenas os tratamentos no cultivo exclusivo de milho foram simulados. Os tratamentos constaram de combinações entre dois níveis (0 e 1) de composto orgânico nas doses de 0 e 40 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> (AO) e três níveis (0, 1 e 2) de adubo mineral nas doses de 0, 250 (AM1) e 500 kg ha<sup>-1</sup> (AM2) da fórmula 4-14-8, correspondendo em 16 anos, a aplicação acumulada de 160, 560 e 320 kg ha<sup>-1</sup> de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O, respectivamente para a menor dose, e 320, 1120 e 640 kg ha<sup>-1</sup>, para maior dose. A adubação nitrogenada em cobertura foi efetuada aos 45 dias após emergência, utilizando sulfato de amônio, nas doses 0, 100 e 200 kg N ha<sup>-1</sup>, de acordo com a adubação básica de plantio. Para os tratamentos que continham

apenas adubo orgânico, não foi realizada a cobertura com adubo nitrogenado. O composto orgânico utilizado, feito de palhada de soja e feijão junto com esterco bovino, apresentou em média  $380 \text{ g kg}^{-1}$  água,  $0,36 \text{ g cm}^{-3}$  de densidade e teores de P, K, Ca, Mg e N de 0,7; 2,8; 1,0; 0,4 e  $3,2 \text{ dag kg}^{-1}$ , respectivamente. A relação C:N do composto orgânico foi de 5.

### **2.3. Amostragem de solos**

A amostragem do solo foi feita em abril de 2000. Nesta época, a colheita de grãos tinha sido recentemente realizada e os restos culturais se mantinham sobre o solo. Em cada unidade experimental coletaram-se 8 amostras de solo simples com um trado manual, para formar uma amostra composta por repetição, da camada de 0-20 cm. Para a área sob Floresta Atlântica foram coletadas 15 amostras simples por área delimitada (4 áreas de 4 x 4 m). As amostras foram destorroadas e passadas em peneira de malha de 2 mm, e uma alíquota (em torno de 100 g) foi separada e acondicionada sob sistema de refrigeração, com temperatura situada entre 4 e  $8^{\circ} \text{ C}$ , visando a determinação da biomassa microbiana. Para as demais análises, as amostras de solos foram secas ao ar (TFSA). Os resultados das análises químicas e físicas do solo dos dois experimentos e da Floresta Atlântica estão no Quadro 1.

### **2.4. Métodos de Laboratório**

O pH do solo foi determinado em água (1:2,5) por potenciometria (Embrapa, 1997). Para determinação dos teores de carbono orgânico total (COT), as amostras de solo foram trituradas em almofariz e passadas em peneira de malha 0,21mm, quantificada por oxidação da matéria orgânica via úmida, empregando solução de dicromato de potássio em meio ácido, com fonte externa de calor (Yeomans & Bremner, 1988).

O nitrogênio total foi quantificado nas amostras de solo submetido à digestão sulfúrica e dosado por destilação Kjeldahl (Bremner & Mulvaney, 1982). A biomassa microbiana foi determinada pelo método da irradiação-extração, utilizando forno de microondas (Cônsul, frequência de 2450 MHz, energia a 900W por 180 segundos) (Islam & Weil, 1998; Ferreira et al., 1999). O extrator utilizado foi  $\text{K}_2\text{SO}_4$   $0,5 \text{ mol L}^{-1}$  e o carbono contido nos extratos foi quantificado por meio de procedimento por oxidação

úmida (Yeomans & Bremner, 1988). O fator de conversão ( $K_C$ ) usado para converter o fluxo de C para C da biomassa microbiana foi 0,33 (Sparling & West, 1988). O C da biomassa microbiana ( $C_{MIC}$ ) foi usado como estimativa do compartimento ativo da matéria orgânica (Paul, 1984; Motavalli et al., 1994).

A fração leve foi determinada pelo procedimento de obtenção da fração leve-livre de Sohi et al. (2001). Em frascos de centrífuga de 50 mL, foram adicionados 5 g de TFSA e 35 mL de Iodeto de Sódio (NaI, densidade igual a  $1,8 \text{ g cm}^{-3}$ ). O frasco contendo a mistura foi agitado manualmente por 30 segundos, para permitir que as frações orgânicas não associadas aos componentes minerais atingissem a superfície da suspensão. Em seguida, solo mais a solução de NaI foram centrifugados a 3200 rpm por 15 minutos, a fim de sedimentar as partículas minerais do solo no fundo do frasco, sendo posteriormente feita a aspiração da fração leve presente na superfície da solução de NaI. A fração leve aspirada juntamente com solução de NaI foi imediatamente separada por filtração a vácuo com filtros de fibra de vidro (47 mm de diâmetro; 2 microns-Whatman tipo GF/A), onde a solução de NaI coletada na filtragem foi retornada para o frasco de centrífuga contendo a amostra de solo remanescente. As amostras de fração leve retidas nos filtros foram cuidadosamente lavadas com água destilada visando eliminar o excesso de NaI. A fração leve juntamente com os filtros, foi seca a  $105^\circ\text{C}$ , pesada e moída. O C da fração leve ( $C_{FL}$ ), usado como estimativa do compartimento lento (Cambardella & Elliot, 1992; Janzen et al., 1992), foi determinado por combustão via seca em analisador Perkin Elmer CHNS/O 2400. O compartimento passivo da matéria orgânica foi calculado pelo C orgânico total menos a soma dos compartimentos ativo e lento.

A densidade do solo foi obtida por meio do método do anel volumétrico, e a análise granulométrica foi conduzida pelo método da pipeta (Embrapa, 1997).

**Quadro 1. Características químicas e físicas dos solos na camada de 0-20 cm.**

Local	pH	COT	NT	Argila	ds	Estoque de COT
	(H <sub>2</sub> O)		dag kg <sup>-1</sup>		Mg m <sup>-3</sup>	Mg ha <sup>-1</sup>
<b>Sistemas de Preparo</b>						
PD	4,97	1,46	0,12	41	1,32	38,54
AD	5,05	1,28	0,10	38	1,22	31,23
GPAD	5,05	1,28	0,10	39	1,21	30,97
GP	5,00	1,26	0,11	37	1,24	31,24
<b>Adubação orgânica e mineral</b>						
0	5,86	1,78	0,15	66	1,03	36,92
AM1	5,61	2,02	0,16	75	0,99	39,71
AM2	5,25	1,96	0,15	70	1,02	39,98
AO	6,38	2,29	0,17	74	1,04	48,06
AM1 + AO	6,15	2,42	0,18	77	1,06	51,30
AM2 + AO	5,85	2,36	0,21	69	1,05	50,05
<b>Floresta Atlântica</b>	5,48	2,83	0,216	46	1,13	63,95

COT: Carbono orgânico total, NT: nitrogênio total, ds: densidade do solo, PD: plantio direto, AD: arado de disco, GPAD: grade pesada+arado de disco, GP: grade pesada. 0: testemunha; AM1: 250 kg ha<sup>-1</sup> de 4-14-8 + 20 kg N ha<sup>-1</sup> em cobertura; AM2: 500 kg ha<sup>-1</sup> de 4-14-8 + 40 kg em cobertura; AO: adubo orgânico, 40 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>.

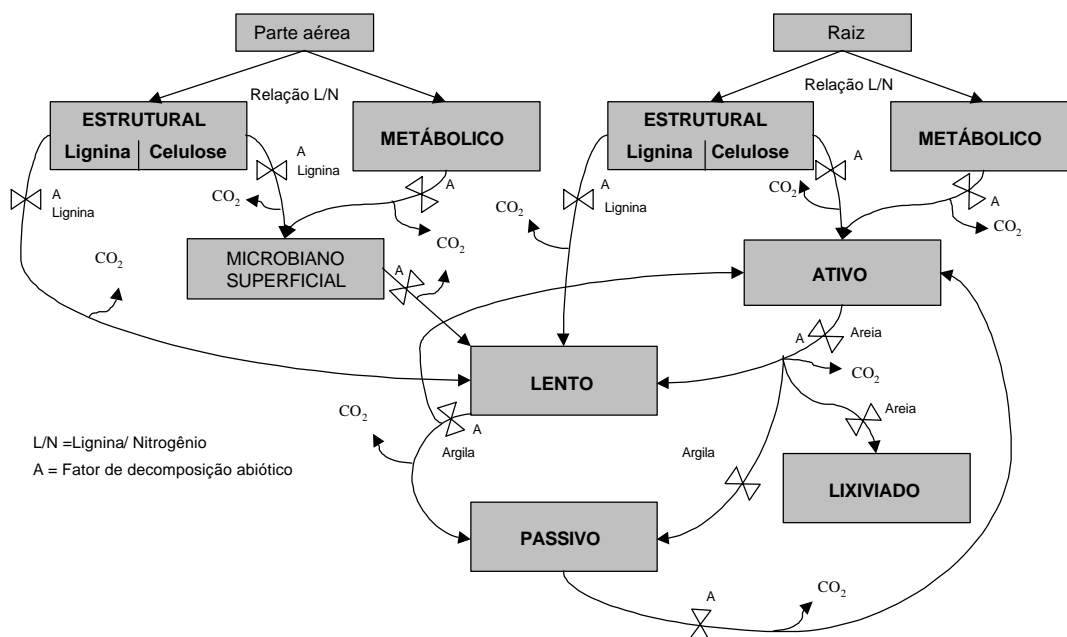
## 2.5. Descrição do modelo Century 4.0

O modelo Century (Parton et al., 1987) consiste de vários submodelos: o submodelo de água, o submodelo de produção vegetal e o submodelo de dinâmica de matéria orgânica. Os submodelos de água e de produção vegetal calculam a maioria das variáveis ambientais diretas (temperatura e umidade do solo, absorção de nutrientes pelas plantas e quantidade e qualidade dos resíduos vegetais) que são requeridas para o submodelo de dinâmica da matéria orgânica. O modelo funciona em escala de metro quadrado e simula a camada superficial (0-20 cm), usando etapa de tempo mensal. As principais variáveis de entrada requeridas pelo modelo são: climáticas – temperatura média mensal do ar e precipitação mensal; de solo - textura do solo (conteúdo de areia, silte e argila) e teores iniciais de carbono e nitrogênio em diferentes compartimentos do solo; de planta - conteúdo de nitrogênio e de lignina do material vegetal. O submodelo de matéria orgânica do solo é baseado em múltiplos compartimentos, sendo similar a outros modelos de dinâmica da matéria orgânica do solo (Chertov & Komarov, 1996; Coleman & Jenkinson, 1996). Cinco compartimentos são definidos no modelo: três representando matéria orgânica do solo e dois referenciando os resíduos vegetais (Figura 1). A matéria orgânica do solo é dividida em três frações ou compartimentos: ativo, lento e passivo. O compartimento ativo, constituído pela biomassa microbiana do solo e produtos microbianos, é de fácil decomposição e apresenta tempo de reciclagem

rápido (1 a 5 anos), dependendo do ambiente e conteúdo de areia; o compartimento lento, derivado de material vegetal resistente (lignina) e da matéria orgânica química e fisicamente protegida, apresenta tempo de reciclagem intermediário (20 a 40 anos); o compartimento passivo caracteriza-se pelo material muito resistente a decomposição, sendo quimicamente recalcitrante e protegido fisicamente, com longo tempo de reciclagem (200 a 500 anos).

Os resíduos vegetais são divididos em: superficial, compreendendo resíduos da parte aérea; e do solo, referenciado pelos resíduos do sistema radicular. Estas frações se subdividem em dois compartimentos: estrutural, de difícil decomposição (lignina e outras fibras) e tempo de reciclagem de 1 a 5 anos, e metabólico, prontamente decomponível pela ação microbiana (açúcares e proteínas), com tempo de reciclagem de 0,1 a 1 ano.

As taxas de decomposição para todos os compartimentos são obtidas por meio de funções multiplicativas da temperatura e umidade do solo (fator de decomposição abiótico) e podem ser aumentadas pelo efeito do cultivo. Além disso, outros fatores influenciam as transformações da matéria orgânica. Por exemplo, o conteúdo de lignina dos resíduos é parte do material estrutural e controla a taxa de decomposição deste compartimento. A textura do solo influencia as quantidades da matéria orgânica do solo ativa que são mineralizadas a  $\text{CO}_2$  ou alocadas no compartimento lento como produto da decomposição. O carbono liberado pela decomposição é parcialmente mineralizado a  $\text{CO}_2$  e o produto restante da decomposição é transferido para um ou mais compartimentos da matéria orgânica (Figura 1).



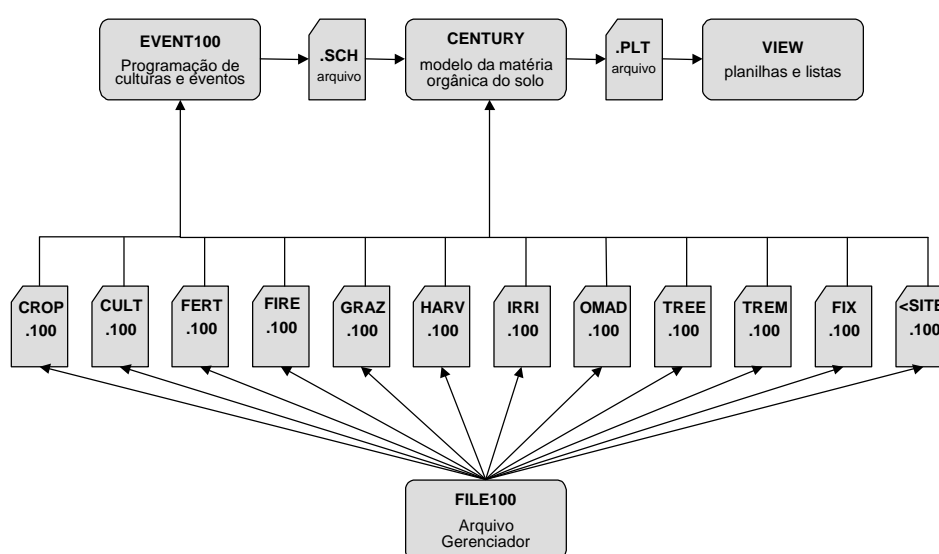
**Figura 1. Compartimentos e fluxos de carbono no modelo de simulação Century. (Fonte: adaptado de Parton et al., 1987)**

O ambiente Century consiste do modelo Century, que utiliza o programa de saída VIEW (\*. PLT) e dois programas utilitários. O primeiro utilitário é o programa FILE100, que auxilia o usuário na criação e atualização de valores em qualquer dos doze arquivos de dados usados pelo Century. O segundo, é o programa EVENT100 (\*. SCH), que cria o arquivo de programação contendo práticas agrícolas e eventos que ocorrem durante a simulação (Figura 2). Neste estudo, para agilizar o processo de edição dos arquivos de parâmetros e possibilitar a visualização rápida dos resultados do modelo, foi criado um programa de interface para o modelo Century (Century-Interface).

Nos arquivos contidos no FILE100 são armazenados os parâmetros de cada cultura (CROP.100), cultivo (CULT.100), fertilização (FERT.100), irrigação (IRRI.100), adubação orgânica (OMAD.100), uso de fogo (FIRE.100), colheita (HARV.100), floresta (TREE.100), remoção de floresta (TREM.100) e pastejo (GRAZ.100), além dos parâmetros fixos (FIX..100), dificilmente alterados pelo usuário, e do arquivo do sítio (SITE.100), contendo informações iniciais de localização geográfica, clima, solo do sítio a ser estudado.

No EVENT100 são informadas todas as atividades de manejo, como tipo de preparo de solo, ano e mês de plantio, tipo de cultura ou floresta, doses de adubação mineral ou orgânica, e ano, mês e método de colheita. O manejo é dividido em blocos,

possibilitando a formação de um histórico do sítio em um único arquivo, para uma mesma simulação. Este arquivo de manejo busca as informações necessárias que estão armazenadas nos arquivos do FILE100. Algumas variáveis são obrigatoriamente fornecidas ao programa, enquanto que outras, como a distribuição dos compartimentos de C podem ser parametrizadas por meio do modelo para o início das simulações. Neste caso, executa-se uma simulação com manejo constante por um tempo longo, denominada de simulação de equilíbrio, em que todas as variáveis de saída se estabilizam. As explicações mais detalhadas acerca do uso estão no manual do modelo Century (Metherell, 1993). Exemplos de valores usados nos arquivos FILE100 e EVENT100, necessários à simulação, estão nos Apêndices 1 e 2, respectivamente.



**Figura 2. Ambiente do modelo Century mostrando a relação entre programas e a estrutura dos arquivos usados (adaptado de Metherell et al., 1993)**

## 2.6. Parametrização do modelo

Em virtude da generalização de seus conceitos, o modelo foi desenvolvido e testado principalmente com dados originários de pastagens e agricultura no sistema trigo-pousio em pradarias norte americanas (Parton et al., 1987; Parton et al., 1988). Para realizar avaliações mais criteriosas acerca das predições do modelo, os valores dos parâmetros determinados a partir destes estudos prévios foram inalterados. Estes parâmetros gerais ou não específicos dos locais estudados incluem taxa de decomposição específica máxima para cada compartimento, as constantes que dividem os fluxos dos produtos de decomposição e os parâmetros que controlam os efeitos da textura do solo, relação lignina/N, temperatura, e umidade na decomposição.

Os principais dados de entrada foram: a) dados de planta - o potencial máximo de produção acima do solo e o índice de colheita, foram obtidos por meio das produções de grãos das culturas utilizadas nos experimentos de sistemas de preparo de solo (Sampaio, 1987; Siqueira, 1995; Mernes, 1998) e de adubação orgânica e mineral (Galvão, 1995; Bastos, 1999; Maia, 1999) e os teores de lignina e nitrogênio na planta foram obtidos em Metherell et al. (1993); b) dados climáticos – médias mensais da temperatura máxima e da temperatura mínima do ar e precipitação mensal, de janeiro a dezembro de 1967 a 2000, obtidos na Estação Meteorológica da Universidade Federal de Viçosa; c) dados analíticos de solo – a textura do solo (teores de areia, silte e argila), a densidade do solo, e os teores totais iniciais de C e N e teores iniciais dos compartimentos de C foram obtidos por meio das análises químicas e físicas, nas áreas experimentais.

Nos sistemas AD, GPAD e GP, foram feitos ajustes para aumentar os efeitos destes sistemas na decomposição da matéria orgânica, de acordo com a intensidade de perturbação (Six et al., 1998). Além disto, foi aumentado o período deste efeito perturbador na decomposição. Considerando-se que o Century roda em uma etapa de tempo mensal, cada ação somente afeta a dinâmica da matéria orgânica para determinado mês. Estudos têm indicado que sistemas de preparo com aração afetam a decomposição por vários meses (Parton et al., 1994; Metherell et al., 1995). Portanto, foi criada uma opção denominada “efeito de aração adicional”, utilizada nos meses seguintes a aração e, ou gradagem, para manter as taxas de decomposição aumentadas (Manies et al., 2000).

Para o experimento com adubação orgânica e mineral, foram utilizados como dados principais: a quantidade de C adicionada por meio do composto orgânico aplicado aos tratamentos, a relação C/N e C/P (Galvão, 1995), além do teor de lignina deste composto (Palm et al., 2001).

## **2.7. Simulações**

Para verificar os possíveis efeitos das mudanças no uso da terra nos estoques dos compartimentos de C (ativo, lento e passivo), foram realizadas simulações a partir de métodos indiretos e diretos. No método indireto, o modelo Century parametrizou os dados, inclusive dos compartimentos de carbono, por um longo período (6000 anos), por meio de uma simulação de equilíbrio. Os valores obtidos para os compartimentos de

C, assim como, a produção da Floresta Atlântica (Clevelário Jr., 1996; Gama-Rodrigues, 1997) e o teor de lignina dos resíduos vegetais (Metherell et al., 1993), serviram como variáveis de entrada para as simulações que envolveram a mudança no uso da terra. Quanto à textura do solo, foram utilizados valores que representassem o experimento de sistemas de preparo do solo (40 % de argila) e de adubação orgânica e mineral (70 % de argila) o que resultou em duas simulações de equilíbrio. Foram simuladas condições em que houve o corte da floresta, a introdução de sistemas agrícolas pelos agricultores, a adoção destes sistemas por parte da Universidade Federal de Viçosa e por fim, os experimentos. No método direto, os valores iniciais para os compartimentos de C foram obtidos na área sob Floresta Atlântica por meio dos métodos de laboratório. Os demais procedimentos foram similares a simulação por meio do método indireto.

A partir de 2002 foram criados cenários diferenciados, objetivando observar as mudanças nos estoques de COT. No experimento com sistemas de preparo, as atividades de manejo dos sistemas AD, GPAD e GP foram substituídas pelas atividades do sistema PD, sob monocultivo de milho (cenário 1) e sob sucessão trigo-soja (cenário 2) e as atividades de manejo do sistema PD foram substituídas por aquelas dos sistemas convencionais, sob sucessão trigo-soja (cenário 3). No experimento com adubação mineral e orgânica, as atividades de manejo do sistema AM2+AO foram substituídas pelas atividades dos sistemas 0, AM1, AM2, AO e AM1+AO, (cenário 4) e as atividades destes sistemas foram substituídas por aquelas do sistema AM2+AO (cenário 5).

Das variáveis de saída existentes no modelo foram escolhidas aquelas relacionadas ao C e N total do solo e aos compartimentos de C. Para os sistemas PD e GPAD, no experimento de tipos de preparo, e 0 (testemunha) e AM2+AO, no experimento com adubação orgânica e mineral, foram feitas simulações também com os compartimentos de N. Os valores obtidos mediante a simulação pelo modelo Century foram comparados com aqueles obtidos nas análises laboratoriais.

## **2.8. Análise de sensibilidade**

A sensibilidade de um modelo para um dado parâmetro pode ser definida como a taxa de mudança nas saídas do modelo, com relação a mudanças nos valores de entrada de um parâmetro específico, mantendo-se os outros parâmetros constantes. Inicialmente,

uma simulação referência foi feita para cada sistema de manejo, de 1930 a 2050, sem alteração nos parâmetros de entrada. Em seguida, alguns parâmetros foram variados sistematicamente em 5 níveis equidistantes, entre -20 a +20 %, mantendo-se os demais constantes. No experimento com sistemas de preparo de solo, os parâmetros foram os seguintes: argila, aporte de C por meio da parte aérea da cultura, teor de C inicial, temperatura e precipitação. No experimento com adubação orgânica e mineral, as variações foram feitas nos seguintes parâmetros: quantidade de adubo orgânico, percentual de lignina do composto orgânico e relação C/N do composto orgânico. Posteriormente, os estoques de COT observados no ano de 2000, na simulação referência e naquela em que os parâmetros foram variados foram comparados, determinando-se assim a taxa de mudança no COT em termos percentuais.

## **2.9. Estimativa de emissão ou seqüestro de C-CO<sub>2</sub> atmosférico**

Os estoques do COT no início do experimento (1984) e no ano 2000, medidos em laboratório e simulados pelo modelo Century, foram usados para calcular a contribuição dos sistemas de manejo na emissão ou seqüestro de C-CO<sub>2</sub> pelo solo, na camada de 0-20 cm. O aporte médio de C por meio dos resíduos vegetais foi somado ao estoque inicial. No entanto, apenas 30 % deste aporte foram considerados, pois, 70 % do material orgânico adicionado ao solo são perdidos na forma de CO<sub>2</sub> (Kiehl, 1985). Além disto, foi considerado o fator de conversão de C para CO<sub>2</sub> de 3,67 (massa molar do CO<sub>2</sub>/massa molar do C) (Amado et al., 2001).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Experimento com sistemas de preparo de solo

##### 3.1.1. Estimativa dos compartimentos de carbono pelos valores de equilíbrio

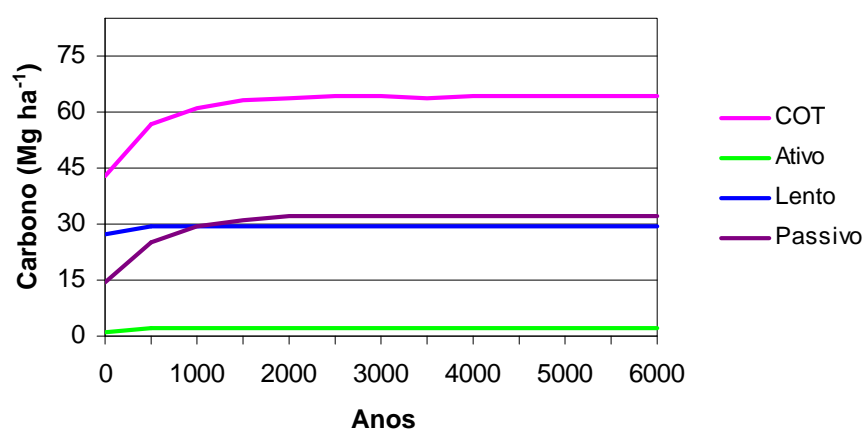
O modelo Century estimou os níveis de equilíbrio do carbono orgânico total (COT) e dos compartimentos de carbono (ativo, lento e passivo) durante 6000 anos. Neste período, os estoques de COT e de C no compartimento passivo aumentaram em relação aos estoques iniciais, enquanto que os estoques de C no compartimento ativo e no lento mantiveram-se praticamente constantes (Figura 3). Este aumento do C no compartimento passivo e que refletiu no COT está provavelmente associado aos compostos fisicamente protegidos e quimicamente recalcitrantes presentes neste compartimento, o que o torna menos susceptível à perda de C do que os compartimento ativo e o lento que são mais facilmente oxidados.

Após alcançado o estado de equilíbrio, na profundidade de 0-20 cm, os estoques do COT ( $64 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) e do C no compartimento ativo ( $1,6 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) foram similares àqueles medidos no solo sob Floresta Atlântica (FA) ( $63,95 \text{ Mg ha}^{-1}$  e  $1,59 \text{ Mg ha}^{-1}$  para o COT e para C ativo, respectivamente) os quais estão, juntamente com os estoques de carbono nos compartimentos lento e passivo, apresentados na Figura 5. Os estoques de COT foram cerca de 3 % maior do que o estoque estimado pelo modelo Century para uma floresta subtropical (Silveira et al., 2000). Por outro lado, quando se comparou com a média de estoques de COT observados nos solos sob diversas florestas tropicais ( $66 \text{ Mg ha}^{-1}$ ), o valor estimado pelo modelo Century neste estudo foi 3% menor. Estas diferenças podem ser consideradas irrelevantes, pois a variabilidade natural do estoque de COT no solo situa-se em torno de 30 % (Silveira et al., 2000). No compartimento lento, o estoque de C estimado pelo modelo ( $30,1 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) foi cerca de duas vezes o estoque observado na FA ( $17,4 \text{ Mg ha}^{-1}$ ), enquanto que no compartimento passivo o modelo estimou estoque de C menor ( $32,3 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) do que aquele verificado na FA ( $44,9 \text{ Mg ha}^{-1}$ ). Estes resultados indicaram que o modelo Century não resultou em compartimentos lento e passivo com tamanhos ajustados aos solos tropicais.

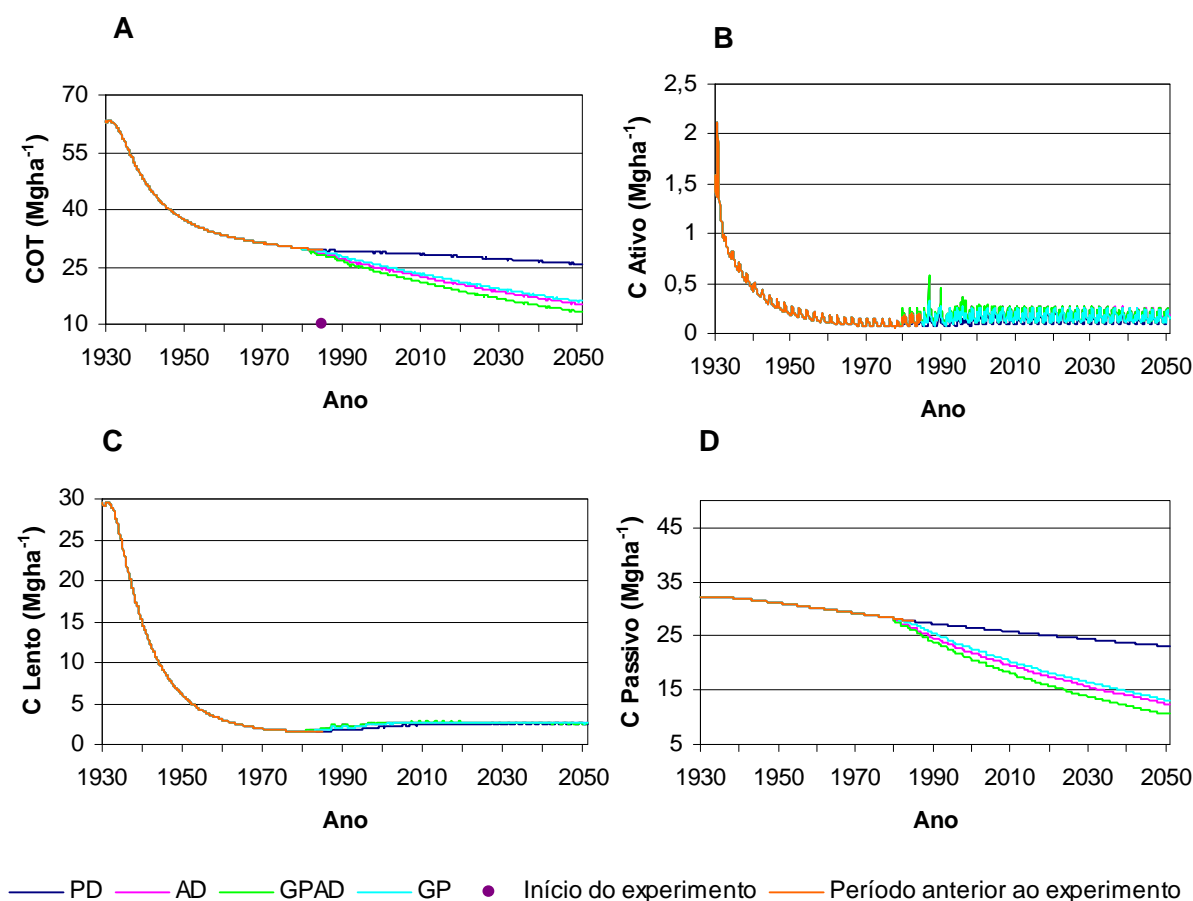
Na simulação com o modelo Century por 120 anos, os estoques de COT e dos compartimentos de C foram reduzidos após a mudança da FA para agricultura (Figura 4), similarmente ao que foi observado por Parfitt et al. (1997). Em 1984, antes da

instalação do experimento, os estoques de COT foram de 28 Mg ha<sup>-1</sup>, significando diminuição de 36 Mg ha<sup>-1</sup> (56 %) em relação aos estoques iniciais estimados pelo modelo (64 Mg ha<sup>-1</sup>). No ano de 2000, após 15 anos da adoção dos sistemas de preparo, os estoques de COT no solo sob PD (29 Mg ha<sup>-1</sup>) aumentaram em relação ao estoque no início do experimento, de forma diferenciada dos sistemas AD (24,5 Mg ha<sup>-1</sup>), GPAD (23,4 Mg ha<sup>-1</sup>) e GP (25,2 Mg ha<sup>-1</sup>) (Figura 4). Em 2050, os estoques de COT no solo sob PD e sob sistemas convencionais serão de 26 e 15 Mg ha<sup>-1</sup> respectivamente, o que indica menor estado de degradação do solo sob o sistema conservacionista.

Nos compartimentos ativo e lento, os estoques de C também diminuirão com a mudança da FA para agricultura. Após a adoção dos sistemas de preparo, e durante o período simulado, observaram-se variações pouco significativas nos estoques de C, tanto no compartimento ativo quanto no compartimento lento. Por outro lado, no compartimento passivo os estoques de C foram maiores no solo sob sistema PD. Em 2000, o PD apresentou 5 Mg ha<sup>-1</sup> de C a mais do que os sistemas AD, GPAD e GP. Esta diferença aumentará com o tempo, e em 2050 os estoques de C no PD (23 Mg ha<sup>-1</sup>) serão cerca de duas vezes os estoques de C nos sistemas AD (12,8 Mg ha<sup>-1</sup>), GPAD (10,6 Mg ha<sup>-1</sup>) e GP (13,2 Mg ha<sup>-1</sup>), refletindo o efeito do revolvimento do solo, o que favorece menor taxa de mineralização da matéria orgânica adicionada e conseqüente aumento da taxa de humificação que acarreta aumento de C no compartimento passivo.



**Figura 3. Estimativa por meio do modelo Century dos estoques de carbono orgânico total (COT) e dos compartimentos de carbono orgânico de um Argissolo Vermelho-Amarelo (0-20 cm) sob Floresta Atlântica.**



**Figura 4. Variação temporal dos estoques de carbono orgânico total (COT) (A) e dos compartimentos de carbono ativo (B), lento (C) e passivo (D), simulados pelo modelo Century com base nos valores iniciais obtidos na simulação de equilíbrio nos sistemas plantio direto (PD), arado de disco (AD), grade pesada+arado de disco (GPAD) e grade pesada (GP).**

### 3.1.2. Estimativa dos compartimentos de carbono por meio dos valores medidos

No início do experimento, em 1984, o estoque de COT foi de  $40 \text{ Mg ha}^{-1}$  (Figura 5), o que representou um decréscimo de 37 % em relação ao estoque inicial de COT medido na FA ( $63,95 \text{ Mg ha}^{-1}$ ), similarmente ao observado por Silveira et al. (2000) na mudança de uma floresta tropical para cultivo de cana-de-açúcar. Comparando-se com o estoque medido ( $45 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) neste mesmo ano na área experimental (Capítulo 1, Figura 1), observou-se que o estoque de COT simulado pelo modelo foi apenas 10 % menor. Esta diferença entre os estoques simulados e medidos diminuiu ao longo do tempo para cerca de 5 % em todos sistemas de manejo.

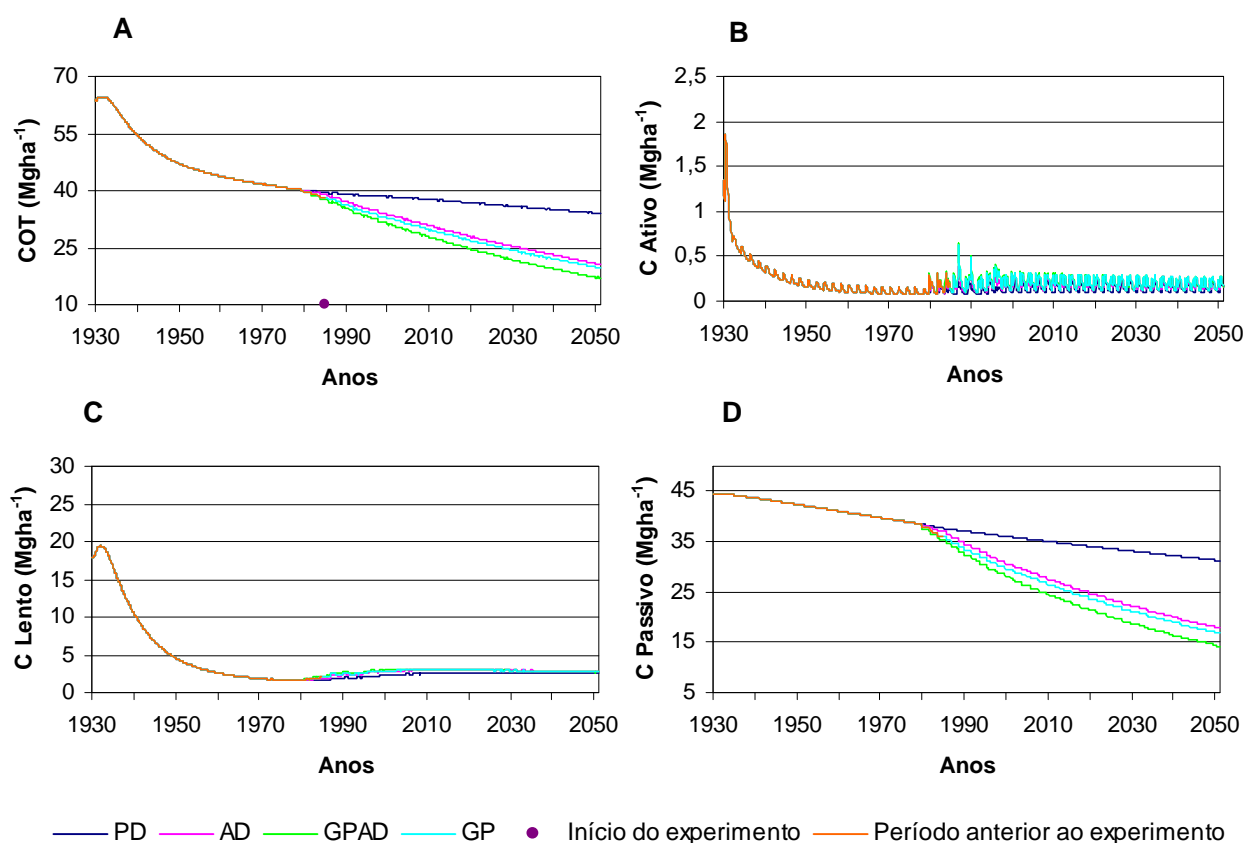
A redução nos estoques de COT observada por meio dos valores medidos foi 20% menor do que aquela verificada nos estoques obtidos por meio da simulação de equilíbrio. Esta diferença deve ser atribuída a maior proporção do compartimento

passivo em relação ao COT no método direto de determinação dos compartimentos e provavelmente o modelo Century, por ter sido originalmente elaborado para as condições de solo bastante distintas das tropicais, necessita ser ajustado, pois as associações organo-minerais nos ambientes tropicais e sub-tropicais são diferentes das observadas nos solos de pradaria.

Os sistemas de preparo não alteraram a tendência de diminuição dos estoques de COT e em 2000, 15 anos depois da instalação do experimento, os estoques de COT nos sistemas PD, AD, GPAD e GP foram de 38, 32, 31, e 34 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, indicando que possivelmente estes estoques não tenham alcançado novo equilíbrio após esse período (Figura 5). Esta tendência continuará, principalmente para os sistemas convencionais, e em 2050 os estoques de COT serão de 34 Mg ha<sup>-1</sup> no solo sob PD e de aproximadamente 20 Mg ha<sup>-1</sup> nos solos sob AD, GPAD e GP. Apesar destes resultados, o sistema PD foi o único que mostrou recuperação dos estoques de COT, em médio e longo prazo, o que está de acordo com os resultados obtidos por Smith et al. (2001). Provavelmente, o atual sistema de sucessão de culturas com pousio, mesmo sob plantio direto, levará um longo período até alcançar novo estado de equilíbrio. Isto, no entanto, pode ser possível se houver rotação de culturas envolvendo planta de cobertura para a formação de palha (ex. milheto) ou introdução do sistema lavoura-pecuária, que envolve o plantio de gramínea (ex. braquiária) e que pode aumentar sensivelmente o estoque de C orgânico do solo.

Os estoques de C em 1984 nos compartimentos ativo, lento e passivo foram de 0,2, 2 e 36 Mg ha<sup>-1</sup>, o que representou redução em relação aos estoques iniciais na FA de 87, 89 e 19 %, respectivamente. Estes resultados indicam a sensibilidade dos compartimentos ativo e lento às mudanças nos sistemas de manejo e concomitantemente a maior estabilidade do compartimento passivo, como preconizado por alguns autores (Parton et al., 1987; Metherell et al., 1993; Del Grosso et al., 2001). Em 2000, os estoques de C no compartimento ativo nos sistemas de preparo aumentaram em relação aos estoques no início do experimento para cerca de 0,30 Mg ha<sup>-1</sup>. No entanto, para os próximos 50 anos o modelo estimou diminuição dos estoques de C, mesmo para o sistema PD, indicando que apenas a redução da oxidação do C orgânico não será suficiente para recuperar ou aumentar os estoques de C no compartimento ativo. No compartimento lento os estoques de C em 2000 foram de 2,3, 2,8, 2,9 e 2,7 Mg ha<sup>-1</sup>, nos sistemas PD, AD, GPAD, e GP, respectivamente, mantendo-se constantes até o ano de 2050. O compartimento passivo mostrou maior diferenciação entre os sistemas de

preparo do que os compartimentos ativo e lento. Em 2000, os estoques de C foram maiores nos sistemas PD (36 Mg ha<sup>-1</sup>) e GP (31 Mg ha<sup>-1</sup>) e menores nos sistemas AD (29,5 Mg ha<sup>-1</sup>) e GPAD (28 Mg ha<sup>-1</sup>) indicando que após a instalação do experimento apenas os estoques de C no solo sob PD não foram reduzidos. A maior proporção do compartimento passivo (90 %) em relação ao COT, comparativamente aos demais compartimentos, é um indicativo do nível de degradação do solo, significando maior consumo do C ativo e do lento, que são compartimentos mais importantes para liberação e ciclagem de nutrientes, em função das maiores taxas de decomposição.



**Figura 5. Variação temporal dos estoques de carbono orgânico total (COT) (A) e dos compartimentos de carbono ativo (B), lento (C) e passivo (D), simulados pelo modelo Century com base nos valores medidos na Floresta Atlântica, nos sistemas plantio direto (PD), arado de disco (AD), grade pesada+arado de disco (GPAD) e grade pesada (GP).**

### 3.1.3. Estimativa dos compartimentos de nitrogênio

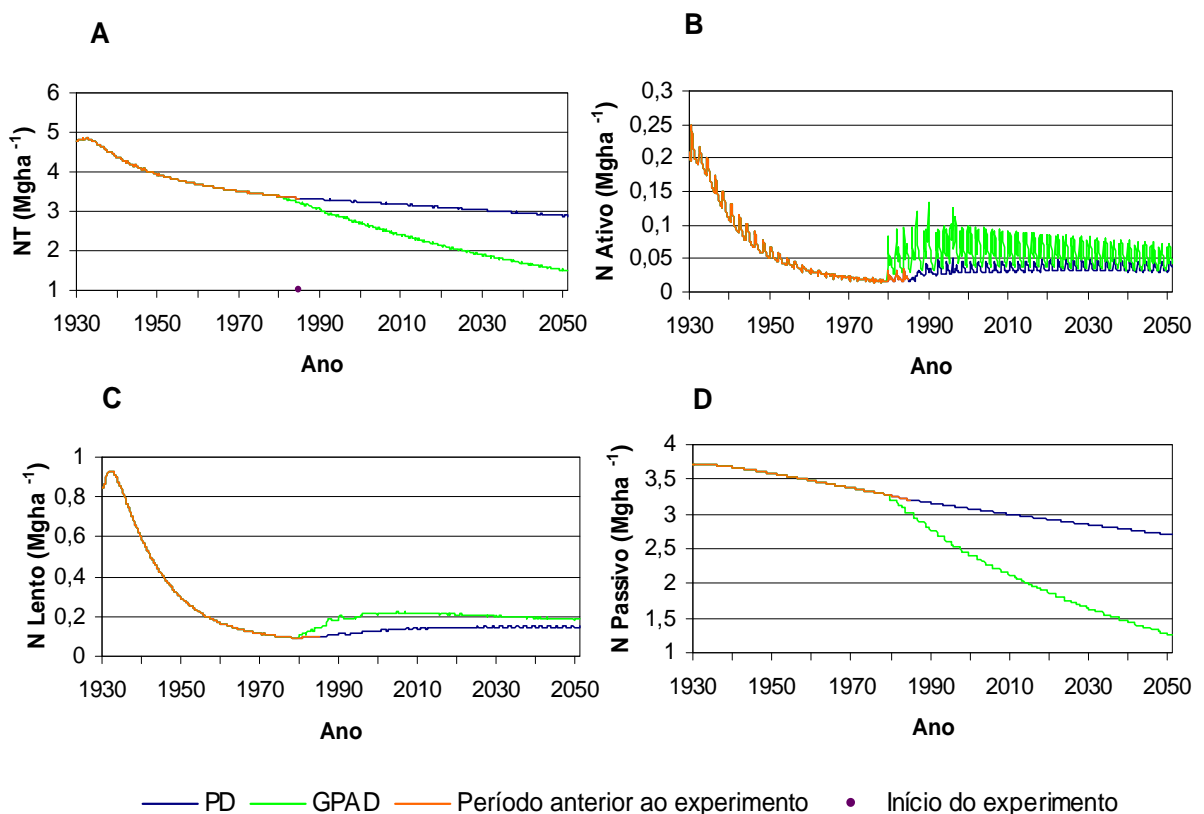
O manejo adotado pelos agricultores após a derrubada da FA também ocasionou redução nos estoques de nitrogênio total (NT). Em 1984, o estoque de NT no solo antes da instalação do experimento foi de  $3,34 \text{ Mg ha}^{-1}$ , o que significa redução de 32 % em relação ao estoque inicial no solo sob FA. Os estoques de NT diminuíram após a adoção dos sistemas PD e GPAD, de forma similar ao observado nos estoques de COT, embora no solo sob sistema PD esta redução tenha sido de menor intensidade do que no solo sob sistema GPAD. No ano de 2000, os estoques de NT nos sistemas PD ( $3,25 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) e GPAD ( $2,70 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) foram menores do que os estoques no início do experimento. Em 2050, o modelo Century estimou que o estoque de NT no solo sob sistema PD ( $2,9 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) será aproximadamente duas vezes maior do que no solo sob GPAD ( $1,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) (Figura 6). Embora as perdas de NT no solo sob sistema PD tenham sido menores em relação ao solo sob sistema convencional, há necessidade de se utilizar culturas, especialmente leguminosas, que possibilitem aumentar o aporte de N, por meio de fixação simbiótica e de elevada fitomassa, além de uso criterioso e balanceado de adubação organo-mineral. O uso de plantas de cobertura para a formação de palha também deve ser incentivado num esquema de rotação de culturas para se aumentar os estoques de C.

Os estoques de nitrogênio (N) nos compartimentos ativo, lento e passivo, de 1930 até 1984, seguiram tendência similar aos estoques de C, mesmo porque, os fluxos do C e do N são diretamente relacionados, de forma que as alterações feitas em um deles são propagadas por meio do outro. Pode-se exemplificar este efeito pela liberação de N via mineralização. O submodelo de N mineraliza o N dos compartimentos apenas se houver liberação de  $\text{CO}_2$  no compartimento correspondente no submodelo de C, enquanto que este, pode ter sua taxa de decomposição regulada pela disponibilidade de N, P e S.

Os estoques de N no compartimento ativo foram maiores no solo sob sistema GPAD em relação ao solo sob sistema PD, durante todo período simulado. Após 15 anos da adoção dos sistemas de preparo, os estoques de N nos solos sob sistemas PD e GPAD foram de  $0,05$  e  $0,1 \text{ Mg ha}^{-1}$ , respectivamente, o que significou aumento, principalmente no solo sob sistema convencional, em relação aos estoques no início do experimento. No ano de 2050, os estoques de N nos solos sob PD ( $0,04 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) e GPAD ( $0,05 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) serão similares aos estoques verificados ao final do período de

uso do solo por parte dos agricultores ( $0,04 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) (Figura 6). Considerando que no submodelo de N, o compartimento ativo está relacionado ao N da biomassa microbiana (Parton et al., 1987), pode-se pressupor que em médio prazo os sistemas PD e GPAD não disponibilizarão substratos à comunidade microbiana em quantidades suficientes para incrementar a biomassa.

No compartimento lento os estoques de N também foram reduzidos após a derrubada da FA. Em 1984, o estoque de N estimado pelo modelo foi de  $0,10 \text{ Mg ha}^{-1}$ , cerca de 85 % menor do que o estoque no solo sob FA. No ano de 2000, os estoques de N no compartimento lento foram maiores no solo sob GPAD ( $0,22 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) do que no solo sob PD ( $0,10 \text{ Mg ha}^{-1}$ ), similarmente ao observado no compartimento ativo. A partir de 2000 até 2050, os estoques de N no solo sob PD tenderam a aumentar gradualmente, alcançando  $0,16 \text{ Mg ha}^{-1}$ , enquanto que, no solo sob GPAD, os estoques de N se estabilizaram, mas diminuíram para cerca de  $0,18 \text{ Mg ha}^{-1}$  (Figura 6). Com isso, a tendência é de que em médio prazo os estoques de N no solo sob sistema PD, se equivalham ou mesmo sejam maiores do que àqueles no solo sob sistema GP.



**Figura 6.** Variação temporal dos estoques de nitrogênio total (NT) (A) e dos compartimentos de nitrogênio, ativo (B), lento (C) e passivo (D) (0-20 cm), simulados pelo modelo Century durante 120 anos no sistema plantio direto (PD) e grade pesada+arado de disco (GPAD).

No compartimento passivo a redução nos estoques de N após a mudança da FA para agricultura foi menos intensa do que nos compartimentos ativo e lento, o que está relacionado à recalitrância deste compartimento (Romanyá et al., 2000). Os estoques de N no compartimento passivo foram maiores durante todo o período simulado no solo sob sistema PD do que no solo sob sistema GPAD, de forma oposta aos resultados verificados nos compartimentos ativo e lento. Os estoques de N, 15 anos após a adoção dos sistemas de preparo, foram de 3,1 e de 2,4 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente para PD e GPAD. O modelo Century estimou até o ano de 2050, diminuição significativa dos estoques de N no solo sob sistema GPAD. Neste ano, os estoques de N no solo sob sistema PD serão de 2,7 Mg ha<sup>-1</sup>, cerca de 47 % maior do que os estoques de N no solo sob GPAD (Figura 6).

#### **3.1.4. Comparação de valores medidos e simulados pelo modelo Century**

Os estoques de COT nos sistemas de preparo, quantificados em laboratório e simulados pelo modelo Century, no ano de 2000, foram similares, principalmente no solo sob sistema PD (Figura 7). Nos solos sob sistemas AD, GPAD e GP os estoques de COT simulados pelo modelo foram maiores do que àqueles medidos, embora esta diferença tenha sido de apenas 4, 0,5 e 6 %, respectivamente. Esta proximidade entre os estoques de COT medidos, e simulados pelo modelo Century também foi observada em diversos estudos, em regiões temperadas (Mikhailova et al., 2000; Alvarez, 2001) e tropicais (Parton et al., 1989; Motavalli et al., 1994) e indica que o modelo apresenta sensibilidade para diferenciar os sistemas de manejo estudados.

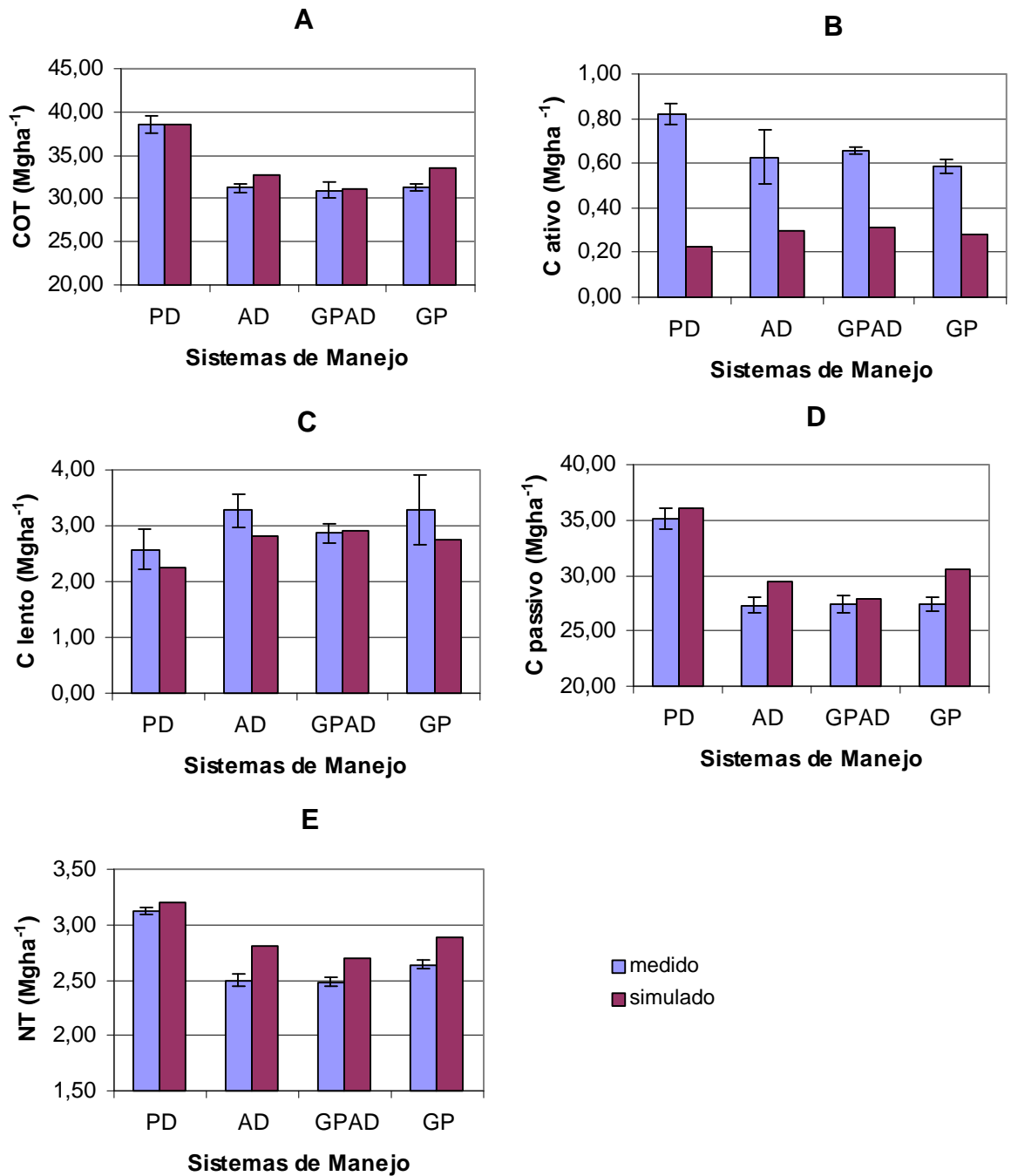
No compartimento ativo, os estoques de C simulados pelo modelo Century foram subestimados em relação aos estoques medidos por meio do C da biomassa microbiana, em todos os sistemas de preparo (Figura 7). As maiores diferenças entre os estoques simulados e medidos foram observadas no sistema PD (70 %) e as menores no sistema GP (51 %), de forma similar ao observado por Parton et al. (1994). Estes resultados estão provavelmente relacionados aos fatores que controlam a alocação de C para o compartimento ativo. O modelo Century considera como fatores reguladores do compartimento ativo, a umidade, a temperatura e o cultivo, além da textura do solo. No entanto, além dos aspectos ambientais, o crescimento microbiano é modulado pela disponibilidade de substrato e fertilidade do solo, que não são considerados no modelo. Além disto, é possível também que a taxa de decomposição do compartimento ativo

esteja superestimada ou que o fator de conversão ( $K_c$ ) usado no cálculo da biomassa microbiana necessite ser ajustado às condições tropicais.

Os estoques de C no compartimento lento também foram subestimados pelo modelo Century, em relação aos valores medidos por meio do C da fração leve, com exceção do sistema GPAD, que apresentou estoques simulados e medidos praticamente iguais. Apesar disso, as diferenças entre valores simulados e medidos foram pequenas, sendo de 13, 14 e 16 %, respectivamente para os sistemas PD, AD e GP (Figura 7), o que confirma uma adequação em solos tropicais do método analítico ao compartimento pressuposto pelo modelo. A subestimativa feita pelo modelo neste estudo não corroborou com os resultados obtidos por Motavalli et al. (1994) em diversos solos tropicais, nos quais foram verificados maiores estoques de C no compartimento lento estimado pelo modelo Century do que naqueles observados analiticamente por meio do C da fração leve. Por isso, é importante a realização de mais estudos que otimizem a relação entre a conceituação teórica dos compartimentos no modelo Century e as frações quantificadas química ou fisicamente, principalmente em solos tropicais. Os estoques de C no compartimento passivo, simulados pelo modelo Century e obtidos por diferença foram similares, principalmente nos sistemas PD e GPAD. Nos sistemas AD e GP, as diferenças entre os estoques de C simulados pelo modelo e obtidos por diferença foram de 7 e 10 %, respectivamente.

Na simulação com o modelo Century, os maiores estoques de C foram observados nos sistemas convencionais comparativamente ao sistema PD, especialmente nos compartimentos ativo e lento, o que pode ser atribuído à profundidade de amostragem de 20 cm. Em sistemas sob PD, os conteúdos de C e de nutrientes estão concentrados em camadas superficiais, enquanto que, em sistemas convencionais a distribuição é mais uniforme ao longo do perfil do solo (Alvarez et al., 1998; Yang & Kay, 2001).

Os estoques do NT simulados pelo modelo foram maiores (7-10 %) do que os estoques obtidos pelo método analítico, com exceção do sistema PD em que os estoques foram similares (Figura 7), igualmente ao observado por Fernandes (2002) em Argissolo Vermelho no Rio Grande do Sul. No entanto, há a necessidade de condução de mais trabalhos para ratificar estes resultados.



**Figura 7.** Comparação dos estoques de carbono orgânico total (COT) (A), dos compartimentos de carbono, ativo (B), lento (C) e passivo (D) e do nitrogênio total (NT) (E), medidos e simulados pelo modelo Century em diferentes sistemas de manejo após 15 anos de cultivo. Para valores medidos, n=4. PD=plantio direto; AD=arado de disco; GPAD=grade pesada+arado de disco; GP=grade pesada.

### 3.1.5. Estimativa de emissão de C-CO<sub>2</sub> pelos sistemas de preparo

Após 15 anos de instalação do experimento, os sistemas de preparo não apresentaram potencial de seqüestro de C. As maiores emissões de C-CO<sub>2</sub> foram observadas no sistema GPAD, tanto pelos valores medidos (7,7 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) quanto pelos valores simulados pelo modelo Century (2,06 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>). Por outro lado, o sistema PD apresentou as menores emissões de C-CO<sub>2</sub> (5,6 e 0,26 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, respectivamente para valores medidos e simulados) o que pode significar uma tendência de seqüestro de C- CO<sub>2</sub> em médio e longo prazo (Quadro 2).

As estimativas de emissão de C- CO<sub>2</sub> por meio dos valores medidos foram maiores do que as estimativas feitas pelos valores simulados. As diferenças nas taxas de emissão de C- CO<sub>2</sub> entre valores medidos e simulados foram de 95, 77, 73 e 79 % para PD, AD, GPAD e GP, respectivamente. O estoque de COT simulado pelo modelo Century no início do experimento (40 Mg ha<sup>-1</sup>) e usado para estimativa de emissão de C-CO<sub>2</sub> foi menor do que o estoque de COT medido (44,9 Mg ha<sup>-1</sup>) o que significou menores perdas de COT, e conseqüentemente menor emissão de C- CO<sub>2</sub>, decorridos 15 anos do período experimental. Além disso, os valores “medidos” não são efetivamente quantificados em câmaras ou coletores específicos para gases emitidos do solo, o que pode ter incrementado a diferença em relação aos valores simulados; porém os resultados da simulação são também uma estimativa, pois se trata de um cálculo envolvendo um fator de conversão de C para CO<sub>2</sub>.

**Quadro 2. Estimativa de emissão de C-CO<sub>2</sub> (0-20 cm) obtida por meio de valores de carbono orgânico total, medidos e simulados pelo modelo Century após 15 anos de cultivo.**

Sistema	Emissão C-CO <sub>2</sub>		Taxa C-CO <sub>2</sub>	
	medido	simulado	medido	simulado
	Mg ha <sup>-1</sup>		Mg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
PD	84,0	4,0	5,61	0,26
AD	112,3	25,3	7,48	1,69
GPAD	115,9	30,9	7,72	2,06
GP	106,3	21,8	7,09	1,45

PD: plantio direto, AD: arado de disco, GPAD: grade pesada+arado de disco, GP: grade pesada.

### 3.1.6. Criação de cenários

A simulação por meio do modelo Century mostrou que a utilização do sistema PD a partir de 2002 nas áreas sob sistemas AD, GPAD e GP resultaria em aumento nos estoques de COT. No ano de 2050, os estoques de COT serão de 28, 26 e 29 Mg ha<sup>-1</sup> sob monocultivo de milho e de 31, 30 e 31 Mg ha<sup>-1</sup> sob sucessão trigo-soja, respectivamente para AD, GPAD e GP (Figura 8). Estes estoques são maiores do que aqueles observados neste mesmo ano, nas simulações referências dos sistemas AD (19,8 Mg ha<sup>-1</sup>), GPAD (17 Mg ha<sup>-1</sup>) e GP (21 Mg ha<sup>-1</sup>) (Figura 5). A substituição do sistema PD sob monocultivo de milho (situação atual) para sucessão trigo-soja elevaria os estoques de COT para 39 Mg ha<sup>-1</sup>, o que significa cerca de 5 Mg ha<sup>-1</sup> a mais em relação ao estoques de COT sob monocultivo de milho.

O modelo Century simulou para COT, também a partir de 2002, a mudança do sistema PD para cada um dos sistemas de preparo convencionais sob sucessão trigo-soja. Os estoques de COT no ano de 2050 serão de 25, 23 e 24 Mg ha<sup>-1</sup>, nos sistemas sob AD, GPAD e GP, respectivamente (Figura 9), o que representa redução de cerca de 10 Mg ha<sup>-1</sup> em relação aos estoques de COT no solo sob sistema PD. Estes resultados indicam que além da diminuição da oxidação do C por meio do menor revolvimento do solo, obtida com o uso de sistemas conservacionistas de preparo de solo, como o PD, há a necessidade de estimular o uso de sucessão gramínea-leguminosa que possibilite maior aporte de C aos sistemas, como recomendado em diversos trabalhos (Bayer & Mielniczuck, 1997; Batjes, 1999; Amado et al., 2001)

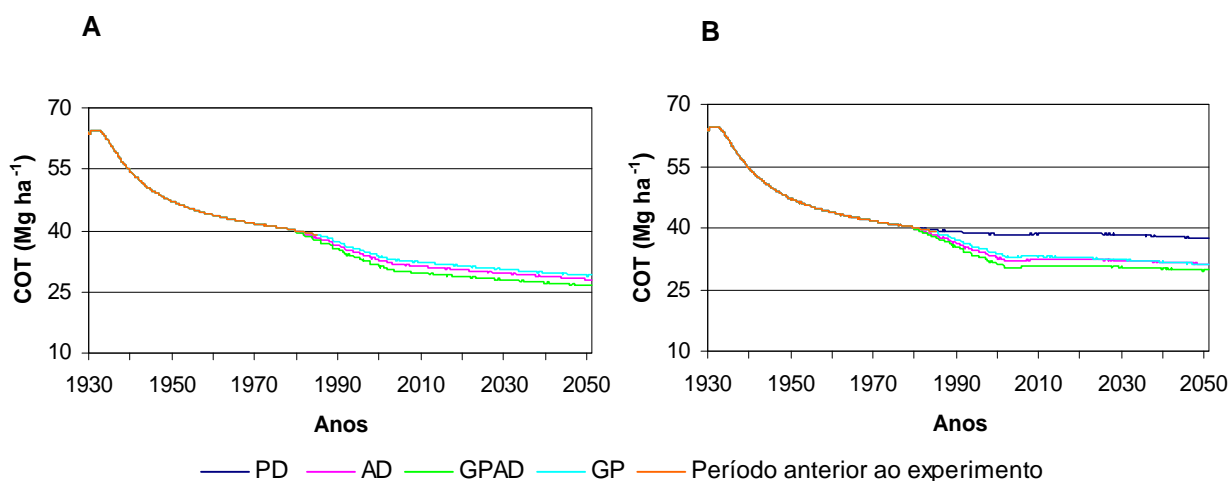
### 3.1.7. Análise de sensibilidade

As variáveis de entrada temperatura do ar e estoque inicial de COT foram mais sensíveis do que os parâmetros argila, aporte de C pelas culturas e precipitação, devido às maiores alterações observadas nos estoques de COT (Figura 10). Uma mudança de +20 % na temperatura do ar resultou em decréscimo nos estoques de COT, no ano de 2000, de 2,3 (6 %), 3,2 (9,8 %), 3,2 (10 %) e 2,96 Mg ha<sup>-1</sup> (8,6 %), sob sistemas PD, AD, GPAD e GP, respectivamente. Por outro lado, a mudança de -20 % na temperatura do ar propiciou aumento nos estoques de COT, da mesma ordem de magnitude da mudança positiva, demonstrando que a temperatura tem um efeito linear nas mudanças dos estoques de COT, diferentemente do que foi observado por Smith et al. (1997).

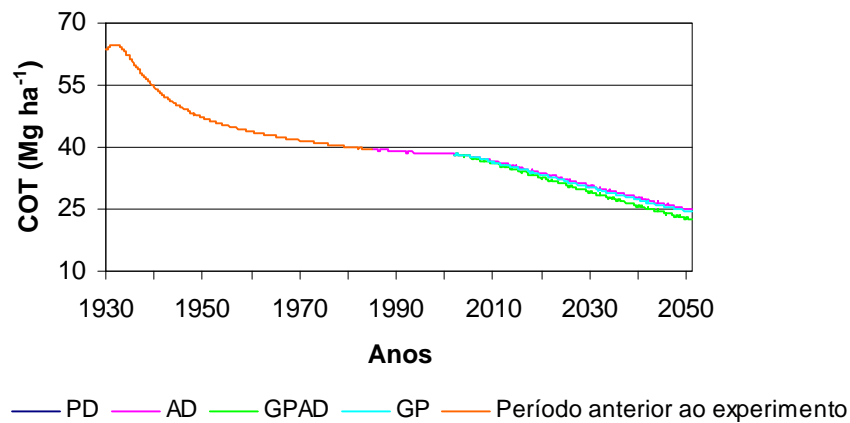
Diversas taxas modificam-se quando a temperatura se altera. O crescimento vegetal e a adição de biomassa ao solo podem aumentar com aumento da temperatura, mas a taxa de decomposição da matéria orgânica também aumenta o que propicia redução nos estoques de C, indicando que, mesmo que se aumente o aporte de C do solo, o teor de matéria orgânica responderá somente em longo prazo. Estes resultados demonstram a importância dos fatores ambientais no controle da dinâmica da matéria orgânica. Assim, toda a discussão acerca do sequestro de C mudando o manejo dos resíduos vegetais, deve ser revista.

Em todos os sistemas de preparo, o estoque inicial de COT na FA propiciou as maiores alterações nos estoques de COT. A variação de +20 % aumentou os estoques de COT em 18 % tanto para o sistema PD, quanto para os sistemas convencionais. Este percentual representou acréscimo nos estoques de COT de aproximadamente 7 e 6 Mg ha<sup>-1</sup> para os sistemas PD e convencionais, respectivamente. De forma similar à temperatura, o estoque inicial de COT apresentou uma influência linear na dinâmica do C. Esta maior sensibilidade do COT inicial às mudanças no COT, também foi observada nos estudos de Smith et al. (1997).

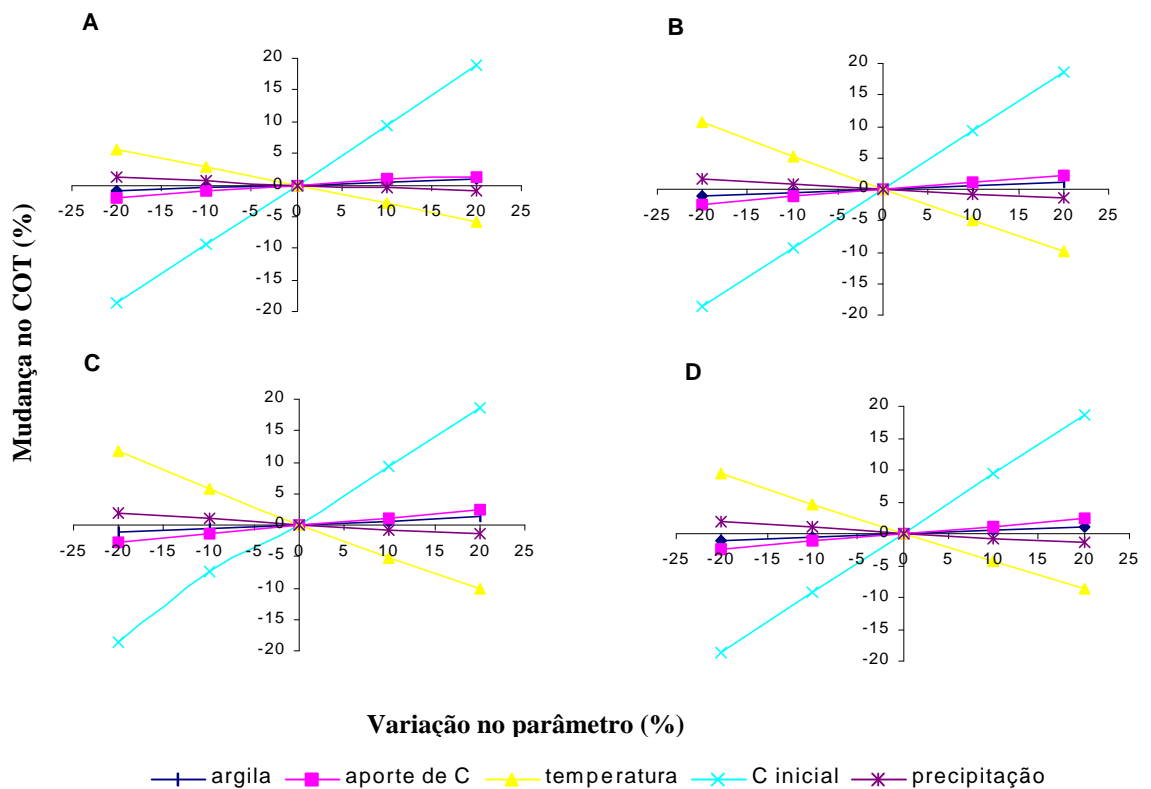
Apesar da importância do teor de argila nos fluxos dos compartimentos e por isso nos estoques de COT, o modelo não foi sensível às variações produzidas. Isto pode ser decorrente da forte influência dos sistemas de manejo adotados no resultado final da simulação, inibindo os efeitos deste parâmetro.



**Figura 8. Simulação da mudança, a partir de 2002, dos eventos dos sistemas arado de disco (AD), grade pesada+arado de disco (GPAD) e grade pesada (GP) para plantio direto (PD), sob monocultivo de milho (A) (cenário 1) e sucessão de trigo-soja (B) (cenário 2), sobre os estoques de carbono orgânico total (COT).**



**Figura 9. Simulação da mudança, a partir de 2002, dos eventos do sistema plantio direto (PD) para os sistemas, arado de disco (AD), grade pesada+arado de disco (GPAD) e grade pesada (GP), sob sucessão de trigo-soja (cenário 3), sobre os estoques de carbono orgânico total (COT).**



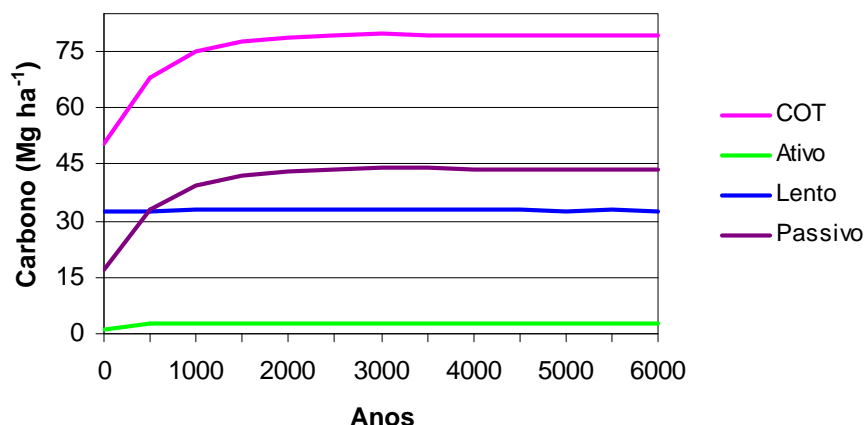
**Figura 10. Análise de sensibilidade dos parâmetros argila, aporte de carbono pelas culturas, temperatura do ar, estoque inicial e precipitação, nos sistemas plantio direto (A), arado de disco (B), grade pesada+arado de disco (C) e grade pesada (D), sobre os estoques de carbono orgânico total (COT).**

## **3.2. Experimento com sistemas de adubação mineral e orgânica**

### **3.2.1. Estimativa dos compartimentos de carbono pelos valores de equilíbrio**

Os estoques de COT e de C no compartimento passivo aumentaram durante a simulação por 6000 anos realizada pelo modelo Century (Figura 11). Após este período, o estoque de COT foi de 79 Mg ha<sup>-1</sup>, o que significou cerca de 20 % a mais do que o estoque observado na Floresta Atlântica (63,95 Mg ha<sup>-1</sup>). No compartimento passivo, o estoque de C simulado pelo Century foi de 44 Mg ha<sup>-1</sup> (56 %), similar ao observado na Floresta Atlântica (44,6 Mg ha<sup>-1</sup>). Os estoques de C nos compartimentos ativo e lento apresentaram variações pouco significativas durante o período simulado. Após 6000 anos, o estoque de C no compartimento ativo foi de 2,1 Mg ha<sup>-1</sup> (3 %), 23 % maior do que aquele verificado na Floresta Atlântica (1,6 Mg ha<sup>-1</sup>) e no compartimento lento foi de 33 Mg ha<sup>-1</sup> (42 %), aproximadamente o dobro do observado na Floresta Atlântica (17,7 Mg ha<sup>-1</sup>) (Figura 11).

Os maiores estoques de COT observados na simulação de equilíbrio em relação à Floresta Atlântica foram atribuídos ao maior teor de argila do solo no experimento de adubação (70 %) comparado ao teor de argila observado no solo sob Floresta Atlântica (46 %). Com maior teor de argila, há maior estabilidade dos compostos orgânicos por meio de proteção física, retardando a decomposição microbiana. Além disso, a elevada superfície específica da argila proporciona maior reatividade, o que aumenta as interações com a matéria orgânica. Assim, solos argilosos teriam também maior proteção química (coloidal) do que os solos arenosos (Baldock & Skjemstad, 2000). No modelo Century, a textura do solo desempenha importante papel, influenciando a taxa de reciclagem do C no compartimento ativo (maior reciclagem para solos arenosos) e a estabilização do C no compartimento lento (maior para solos argilosos) (Metherell et al., 1993) e isto contribuiu para aumento dos estoques de C no compartimento lento e conseqüentemente no COT.



**Figura 11. Estimativa por meio do modelo Century dos estoques de carbono orgânico total (COT) e dos compartimentos de carbono orgânico de um Argissolo Vermelho-Amarelo (0-20 cm) sob Floresta Atlântica.**

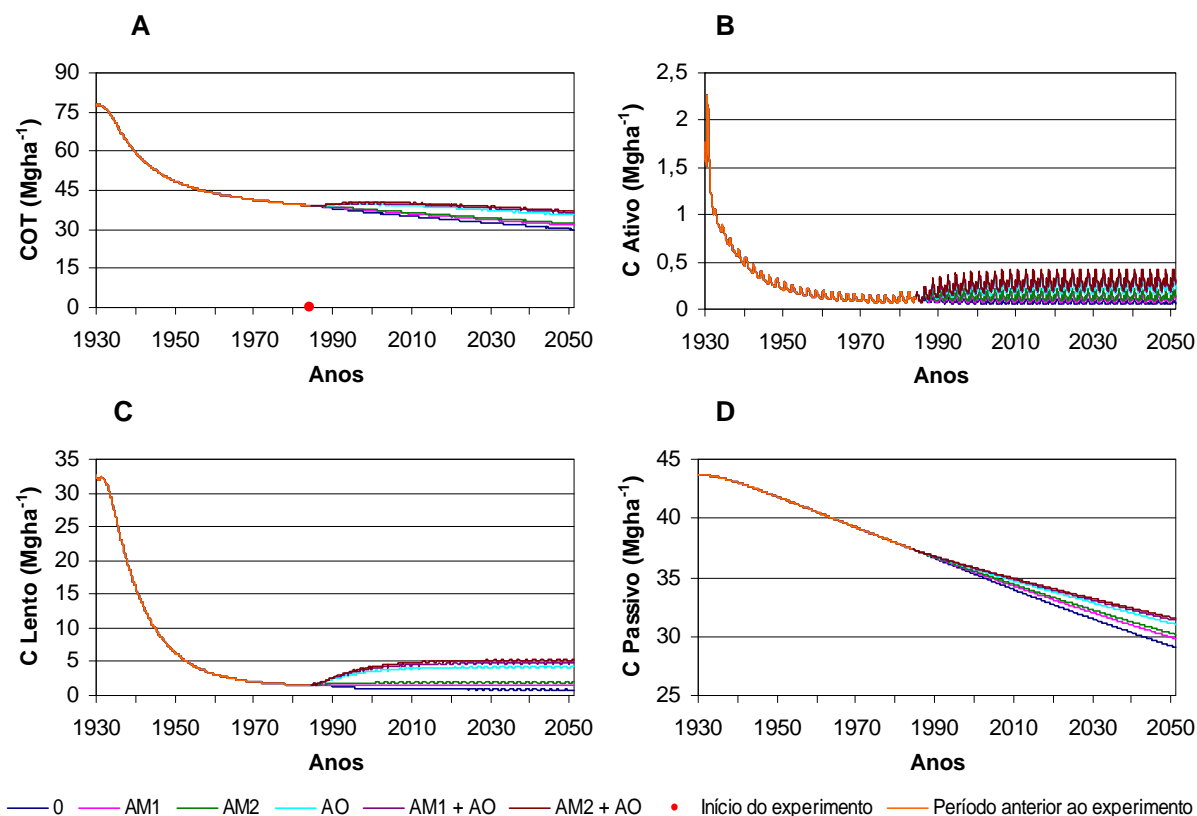
Os estoques de COT simulados pelo modelo Century durante 120 anos, a partir dos valores obtidos na simulação de equilíbrio, diminuiram após a adoção da agricultura (Figura 12). Em 1984, início do experimento, o estoque de COT foi de  $39 \text{ Mg ha}^{-1}$ , o que significou redução de 50 % em relação aos estoques iniciais na Floresta Atlântica ( $79 \text{ Mg ha}^{-1}$ ). Este decréscimo pode ser atribuído ao manejo adotado pelos agricultores, calcado em sistemas de preparo convencionais que maximizam a oxidação do C e aos sistemas de culturas com reduzido aporte de resíduos, que diminuem a entrada de C ao solo. A utilização dos sistemas de manejo não contribuiu para aumento dos estoques de COT. No ano de 2000, estes estoques foram menores no solo sob sistemas sem adubação orgânica ( $37 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) do que no solo sob sistemas com adubação orgânica ( $40 \text{ Mg ha}^{-1}$ ), similarmente ao verificado por Liang et al. (1996) também com o modelo Century, e provavelmente foi devido ao maior retorno de C e N ao solo nos sistemas com aporte orgânico. Esta tendência permaneceu até o final do período simulado.

Os estoques de C no compartimento ativo no solo sob Floresta Atlântica ( $2,2 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) diminuiram de forma intensa após a adoção da agricultura. (Figura 12). Em 1984, o estoque de C no compartimento ativo foi de  $0,11 \text{ Mg ha}^{-1}$ , o que representa uma perda de 95 % em relação ao estoque observado na Floresta Atlântica. No modelo Century, o compartimento ativo está associado à biomassa microbiana que apresenta curto tempo de reciclagem e maior sensibilidade às ações antrópicas e às alterações de manejo do que o COT (Powlson et al., 1987), o que contribuiu para perdas de maior magnitude. Em 2000, apenas o estoque de C no compartimento ativo do sistema 0, permaneceu inalterado em relação ao início do experimento. Nos sistemas AM1, AM2, AO,

AM1+AO e AM2+AO, estes estoques aumentaram para 0,18, 0,21, 0,31, 0,36 e 0,40, Mg ha<sup>-1</sup> respectivamente (Figura 12). No entanto, no final do período simulado, em 2050, os estoques de C serão novamente reduzidos para 0,10 Mg ha<sup>-1</sup> no solo sob sistemas sem adubação orgânica e para 0,26 Mg ha<sup>-1</sup> no solo sob sistemas com adubação orgânica, caracterizando o curto período de permanência deste compartimento no solo. O aumento no tamanho do compartimento ativo em sistemas com adubação orgânica comparativamente aos sistemas sem adubação orgânica foi também observado por Paustian et al. (1992) em simulação com o modelo Century.

O compartimento lento que apresenta tempo de ciclagem intermediário entre o compartimento ativo e o passivo também se mostrou mais sensível às mudanças no manejo do que o COT (Figura 12). O estoque de C no compartimento lento na instalação do experimento foi de 1,6 Mg ha<sup>-1</sup> significando uma diminuição de 95 % em relação ao estoque verificado no solo sob Floresta Atlântica. Quinze anos após o início do experimento, apenas os sistemas com adubação orgânica resultaram em recuperação nos estoques de C no compartimento lento. Nos sistemas AO, AO+AM1 e AO+AM2 os estoques foram de 3,6, 4,0 e 4,3 Mg ha<sup>-1</sup>, o que representou aumento em relação ao estoque do início do experimento de 56, 60 e 63 %, respectivamente. A partir do ano 2000 até 2050, o modelo Century estimou diminuição nos estoques de C no compartimento lento, nos solos sob sistemas sem a presença da adubação orgânica. Por outro lado, nos solos sob sistemas com adubação orgânica os estoques aumentaram para 4,1 (AO), 4,7 (AO+AM1) e 5,1 Mg ha<sup>-1</sup> (AO+AM2), o que confirma a importância da adubação orgânica na melhoria da qualidade do solo em médio e longo prazo.

A diminuição nos estoques de C no compartimento passivo após a mudança da Floresta Atlântica para agricultura foi de menor intensidade do que nos compartimentos ativo e lento, devido à presença dos compostos fisicamente protegidos no interior dos agregados e quimicamente recalcitrantes associados a este compartimento (Figura 12). Os estoques de C no compartimento passivo foram similares nos diferentes sistemas de manejo.



**Figura 12. Variação temporal dos estoques de carbono orgânico total (COT) (A) e dos compartimentos de carbono, ativo (B), lento (C) e passivo (D), simulados pelo modelo Century com base nos valores iniciais obtidos na simulação de equilíbrio nos sistemas 0: testemunha; AM1: 250 kg ha<sup>-1</sup> de 4-14-8 + 20 kg N ha<sup>-1</sup> em cobertura; AM2: 500 kg ha<sup>-1</sup> de 4-14-8 + 40 kg N ha<sup>-1</sup> em cobertura; AO: adubo orgânico, 40 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>; AM1 + AO e AM2+AO.**

### 3.2.2. Estimativa dos compartimentos de carbono por meio dos valores medidos

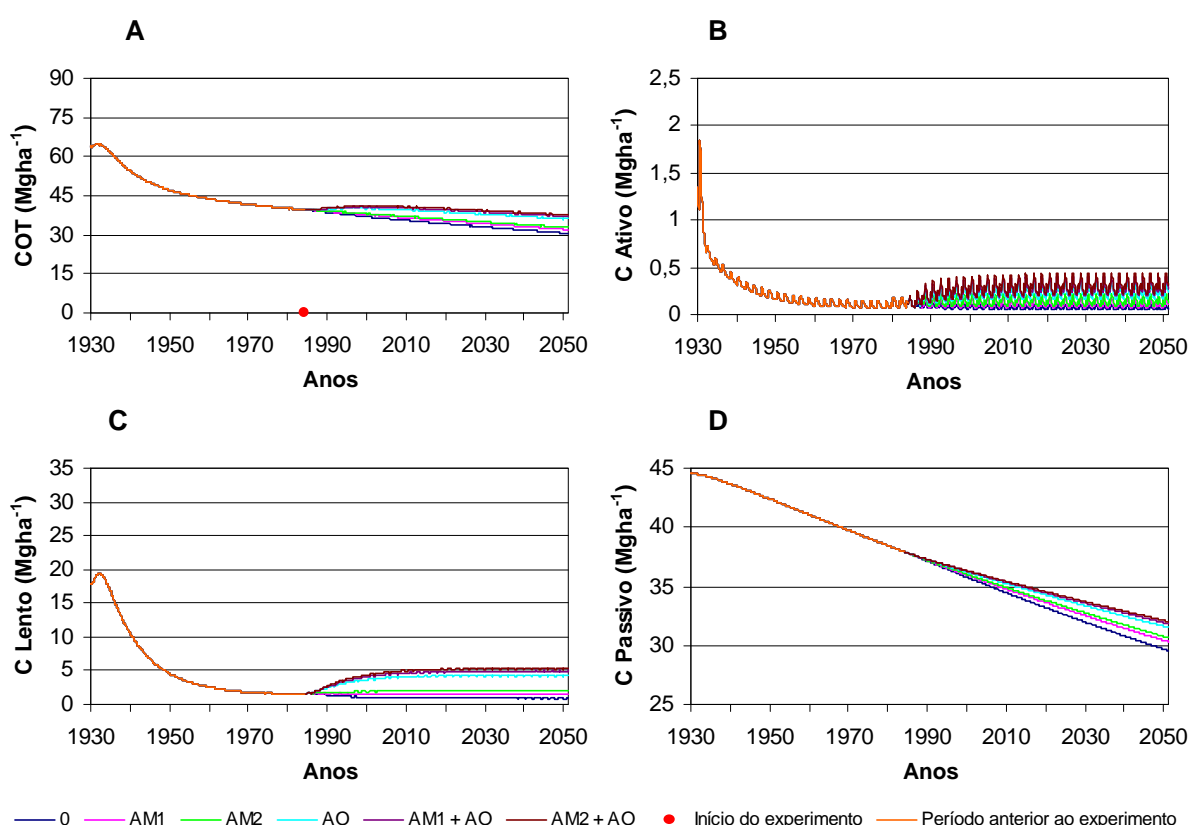
Os estoques iniciais de COT (63,95 Mg ha<sup>-1</sup>) e de C nos compartimentos ativo (1,59 Mg ha<sup>-1</sup>), lento (17,8 Mg ha<sup>-1</sup>) e passivo (44,6 Mg ha<sup>-1</sup>) medidos na Floresta Atlântica foram menores do que os estoques obtidos na simulação de equilíbrio, devido ao maior teor de argila no solo sob experimento de adubação (70 %) em comparação ao solo sob Floresta Atlântica (46 %). Apesar desta diferença, a tendência verificada após a derrubada da floresta e conseqüente uso da agricultura foi similar tanto no método indireto, por meio da simulação de equilíbrio, quanto no método direto, por meio dos valores medidos na Floresta Atlântica.

O estoque de COT no início do experimento foi de 40 Mg ha<sup>-1</sup>, o que representou 37% de perda em relação ao estoque inicial na Floresta Atlântica (Figura 13). Após a adoção dos sistemas de manejo, observou-se tendência de maiores estoques de COT nos sistemas com adubação orgânica em relação àqueles com adubação mineral

ou sem adubação. Em 2000, quinze anos após a instalação do experimento, os estoques de COT nos solos sob sistemas 0, AM1, AM2, AO, AM1+AO e AM2+AO foram de 36,8, 37,7, 38,1, 40,2, 40,8 e 41,1 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, o que indica um balanço equilibrado entre adições e perdas de C nos sistemas com a presença da adubação orgânica, desde o início do experimento. A partir do ano de 2000, há diminuição gradativa nos estoques de COT, especialmente nos sistemas que não continham o adubo orgânico. Ao final do período simulado, em 2050, os estoques de COT nos sistemas serão de 30, 32, 33, 36, 37 e 38 Mg ha<sup>-1</sup>, o que significa perdas de 23, 20, 18, 10, 7 e 6 % em relação ao estoque de COT no início do experimento. Estes resultados indicam que a adubação química é um fator importante na desestabilização da matéria orgânica do solo, e que a dose de adubação orgânica usada não foi suficiente para manutenção dos estoques desta matéria orgânica.

O estoque de C no compartimento ativo decresceu após a mudança da Floresta Atlântica para agricultura (Figura 13). Em 1984, similarmente ao observado na simulação de equilíbrio, o estoque de C foi de 0,11 Mg ha<sup>-1</sup>, o que representa uma perda de 93 % em relação aos estoques iniciais da Floresta Atlântica. A adoção dos sistemas AO, AO+AM1 e AO+AM2, possibilitou aumento nos estoques de C para 0,3, 0,38 e 0,4 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, no ano de 2000. Porém, 50 anos depois, os estoques de C no compartimento ativo tornaram a decrescer, igualmente observado na simulação de equilíbrio. No compartimento lento, o estoque de C no início do experimento foi de 1,61 Mg ha<sup>-1</sup> apresentando perda de 91 % em relação ao estoque da Floresta Atlântica (Figura 13). Em 2000, os estoques de C no solo sob sistemas 0, AM1, AM2, AO, AM1+AO e AM2+AO foram de 1,0, 1,6, 1,9, 3,7, 4,1 e 4,4 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, indicando ganho de C nos sistemas com a presença de adubação orgânica de cerca de 60 % em relação ao estoque de C no início do experimento. Esta tendência permaneceu durante o restante do período simulado e em 2050 os estoques de C no solo sob sistemas AO, AO+AM1 e AO+AM2 serão de 4,2, 4,8 e 5,2 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Considerando que o compartimento lento é constituído pelo C da fração leve e que responde mais rapidamente às alterações do manejo, pode-se confirmar por meio destes resultados que a adubação orgânica deve ser prática de manejo aplicada em qualquer agroecossistema. Os estoques de C no compartimento passivo não apresentaram mudanças significativas ao longo do período simulado, devido à presença de compostos de maior estabilidade (Figura 13).

Os estoques de COT e de C nos compartimento ativo, lento e passivo, tanto por meio da simulação de equilíbrio quanto por meio dos valores medidos foram reduzidos após a mudança da Floresta Atlântica para agricultura, devido principalmente ao preparo convencional do solo adotado pelos agricultores. A destruição dos agregados associada ao aumento da quantidade de C adicionada na subsuperfície, e a criação de um ambiente físico-químico e microclima favoráveis à decomposição microbiana, principalmente quanto à temperatura, água no solo e aeração, propiciaram a mineralização da matéria orgânica do solo, diminuindo não somente os estoques de C nos compartimentos mais lábeis, mas também naqueles com maior estabilidade. Além disto, a ausência de aporte externo de C contribuiu para aumentar as perdas. No entanto, a adoção dos sistemas com adubação orgânica a partir de 1984, aumentaram os estoques de C, especialmente no compartimento lento, devido a maior influência das mudanças no manejo neste compartimento.



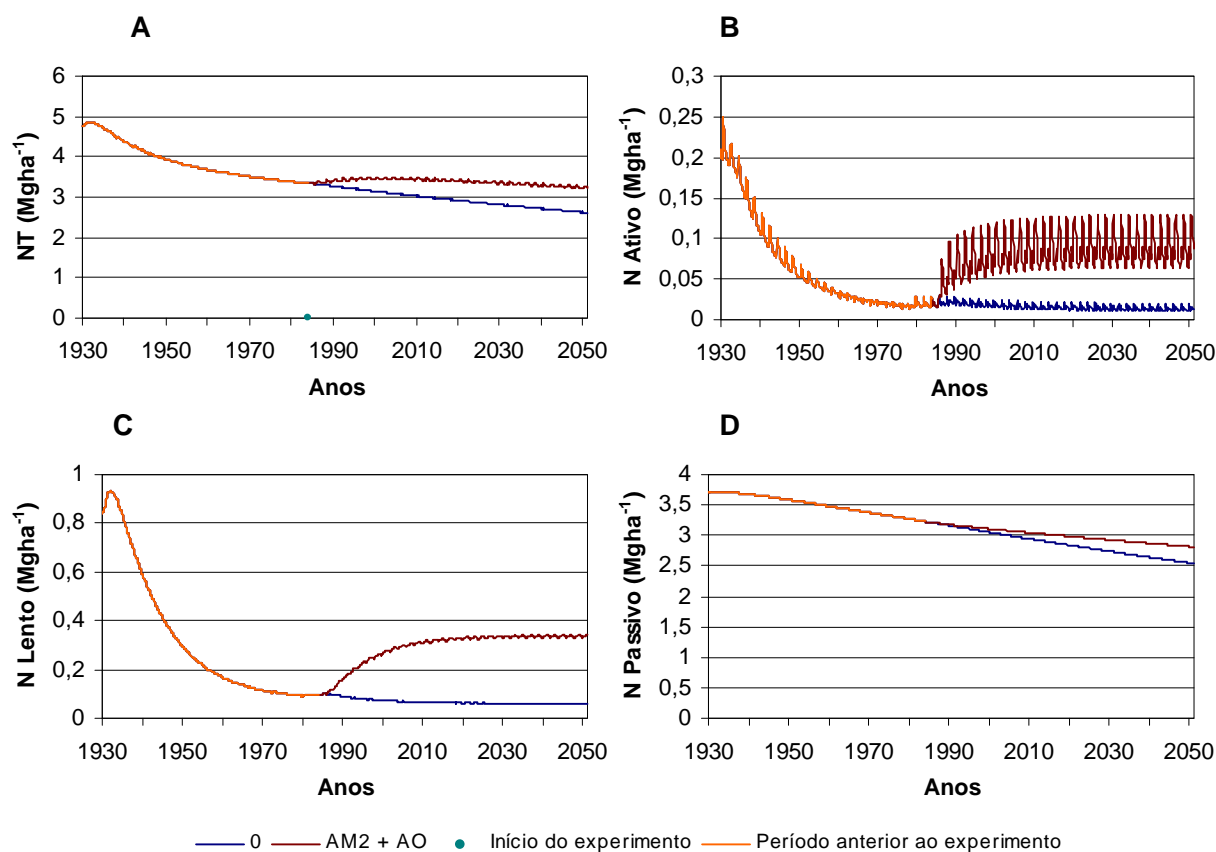
**Figura 13.** Variação temporal dos estoques de carbono orgânico total (COT) (A) e dos compartimentos de carbono, ativo (B), lento (C) e passivo (D), simulados pelo modelo Century com base nos valores medidos na Floresta Atlântica, nos sistemas 0 (testemunha); AM1: 250 kg ha<sup>-1</sup> de 4-14-8 + 20 kg N ha<sup>-1</sup> em cobertura; AM2: 500 kg ha<sup>-1</sup> de 4-14-8 + 40 kg N ha<sup>-1</sup> em cobertura; AO: adubo orgânico, 40 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>; AM1 + AO e AM2+AO.

### 3.2.3. Estimativa dos compartimentos de N e relação C:N

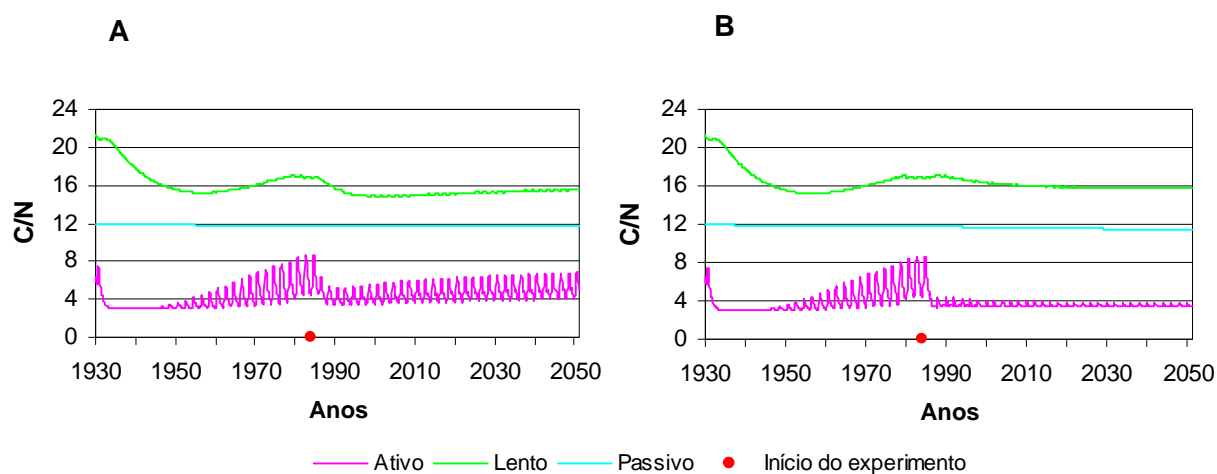
Após a derrubada da Floresta Atlântica e posterior introdução dos sistemas agrícolas, observou-se diminuição nos estoques de NT, similarmente ao observado nos estoques de COT (Figura 14). Em 1984, o estoque de NT foi de  $3,3 \text{ Mg ha}^{-1}$  o que representa perdas de  $1,6 \text{ Mg ha}^{-1}$  (33 %) em relação ao estoque observado na Floresta Atlântica. No entanto, a adoção do sistema AM2+AO possibilitou a recuperação dos estoques de NT. No ano de 2000, os estoques de NT nos solos sob a testemunha e sob o sistema com adubação orgânica foram de  $3,1$  e  $3,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ , respectivamente. Esta diferença entre os dois sistemas aumentou em médio prazo e no ano de 2050, os estoques dos sistemas 0 e AM2+AO serão de  $2,6$  e  $3,3 \text{ Mg ha}^{-1}$ , respectivamente.

A diminuição nos estoques de N no compartimento ativo, durante o período em que a área estava sob uso dos agricultores (1930-1979) foi de maior intensidade do que aquela observada nos estoques de NT, devido a maior sensibilidade da biomassa microbiana, que representa o compartimento ativo, às mudanças no manejo. No início do experimento o estoque de N no compartimento ativo foi de  $0,03 \text{ Mg ha}^{-1}$ , aproximadamente 80 % menor do que o estoque na Floresta Atlântica (Figura 14). O sistema AM2+AO aumentou os estoques de N no compartimento ativo em relação ao início do experimento. No ano de 2000, os estoques no solo sob os sistemas sem e com a presença da adubação orgânica foram de  $0,02$  e  $0,12 \text{ Mg ha}^{-1}$ , respectivamente, o que ressalta a importância da adubação orgânica na recuperação dos estoques de N. No compartimento lento a tendência na dinâmica de N foi similar àquela observada no compartimento ativo. As perdas verificadas nos estoques de N após a derrubada da Floresta Atlântica e conseqüente adoção de sistema agrícola foram de 78 %. Quinze anos após a introdução dos sistemas de manejo, os estoques de N no compartimento lento no solo sob sistema 0 e AM2+AO foram respectivamente,  $0,07$  e  $0,28 \text{ Mg ha}^{-1}$  (Figura 14), o que confirma o potencial do sistema com adubação orgânica em recuperar os estoques de N que foram reduzidos devido ao manejo inadequado utilizado pelos agricultores.

A relação C:N do compartimento ativo variou de 4 a 8, durante o período simulado tanto no sistema 0 quanto no sistema AM2+AO (Figura 15). No compartimento lento a relação C:N foi maior, flutuando de 22 a 16 também em ambos os sistemas. A maior estabilidade do compartimento passivo causou a menor variação observada na relação C:N (Figura 15).



**Figura 14.** Variação temporal dos estoques de nitrogênio total (NT) (A) e dos compartimentos de nitrogênio, ativo (B), lento (C) e passivo (D) (0-20 cm), nos sistemas 0 (testemunha) e AM2+AO (500 kg ha<sup>-1</sup> de 4-14-8 + 40 kg N ha<sup>-1</sup> em cobertura + adubo orgânico, 40 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>).



**Figura 15.** Relação C/N nos compartimento ativo, lento e passivo nos sistemas 0 (testemunha) (A) e AM2+AO (500 kg ha<sup>-1</sup> de 4-14-8 + 40 kg N ha<sup>-1</sup> em cobertura + adubo orgânico, 40 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) (B).

### 3.2.4. Comparação de valores medidos e simulados pelo modelo Century.

Os estoques de COT medidos e simulados pelo modelo Century foram similares nos sistemas sem a presença da adubação orgânica, igualmente ao observado no experimento com sistemas de preparo (Figura 16). As diferenças entre estoques medidos e simulados nos sistemas 0, AM1 e AM2, foram de 0,05, 4,3 e 4,5 %, respectivamente, corroborando com os estudos feitos por Liang et al. (1996) e confirmando a potencialidade do modelo em simular COT em solos tropicais. Nos sistemas com a presença da adubação orgânica, os estoques de COT simulados pelo modelo Century foram subestimados em torno de 17 %, o que pode ser atribuído à ausência no modelo dos mecanismos que controlam a exsudação de C pelas raízes e seu metabolismo microbiano, intensamente presentes em solos sob a presença da adubação orgânica (Monreal et al., 1997). Além disso, a ausência no modelo da mineralogia, predominantemente oxídica nos solos tropicais, com a formação de complexo organo-mineral, pode também ter auxiliado na subestimação dos estoques de COT nos sistemas com a adubação orgânica, conforme preconizado por Wooster et al. (1994). Estes resultados enfatizam o efeito conjunto da granulometria, principalmente em solos com alto teor de argila, como neste estudo, e da mineralogia, por meio da proteção química coloidal.

Nos estoques de COT, medidos e simulados, não foi verificada diferenciação entre os sistemas AO, AM1+AO e AM2+AO. No modelo, estas diferenças são associadas a dois fatores: a qualidade da matéria orgânica (relação L/N) e à quantidade de N adicionado nas formas orgânicas e inorgânicas. Não há menção à forma com que este aporte orgânico é aplicado e mineralizado. Além disto, a produtividade de grãos e o aporte de C pelas culturas (dados não mostrados) nos sistemas com adubação orgânica somente ou com adubações orgânica e mineral foram similares, contribuindo para estoques de COT também semelhantes.

No compartimento ativo, os estoques de C medidos foram superestimados em relação aos estoques simulados pelo modelo Century, similarmente ao observado no solo sob sistemas de preparo e nos trabalhos de Paustian et al. (1992) e Motavalli et al. (1994) (Figura 16). As diferenças observadas entre os estoques medidos e simuladas foram menores nos sistemas com adubação orgânica e variaram de 79 % (0) a 50 % (AM2+AO). Os estoques de C medidos no compartimento lento, nos sistemas sem a presença da adubação orgânica, foram maiores do que os simulados pelo modelo

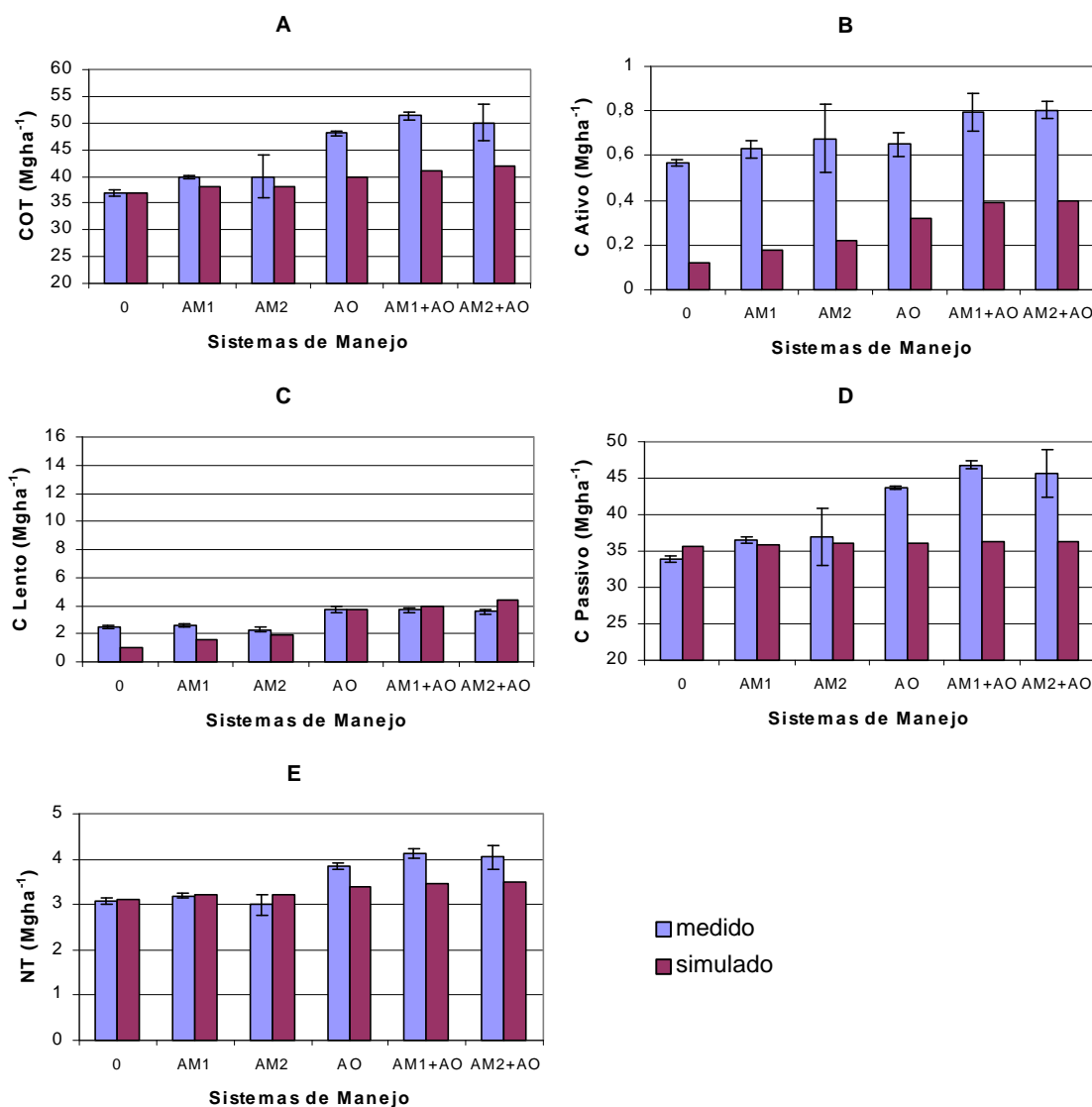
Century, similarmente ao observado no experimento com sistemas de preparo. As diferenças entre valores medidos e simulados foram de 57 %, 38 % e 17 % para os sistemas 0, AM1 e AM2, respectivamente. Por outro lado, com a adubação orgânica os estoques simulados foram maiores do que os estoques medidos, embora com diferenças de apenas 0,5 % (AO), 7,5 % (AM1+AO) e 18 % (AM2+AO) (Figura 16). Isto pode ser atribuído ao tempo de residência do C no modelo ser maior do que no evento real, e ao fato do compartimento lento provavelmente incluir outros compostos além do C da fração leve, ou ainda, devido ao método de extração usado neste estudo não extrair completamente o C da fração leve em solos tropicais, similarmente ao observado por Motavalli et al. (1994) e por W. Parton (comunicação pessoal).

Os estoques de C no compartimento passivo, medidos e simulados pelo modelo Century foram similares nos sistemas sem a adubação orgânica com diferenças abaixo de 5 %. No entanto, a presença da adubação orgânica aumentou esta diferença. Nos sistemas AO, AM1+AO e AM2+AO, estas diferenças foram de 16, 21 e 20 %, respectivamente. No modelo, parte do C adicionado por meio do composto é perdida na forma de CO<sub>2</sub>, pois não há além da textura, mecanismos de estabilização, como oferecido pela mineralogia. Por outro lado, em um evento real, este mesmo C é alocado nas substâncias húmicas, aumentando assim o tamanho do compartimento passivo. As diferenças nos estoques de NT medidos e simulados pelo modelo Century nos sistemas sem a presença da adubação orgânica foram restritas ao sistema AM2 (6 %), pois nos sistemas 0 e AM2 os estoques foram similares (Figura 16). Nos sistemas com adubação orgânica, os estoques simulados pelo modelo foram subestimados em relação aos estoques medidos, embora as diferenças tenham sido em torno de 10 %. Os resultados deste experimento indicaram que a eficiência da simulação dos compartimentos ativo e lento variou em função da presença ou não do aporte orgânico no sistema.

Nos estoques simulados pelo modelo Century, o compartimento passivo representou cerca de 90 % do COT, ou seja, muito maior do que o tamanho pressuposto no modelo Century (30-50 %). Esta diferença está relacionada a maior proteção à decomposição gerada pela mineralogia dominada por caulinita e óxidos de ferro, associada à textura argilosa, presente no solo deste estudo. Por isso, é essencial a incorporação da mineralogia no submodelo de C.

Neste experimento de adubação mineral e orgânica e no experimento de sistemas de preparo de solo, o modelo Century simulou adequadamente o COT, o NT e os compartimento lento e passivo. As diferenças entre os estoques simulados pelo modelo

e medidos foram inferiores a 20 %, estabelecendo excelente perspectiva do uso modelo Century em solos tropicais. Por outro lado, no compartimento ativo os estoques de C simulados pelo modelo e medidos foram, em ambos os experimentos, diferentes de forma significativa, o que revela a necessidade de melhor relacionar o método analítico ao compartimento pressuposto no modelo.



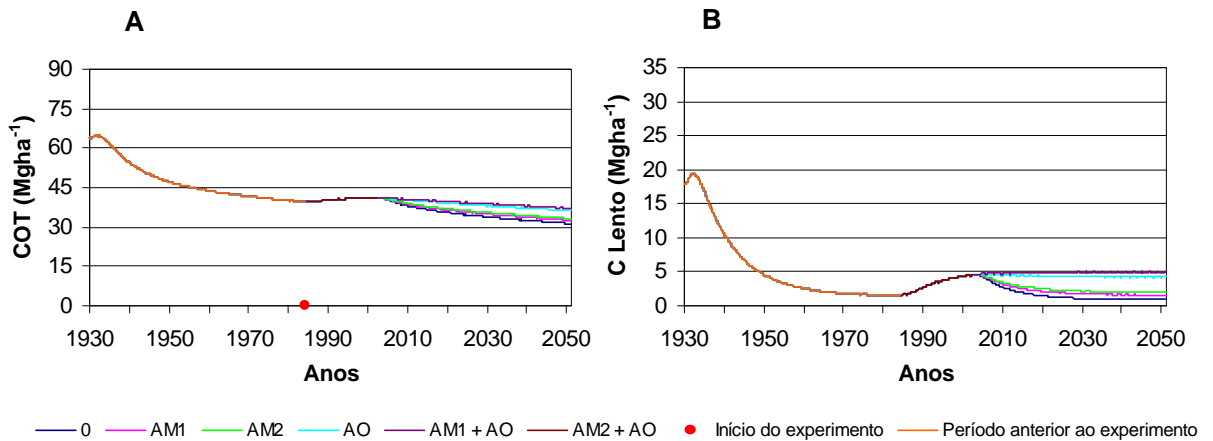
**Figura 16.** Comparação dos estoques de carbono orgânico total (COT) (A), dos compartimentos de carbono, ativo (B), lento (C) e passivo (D) e do nitrogênio total (NT) (E), medidos e simulados pelo modelo Century em diferentes sistemas de manejo após 15 anos de cultivo. Para valores medidos, n=4. 0: testemunha; AM1: 250 kg ha<sup>-1</sup> de 4-14-8 + 20 kg N ha<sup>-1</sup> em cobertura; AM2: 500 kg ha<sup>-1</sup> de 4-14-8 + 40 kg N ha<sup>-1</sup> em cobertura; AO: adubo orgânico, 40 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>.

### 3.2.5. Criação de cenários

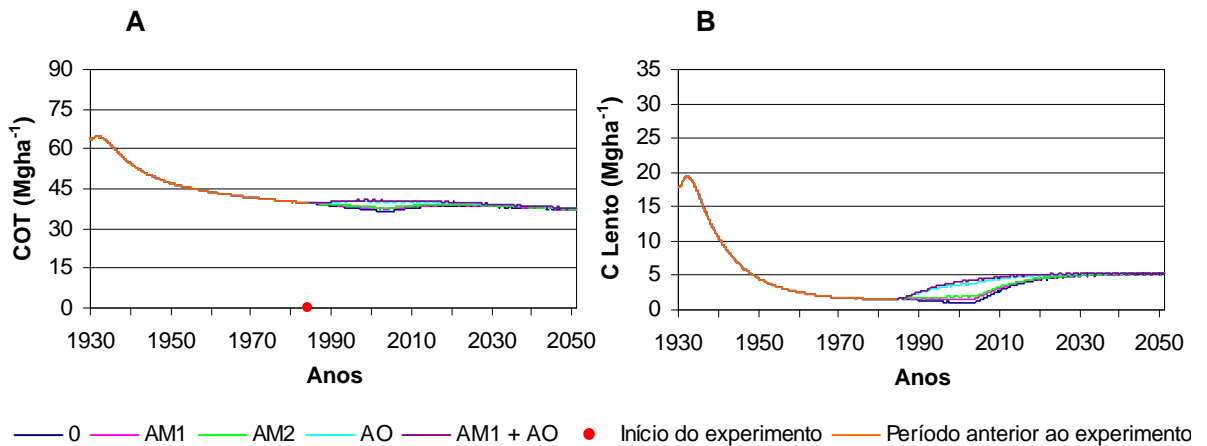
A mudança a partir de 2002 do sistema AM2+AO para os demais sistemas causou diminuição nos estoques de COT, especialmente nos sistemas sem a adubação orgânica (Figura 17). Na simulação referência, o estoque de COT no ano de 2050 será de 38 Mg ha<sup>-1</sup>. Com a adoção dos sistemas 0, AM1, AM2, AO e AM1+AO, os estoques de COT serão reduzidos para 30,3 (20 %), 30,9 (18 %), 33 (13 %), 36 (5,2 %) e 37 Mg ha<sup>-1</sup> (2,6 %), respectivamente. No entanto, as modificações mais significativas serão observadas nos estoques de C no compartimento lento. Em 2050, os estoques de C nos sistemas AO (4,24 Mg ha<sup>-1</sup>) e AM1+AO (4,85 Mg ha<sup>-1</sup>) serão similares ao estoque observado no sistema AM2+AO (5,2 Mg ha<sup>-1</sup>), na simulação referência. Por outro lado, nos sistemas 0 (0,9 Mg ha<sup>-1</sup>), AM1 (1,58 Mg ha<sup>-1</sup>) e AM2 (1,98 Mg ha<sup>-1</sup>), ocorrerá redução nos estoques de C em 82, 69 e 62 %, respectivamente (Figura 17).

A modificação dos sistemas 0, AM1, AM2, AO e AM1+AO para sistema AM2+AO também a partir de 2002, demonstrou a eficiência da adubação orgânica na recuperação dos estoques de COT (Figura 18). Cinquenta anos após a mudança, os estoques de COT em todos os sistemas serão em torno de 37 Mg ha<sup>-1</sup> similar aos estoques observados nos sistemas AO e AM1+AO, e maior do que nos sistemas 0 (17%), AM1 (13 %) e AM2 (11 %), na simulação referência. No compartimento lento, os estoques de C também aumentarão após a adoção do sistema AM2+AO. Em 2050, estes estoques serão de 5 Mg ha<sup>-1</sup> o que significará um ganho de C de 82, 69, 61, 15 e 3% nos sistemas 0, AM1, AM2, AO e AM1+AO, respectivamente, em relação à simulação referência.

Estes resultados confirmaram a importância da aplicação conjunta das adubações orgânica e mineral, na diminuição do processo de degradação do solo em médio e longo prazo, bem como, a otimização do conhecimento deste processo por meio da compartimentalização da matéria orgânica.



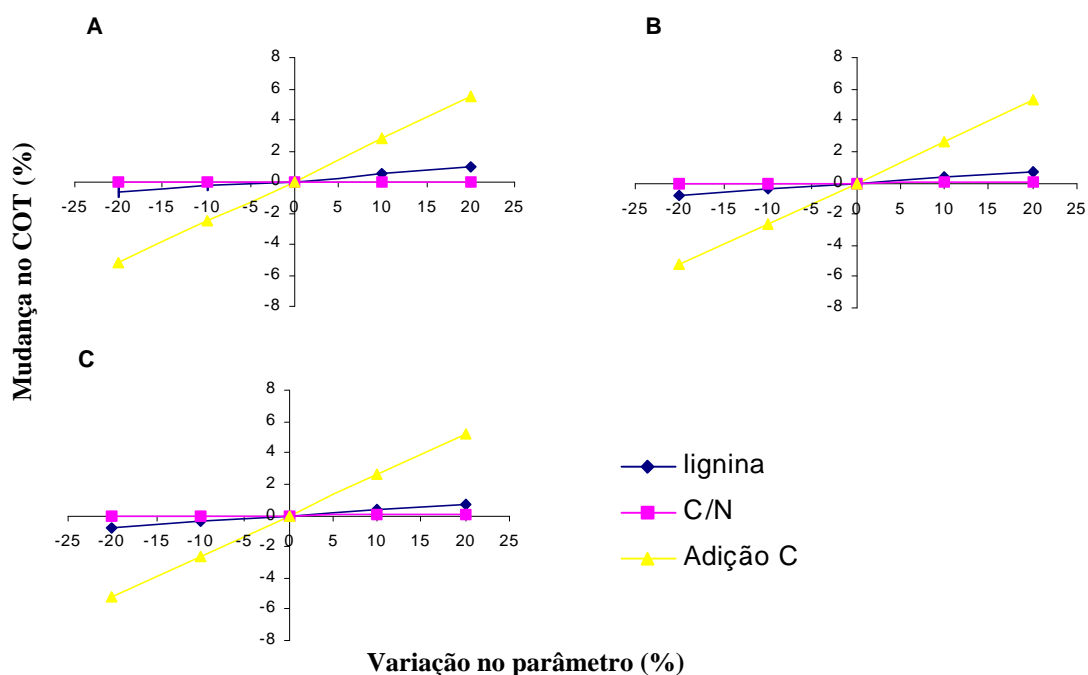
**Figura 17. Simulação da mudança, a partir de 2002, das atividades de manejo do sistema AM2+AO (500 kg ha<sup>-1</sup> de 4-14-8 + 40 kg N ha<sup>-1</sup> em cobertura), para as atividades dos sistemas 0 (testemunha); AM1: 250 kg ha<sup>-1</sup> de 4-14-8 + 20 kg N ha<sup>-1</sup> em cobertura; AM2: 500 kg ha<sup>-1</sup> de 4-14-8 + 40 kg N ha<sup>-1</sup> em cobertura;AO: adubo orgânico,40 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>; AM1+AO: 250 kg ha<sup>-1</sup> de 4-14-8 + 20 kg N ha<sup>-1</sup> em cobertura+ adubo orgânico,40 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> (cenário 4) sobre os estoques de carbono orgânico total (COT) (A) e de carbono (C) no compartimento lento (B).**



**Figura 18. Simulação da mudança, a partir de 2002, das atividades de manejo dos sistemas 0 (testemunha); AM1: 250 kg ha<sup>-1</sup> de 4-14-8 + 20 kg N ha<sup>-1</sup> em cobertura; AM2: 500 kg ha<sup>-1</sup> de 4-14-8 + 40 kg N ha<sup>-1</sup> em cobertura;AO: adubo orgânico,40 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>; AM1+AO: 250 kg ha<sup>-1</sup> de 4-14-8 + 20 kg N ha<sup>-1</sup> em cobertura+ adubo orgânico,40 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> para as atividades do sistema AM2+AO (500 kg ha<sup>-1</sup> de 4-14-8 + 40 kg N ha<sup>-1</sup> em cobertura) (cenário 5), sobre os estoques de carbono orgânico total (COT) (A) e de carbono (C) no compartimento lento (B).**

### 3.2.6. Análise de Sensibilidade

O modelo Century foi mais sensível ao parâmetro adição de C por meio do composto orgânico do que ao teor de lignina e a relação C/N (Figura 19), conforme também observado por Paustian et al (1992). A variação de +20 % na quantidade de C aplicada propiciou aumento nos estoques de COT de 5,5, 5,3 e 5,2 %, nos sistemas AO, AM1+AO e AM2+AO, respectivamente, similarmente ao constatado por Liang et al. (1996). A mudança de -20 % causou diminuição nos estoques de COT, na mesma ordem de magnitude da variação positiva, o que indicou efeito linear da adição de C por meio do composto orgânico. Apesar da importância no processo de decomposição e acúmulo da matéria orgânica e no controle dos fluxos dos compartimentos no modelo Century, o teor de lignina não foi sensível às mudanças de -20 a +20 % feitas nos valor referência, com alterações nos estoques de COT inferiores a 1 % (Figura 19). Isto pode ser corroborado por alguns autores que enfatizam a pouca ou nenhuma influência da qualidade do material adicionado, especialmente lignina, nos estoques de matéria orgânica a longo prazo (Rasmussen et al., 1980; Paustian et al., 1992).



**Figura 19. Análise de sensibilidade dos parâmetros teor de lignina e relação C/N do composto orgânico e carbono adicionado pelo composto orgânico, nos sistemas AO (adubo orgânico, 40 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) (A); AM1+AO (250 kg ha<sup>-1</sup> de 4-14-8 + 20 kg N ha<sup>-1</sup> em cobertura + adubo orgânico, 40 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) (B) e AM2+AO (500 kg ha<sup>-1</sup> de 4-14-8 + 40 kg N ha<sup>-1</sup> + adubo orgânico, 40 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) (C), sobre os estoques de carbono orgânico total (COT).**

#### 4. CONCLUSÕES

As estimativas dos estoques de carbono orgânico total e dos compartimentos de carbono por meio da simulação de equilíbrio ou pelos valores medidos foram influenciadas pelo teor de argila do solo.

A simulação por meio do modelo Century indicou a redução nos estoques de matéria orgânica do solo, especialmente após a mudança da Floresta Atlântica para agricultura. Os sistemas com adubação orgânica recuperaram os estoques de carbono, especialmente no compartimento lento.

Os compartimentos ativo e lento foram mais sensíveis às alterações no manejo do que o carbono orgânico total e o compartimento passivo, indicando a importância destes compartimentos na otimização do conhecimento da dinâmica da matéria orgânica do solo.

Os estoques de carbono orgânico total, medidos e simulados pelo modelo Century foram similares, apresentando diferenças de apenas 5 %, tanto no experimento com sistemas de preparo do solo, quanto no experimento com adubação. Isto demonstra potencialidade do modelo em simular a dinâmica da matéria orgânica em solos tropicais.

Em ambos os experimentos, os estoques de carbono no compartimento ativo simulado pelo modelo foram subestimados em relação aos estoques medidos, devido à falta de relação entre o compartimento teórico pressuposto pelo modelo e a fração determinada em laboratório.

Similarmente ao carbono orgânico total, os estoques de carbono nos compartimentos lento e passivo simulados pelo modelo foram similares aos estoques medidos, evidenciando a adequação do método analítico aos compartimentos pressupostos pelo modelo.

Em solos tropicais, há a necessidade de inclusão da mineralogia nas variáveis de entrada do submodelo de carbono.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVAREZ, R. Estimation of carbon losses by cultivation from soils of the Argentine Pampa using Century model. *Soil Use Manag.*, 17: 62-66, 2001.
- ALVAREZ, R.; RUSSO, M.E.; PRYSTUPA, P.; SCHEINER, J.D. & BLOTTA, L. Soil pools under conventional and no-tillage systems in the Argentina rolling Pampa. *Agro. J.* 90:138-143, 1998.
- AMADO, T.J.C.; BAYER, C.; ELTZ, F.L.F. & BRUM, A.C.R. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. *R. Bras. Ci Solo* 25: 189-198, 2001.
- BALDOCK, J.O. & SKJEMSTAD, J.O. Role of the matrix and minerals in protecting natural organic materials against biological attack. *Organic Geochem.*, 31:697-710, 2000.
- BASTOS, C.S. Sistemas de adubação em cultivo de milho exclusivo e consorciado com feijão, afetando a produção, estado nutricional e incidência de insetos fitófagos e inimigos naturais. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 117p (Tese de Mestrado).
- BATJES, N.H. Management options for reducing CO<sub>2</sub>-concentrations in the atmosphere by increasing carbon sequestration in the soil. Report 410-200-031, Dutch National Research Programme on Global Air Pollution and Climate & Technical Paper 30, International Soil Reference and Information Centre. 1999. 114p.
- BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. *R. Bras. Ci. Solo*, 21:235-239, 1997.
- BREMNER, J.M. & MULVANEY, C. S. Nitrogen total. In: PAGE, A. L., eds. *Methods of soil analysis*. Madison: American Society of Agronomy, 1982. p.595-624.
- CAMBARDELLA, C.A. & ELLIOT E.T. Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 56: 777-783, 1992.
- CHERTOV, O.G., & KOMAROV, A.S. SOMM: a model of soil organic matter dynamics. *Ecol. Model.*, 94: 177-189, 1996.

CLEVELARIO JUNIOR, J. Distribuição de carbono e de elementos minerais em um ecossistema florestal tropical úmido baixo-montano. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa. 1996. 135p. (Tese de Doutorado)

COLLEMAN, K. & JENKINSON, D.S. RothC 26.3- a model for the turnover of carbon in soil. In: POLWSON, T.S., SMITH, P. & SMITH, J.U., eds. Evaluation of soil organic matter models using existing long term datasets. NATO ASI, Series I, 38, 1996. p.237-246.

DEL GROSSO, S.J.; PARTON, W.J.; MOSIER, A.R.; HARTMAN, J.; BRENNER, D.S; OJIMA, D.S. & SCHIMEL, D.S. Simulated interaction of soil carbon dynamics and nitrogen trace gas fluxes using the DAYCENT model. In SHAFFER, M.J.; MA, L. & HANSEN, S., eds. Modeling Carbon and Nitrogen Dynamics for Soil Management. Lewis Publishers, Boca Raton, FL. 2001. p.303-332.

DELGADO, J. Use of simulation for evaluation of best management practices on irrigated cropping systems. In: SHAFFER, M.J.; MA, L. & HANSEN, S., eds. Modeling Carbon and Nitrogen Dynamics for Soil Management. Lewis Publishers, Boca Raton, FL. 2001. p.355-381.

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., eds Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems. Univesity of Hawaii. 1989, p.33-67.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Manual de Métodos de Análise de Solo. Centro Nacional de Pesquisa de Solos - 2 ed. 1997. 212p.

ESWARAN, H.; Van Den BERG, E.; REICH, P. & KIMBLE, J. Global soil carbon resources. In: LAL, R.; KIMBLE, E. & STEWART, B.A.,eds. Soil and Global Change.. Lewis Publishers, 1995, p.27-43.

FERNANDES, E.C.M.; MOTAVALLI, P.P.; CASTILLA, C. & MUKURUMBIRA, L. Management control of soil organic matter dynamics in tropical land-use systems. Geoderma 79:49-67, 1997.

FERNANDES, F.F. Uso do modelo Century para o estudo da dinâmica de carbono orgânico de solos do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2002. 153p (Tese deDoutorado).

FERREIRA, A.S.; CAMARGO, F.A.O. & VIDOR, C. Utilização de microondas na avaliação da biomassa microbiana do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:991-996, 1999.

FOLLET, R.F. & McCONKEY, B. The role of cropland agriculture for C sequestration in the Great Plains, In: *Proceedings of the Conference on Great Plains Soil Fertility*, 8:1-15, 2000.

GALVÃO, J.C.C. Características físicas e químicas do solo e produção de milho exclusivo e consorciado com feijão em função de adubações orgânica e mineral contínuas. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1995. 194p. (Tese de Doutorado).

GAMA-RODRIGUES, A.C. da. Ciclagem de nutrientes por espécies florestais em povoamentos puros e mistos, em solos de tabuleiro da Bahia, Brasil. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1997. 107p. (Tese de Doutorado)

HENIN, S. & DUPUIS, M. Essai de bilan de la matiere organique du soi. *Ann. Agron.* 15:17-29, 1945

ISLAM K. R. & WEIL, R. R. Microwave irradiation of soil for routine measurement of microbial biomass carbon. *Biol Fert. Soils*. 27: 408-416, 1998.

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.

JENKINSON, D.S. & POWLSON, D.S The effects of biocidal treatments on metabolism in soil. V.A. method for measuring soil biomass. *Biochemistry*, 8:209-213, 1976.

JENNY, H. Factors of soil formation. McGraw-Hill, New York, 1941. Não paginado.

KELLY, R.H.; PARTON, W.J.; CROCKER, G.J.; GRACE, P.R.; KLIR, J.; KORSCHEMS, M.; POULTON, P.R. & RICHTER, D.D. Simulating trends in soil organic carbon in long-term experiments using the Century model. *Geoderma*, 81:75-90, 1997.

KIEHL, E.J. Fertilizantes orgânicos. São Paulo: Ceres, 1985. 492p.

LIANG, B.C.; GREGORICH, E.G. & MACKENZIE, A.F. Modeling the effects of inorganic and organic amendments on organic matter in a Quebec soil. *Soil Sci.* 161:109-114, 1996.

MA, L.; SHAFFER, M.J. & AHUJA, L.R. Application of RZWQM for nitrogen management. In: SHAFFER, M.J.; MA, L. & HANSEN, S., eds. Modeling Carbon and Nitrogen Dynamics for Soil Management. Lewis Publishers, Boca Raton, FL. 2001, p.265-301.

MAIA, C.E. Reserva e disponibilidade de nitrogênio pela adição continuada de adubação orgânica e da mineral na cultura do milho em um Podzólico Vermelho-Amarelo Câmbico. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 55p (Tese de Mestrado).

MANIES, K.L.; HARDEN, J.W.; KRAMER, L.; PARTON, W. Parameterizing Century to model cultivated and noncultivated sites in the loess region of western Iowa. USGS, Fort Collins CO, 2000. 28p.

MERNES, F.J.V. Influência de sistemas de preparo em algumas propriedades químicas e físicas de um Podzólico Vermelho-Amarelo Câmbico, Argiloso, e na cultura do trigo (*Triticum aestivum* L.). Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1998. 81p. (Tese de Doutorado).

METHERELL, A.K.; HARDING, C.V.; COLE, C.V. & PARTON, W.J. Century soil organic matter model environment. Technical documentation agroecosystems version 4.0. Great Plains System Research Report 4. USDA-ARS, Fort Collins, CO, Colorado State University, 1993.

METHERELL, A.K.; CAMBARDELLA, C.A.; PARTON, W.J.; PETERSON, G.A.; HARDING, L.A. & COLE; C. V. Simulation of soil organic matter dynamics in dryland wheat-fallow cropping systems. In: LAL, R.; KIMBLE, J.; LEVINE, E. & STEWART, B.A., eds. Soil management and greenhouse effect. CRC press, Boca Raton, FL. 1995. p.259-270.

MIKHAILOVA, E.A.; BRYANT, R.B.; DeGLORIA, S.D.; POST, C.J. & VASSENEV, I.I. Modeling soil organic matter dynamics after conversion of native grassland to long term continuous fallow using the Century model. *Ecol. Model.*, 132: 247-257, 2000.

MOLINA, J.A. E. & SMITH, P. Modeling carbon and nitrogen processes in soil. *Advances in Agronomy*, 62:253-298, 1998.

MONREAL, C.M.; ZENTNER, R.P. & ROBERTSON, J.A. An analysis of soil organic matter dynamics in relation to management, erosion and yield of wheat in long-term crop rotation plots. *Can. J. Soil Sci.* 77:553-563, 1997.

- MOTAVALLI, P.P.; PALM, P.C. A.; PARTON, W.J.; ELLIOT, E.T. & FREYS, S.D. Comparison of laboratory and modeling simulation methods for estimating soil carbon pools in tropical forest soils. *Soil Biol. Biochem.*, 26:935-944, 1994.
- OLSON, J.S. Energy storage and the balance of producers and decomposers ecological systems. *Ecology*, 44:322-331, 1963.
- PALM, C.A.; GACHENGO, C.N.; DELVE, R.J.; CADISCH, G. & GILLER, K.E. Organic inputs for soil fertility management in tropical agroecosystems: application of an organic resource database. *Agric. Ecosys. Environ.*, 83: 27-42, 2001.
- PARFITT, R.L.; THENG, B.K.G.; WHITTON, J.S., SHEPHERD, T.G. Effects of clay minerals and land use on organic matter pools. *Geoderma*, 75: 1-12, 1997.
- PARTON, W.J.; SCHIMEL, D.S.; COLE, C.V.; OJIMA, D.S. Analysis of factors controlling soil organic matter levels in great plains grasslands. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 51:1173-1179, 1987.
- PARTON, W.J.; STEWART J.W.B. & COLE, C.V. Dynamics of C, N, P e S in grassland soils: A Model. *Biogeochemistry*, 5:109-131, 1988.
- PARTON, W.J.; SANFORD, R.L.; SANCHEZ, P.A.; & STEWART J.W.B. Modeling soil organic matter dynamics in tropical soils. In: COLEMAN, D.C.; OADES, J.M. & UEHARA, G., eds. *Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems*. 1989. p.153-170.
- PARTON, W.J. & RASMUSSEN, P.E. Long-term effects of crop management in wheat-fallow. II Century Model Simulations. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 58:530-536, 1994.
- PARTON, W.J.; OJIMA, D.S.; COLE, C.V. & SCHIMEL, D.S. A general model for soil organic matter dynamics: sensitivity to litter chemistry, texture, and management. In: BRYANT, R.B. & ARNOLD, R.W., eds. *Quantitative modeling of soil forming processes*. Vol. Special Publication 39:147-167, 1994.
- PAUL, E.A. Dynamics of organic matter in soils. *Plant Soil*, 76: 275-285, 1984.
- PAUSTIAN, R.; PARTON W.J. & PERSSON, J. Modeling soil organic matter in organic-amended and nitrogen-fertilized long-term plots. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 56:476-488, 1992.

- PING, C.L.; MICHAELSON, G.L.; DAI, X.Y.; CANDLER, R.J. Characterization of soil organic matter. In: KIMBLE, J.M. et al., eds. *Methods of Assessment of Soil Carbon*. CRC Press, Boca Raton, FL.1999.
- POWLSON, D.S.; BROOKES, P.C. & CHRISTENSEN, B.T. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation. *Soil Biol. Biochem.* 19: 159-164, 1987.
- RASMUSSEN, P.E.; ALLMARAS, C.R.; RHODE, C.R. & ROAGER, N.C. Crop residue influences on soil carbon and nitrogen in a wheat fallow system. *Soil Sci.Soc. Am. J.* 44:596-600, 1980.
- ROMANYÁ, J.; CORTINA, J.; FALLOON, P.; COLEMAN, K. & SMITH, P. Modeling changes in soil organic matter after planting fast-growing *Pinus radiata* on Mediterranean agricultural soils. *Eur. J. Soil Sci.*, 51: 627-641, 2000.
- SAMPAIO, G.V. Efeito de sistemas de preparo do solo sobre o consórcio milho-feijão e sobre algumas propriedades físicas e químicas do solo. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1987. 121p. (Tese de Mestrado).
- SHAFFER, M.J. & MA, L. Carbon and Nitrogen Dynamics in upland soils. In: SHAFFER, M.J.; MA, L. & HANSEN, S., eds. *Modeling Carbon and Nitrogen Dynamics for Soil Management*. Lewis Publishers, Boca Raton, FL. 2001, p11-26.
- SHAFFER, M.J.; MA, L. & HANSEN S. Introduction to simulation of carbon and nitrogen dynamics in soils. In: SHAFFER, M.J.; MA, L. & HANSEN, S., eds. *Modeling Carbon and Nitrogen Dynamics for Soil Management*. Lewis Publishers, Boca Raton, FL., 2001. p.1-10.
- SILVEIRA, A.M.; VICTORIA, R.L.; BALLESTER M.V.; CAMARGO, P.B.; MARTINELLI, L.A., & PICCOLO, M.C. Simulação dos efeitos das mudanças do uso da terra na dinâmica de carbono no solo na Bacia do Rio Piracicaba. *Pesq. Agropec. Bras.*, 25:389-399, 2000.
- SIQUEIRA, N.S.S. Influência de sistemas de preparo sobre algumas propriedades químicas e físicas do solo e sobre a cultura do milho (*Zea mays* L.). Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1995. 78p. (Tese de Doutorado).
- SIX, J.; ELLIOT, E.T.; PAUSTIAN, K. & DORAN, J.W. Aggregation and soil organic matter accumulation in cultivated and native grassland soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 62:1367-1377, 1998.

SMITH, P; FALLON, P.; COLEMAN, K.; SMITH, J.; PICCOLO M.; CERRI, C; BERNOUX, M.; JENKINSON, D.; INGRAM, J.; SZABO J. & PASZTOR, L. Modeling soil carbon dynamics in tropical ecosystems. *Advances in Soil Science*, 1-35, 1998.

SMITH, W.N; ROCHETE, P.; MONREAL, C.; DESJARDINS, R.L.; PATTEY, E. & JAQUES, A. The rate of carbon change in agricultural soils in Canada at the landscape level. *Can. J. Soil Sci.*, 77: 219-229, 1997.

SMITH, W.N.; DESJARDINS, R.L. & GRANT, B. Estimated changes in soil carbon associated with agricultural practices in Canada. *Can. J. Soil Sci.* 81: 221-227.2001.

SOHI, S.; MAHIEU, N.; ARAH, J.R.M.; POLWSON, D.S.P.; MADARI, B. & GAUNT, J.L. A procedure for isolating soil organic matter fractions suitable for modeling. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65, 1121-1128. 2001.

SPARLING, G.P. & WEST, A.W. A direct extraction method to estimate soil microbial C:Calibration in situ using microbial respiration and <sup>14</sup>C labelled cells. *Soil Biol. Biochem.*, 20:337-343, 1988.

STANFORD, G. & SMITH, S.J. Nitrogen mineralization potentials of soils . *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 36:465-472, 1972.

WOOMER P.L.; MARTIM A.; ALBRECHT,A.; RESCK, D.V.S.; SCHARPENSEEL, H.W. The importance and management of soil organic matter in the tropics. In: WOOMER, P.L. & SWIFT, M.J., eds. *The biological management of tropical soil fertility*. Chichester, West Sussex, UK: John Wiley & Sons. 1994. p.47-80.

YANG, X.M. & KAY, B.D. Impacts of tillage practices on total, loose-and occluded-particulate, and humified organic carbon fractions in soils within a field in southern Ontario. *Can. J. Soil Sci.* 81:149-156, 2001.

YEOMANS, J.C. & BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 19:1467-1476, 1988.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados apresentados nos 3 capítulos possibilitam uma análise crítica acerca dos experimentos com sistemas de preparo do solo e com adubação orgânica e mineral, assim como, das eficiências e limitações do modelo Century em simular sistemas de manejo em solos tropicais

Decorridos 15 anos do início do experimento, o sistema plantio direto não apresentou potencial para recuperação dos estoques de carbono e conseqüentemente para melhoria da qualidade do solo. Por isso, há a necessidade de reformular as hipóteses e os objetivos do experimento, por meio da inclusão de sistemas de culturas que propiciem diferentes aportes de carbono ao solo. Assim, o experimento constaria de sistemas que contribuíssem tanto para as perdas (sistemas de preparo) quanto para ganhos (sistemas de cultura) de carbono. Além disso, as amostragens de solos não devem ser limitadas às camadas superficiais, embora a maior parte dos estudos que fazem apologia ao uso do sistema plantio direto estejam fundamentados em profundidades de solo que não ultrapassam 10 cm.

No experimento com adubação orgânica e mineral, há uma melhor qualidade de solo do que no experimento de sistemas de preparo, o que pode ser atribuído ao elevado teor de argila (70 %). Os sistemas sem adubação, apenas com adubação mineral e com adubação mineral e orgânica em cultivos exclusivo e consorciado, propiciaram alterações diferenciadas nos estoques de carbono orgânico total e dos compartimentos de carbono do solo, o que pode ser atribuído, além do próprio efeito dos tratamentos, a condução adequada de experimento de longo prazo. O cultivo consorciado e a adubação orgânica aumentaram os estoques de carbono e podem ser fundamentais na recuperação de solos degradados.

O modelo Century foi uma ferramenta importante na simulação dos efeitos dos sistemas de manejo sobre os estoques de carbono orgânico total, tanto no experimento com sistemas de preparo quanto no experimento com adubações orgânica e mineral, demonstrando potencial para ser aplicado em solos tropicais. No compartimento ativo, os estoques de carbono simulados pelo modelo foram menores do que a biomassa microbiana em ambos os experimentos, o que indica a importância de inclusão de novas variáveis que controlem o fluxo de carbono para este compartimento, como por exemplo disponibilidade de substrato. No compartimento lento, os estoques de carbono simulados pelo modelo Century foram também subestimados em relação aos estoques

medidos, tanto no experimento com sistemas de preparo, quanto nos sistemas sem aporte orgânico, no experimento com adubação orgânica e mineral. No entanto, nos sistemas com aporte orgânico houve superestimação dos estoques simulados pelo modelo Century. Apesar disso, estas diferenças observadas no compartimento lento foram pequenas ( $< 20\%$ ), o que associado à similaridade observada entre os estoques de C no compartimento passivo, simulado pelo modelo ou obtido por diferença, confirmam a eficiência do modelo em simular a dinâmica da matéria orgânica em ambientes tropicais.

Os resultados apresentados neste estudo permitem vislumbrar uma perspectiva otimista em relação ao uso do modelo Century em solos tropicais. Entretanto, em modelos como o Century, os compartimentos de carbono são definidos empiricamente, constituindo reservatórios conceituais, independentes de um fracionamento físico ou químico da matéria orgânica. Por isso, há ainda necessidade de modificações na estrutura do modelo visando incluir somente reservatórios mensuráveis. Além disso, o modelo não considera a mineralogia como variável de entrada, incluindo apenas a textura do solo. Em solos tropicais, as elevadas quantidades de oxi-hidróxidos de Fe e Al podem gerar diferenças significativas nos estoques e distribuição do carbono nos distintos compartimentos, o que indica a necessidade de inclusão tanto da granulometria quanto da mineralogia no submodelo de C.

Há outros aspectos que foram observados durante o período de simulações com o modelo Century que merecem ser abordados. Diferentemente das regiões temperadas, os sistemas de cultivo em áreas tropicais e subtropicais têm a capacidade de produzir mais do que uma cultura por ano. Para simular ao longo de um ano, produção de culturas anuais, é necessário realizar uma extensão do período de crescimento e potencial de produção de cultivos único, ao invés de culturas sucessivas. Isto se torna impossível quando a rotação de cultura é praticada durante o ano, ao invés de ser realizada interanual e indica limitação na utilidade de aplicação do Century para a maioria da região tropical, necessitando ser resolvida com prioridade. Além disso, no experimento com sistema de adubação não foi possível simular o efeito do cultivo consorciado sobre os estoques de carbono, pois o modelo Century não disponibiliza de opções de culturas intercaladas ou consórcio. Esta é uma limitação importante do modelo, desde que o consórcio é uma prática comum em sistemas agrícolas em toda região tropical.

## APÊNDICE

**Apêndice 1 – Valores de cultura (CROP.100), cultivo (CULT.100), fertilização mineral (FERT.100), fertilização orgânica (OMAD.100), colheita (HAR.V100), solo e clima (SITE.100) e parâmetros fixos (FIX.100) usados como padrão nas simulações dos experimentos com preparo de solo e adubação orgânica e mineral.**

CROP.100		0	'PRBMX(3,1)'	1	'CO2ICE(1,2,3)'
Milho		0	'PRBMX(1,2)'	1.00000	'CO2IRS'
140	'PRDX(1)'	0	'PRBMX(2,2)'		
30	'PPDF(1)'	0	'PRBMX(3,2)'		CULT.100
45	'PPDF(2)'	0.12	'FLIGNI(1,1)'	0	Aração+gradagem
1	'PPDF(3)'	0	'FLIGNI(2,1)'	0	'CULTRA(1)'
2.5	'PPDF(4)'	0.06	'FLIGNI(1,2)'	0	'CULTRA(2)'
0	'BIOFLG'	0	'FLIGNI(2,2)'	0	'CULTRA(3)'
1800	'BIOK5'	0.4	'HIMAX'	0	'CULTRA(4)'
0.4	'PLTMRF'	0	'HIWSF'	1	'CULTRA(5)'
150	'FULCAN'	2	'HIMON(1)'	1	'CULTRA(6)'
0.5	'FRTC(1)'	1	'HIMON(2)'	1.6	'CULTRA(7)'
0.1	'FRTC(2)'	0.75	'EFRGRN(1)'	2.6	'CLTEFF(1)'
3	'FRTC(3)'	0.6	'EFRGRN(2)'	1.6	'CLTEFF(2)'
400	'BIOMAX'	0	'EFRGRN(3)'	1.6	'CLTEFF(3)'
10	'PRAMN(1,1)'	0.04	'VLOSSP'		'CLTEFF(4)'
150	'PRAMN(2,1)'	0	'FSDETH(1)'		
0	'PRAMN(3,1)'	0	'FSDETH(2)'		FERT.100
40	'PRAMN(1,2)'	0	'FSDETH(3)'		Nitrogênio
150	'PRAMN(2,2)'	500	'FSDETH(4)'	5.00000	'FERAMT(1)'
0	'PRAMN(3,2)'	0.1	'FALLRT'	0.00000	'FERAMT(2)'
20	'PRAMX(1,1)'	0.05	'RDR'	0.00000	'FERAMT(3)'
230	'PRAMX(2,1)'	2	'RTDTMP'	0.0	'AUFERT'
0	'PRAMX(3,1)'	0	'CRPRTF(1)'		
60	'PRAMX(1,2)'	0	'CRPRTF(2)'		OMAD.100
230	'PRAMX(2,2)'	0	'CRPRTF(3)'		Adubação orgânica
0	'PRAMX(3,2)'	0	'SNFXMX(1)'	143	'ASTGC'
34	'PRBMN(1,1)'	-15	'DEL13C'	0.00000	'ASTLBL'
390	'PRBMN(2,1)'	1.20000	'CO2IPR'	0.15	'ASTLIG'
0	'PRBMN(3,1)'	0.80000	'CO2ITR'	5	'ASTREC(1)'
0	'PRBMN(1,2)'	0.77	'CO2ICE(1,1,1)'	21	'ASTREC(2)'
0	'PRBMN(2,2)'	1	'CO2ICE(1,1,2)'	29	'ASTREC(3)'
0	'PRBMN(3,2)'	1	'CO2ICE(1,1,3)'		HARV.100
60	'PRBMX(1,1)'	1	'CO2ICE(1,2,1)'		Colheita de grãos
420	'PRBMX(2,1)'	1	'CO2ICE(1,2,2)'	0.00000	'AGLREM'
				0.00000	'BGLREM'

1.00000	'FLGHRV'	0	'PRCSKW(10)'	0	'SWFLAG'	
0	'RMVSTR'	0	'PRCSKW(11)'	0.10	'AWILT(1)'	
1	'REMWSD'	0	'PRCSKW(12)'	0.10	'AWILT(2)'	
0.00000	'HIBG'	17.9	'TMN2M(1)'	0.10	'AWILT(3)'	
		18.1	'TMN2M(2)'	0.10	'AWILT(4)'	
SITE.100		17.6	'TMN2M(3)'	0.10	'AWILT(5)'	
mnativa14		15.6	'TMN2M(4)'	0.10	'AWILT(6)'	
Climate parameters		12.7	'TMN2M(5)'	0.10	'AWILT(7)'	
19.6	'PRECIP(1)'	10.6	'TMN2M(6)'	0.10	'AWILT(8)'	
14.8	'PRECIP(2)'	10.1	'TMN2M(7)'	0.10	'AWILT(9)'	
12.06	'PRECIP(3)'	11.1	'TMN2M(8)'	0.10	'AWILT(10)'	
4.9	'PRECIP(4)'	13.3	'TMN2M(9)'	0.23	'AFIEL(1)'	
3	'PRECIP(5)'	15.8	'TMN2M(10)'	0.23	'AFIEL(2)'	
1.9	'PRECIP(6)'	17.1	'TMN2M(11)'	0.23	'AFIEL(3)'	
2.3	'PRECIP(7)'	17.8	'TMN2M(12)'	0.23	'AFIEL(4)'	
1.8	'PRECIP(8)'	28.2	'TMX2M(1)'	0.23	'AFIEL(5)'	
5.3	'PRECIP(9)'	30	'TMX2M(2)'	0.23	'AFIEL(6)'	
11	'PRECIP(10)'	28.4	'TMX2M(3)'	0.23	'AFIEL(7)'	
20.4	'PRECIP(11)'	26.6	'TMX2M(4)'	0.23	'AFIEL(8)'	
24.4	'PRECIP(12)'	24.9	'TMX2M(5)'	0.23	'AFIEL(9)'	
0	'PRCSTD(1)'	23.9	'TMX2M(6)'	0.23	'AFIEL(10)'	
0	'PRCSTD(2)'	23.5	'TMX2M(7)'	6.8	'PH'	
0	'PRCSTD(3)'	24.9	'TMX2M(8)'	0.9	'PSLSRB'	
0	'PRCSTD(4)'	25.5	'TMX2M(9)'	18	'SORPMX'	
0	'PRCSTD(5)'	26.4	'TMX2M(10)'	External nutrient input parameters		
0	'PRCSTD(6)'	26.9	'TMX2M(11)'	0.21	'EPNFA(1)'	
0	'PRCSTD(7)'	27	'TMX2M(12)'	0	'EPNFA(2)'	
0	'PRCSTD(8)'	Site and control parameters			-0.92	'EPNFS(1)'
0	'PRCSTD(9)'	0	'IVAUTO'	0.03	'EPNFS(2)'	
0	'PRCSTD(10)'	1	'NELEM'	0	'SATMOS(1)'	
0	'PRCSTD(11)'	20.45	'SITLAT'	0	'SATMOS(2)'	
0	'PRCSTD(12)'	45.51	'SITLNG'	0	'SIRRI'	
0	'PRCSKW(1)'	0.27	'SAND'	Organic matter initial values		
0	'PRCSKW(2)'	0.21	'SILT'	50	'SOM1CI(1,1)'	
0	'PRCSKW(3)'	0.52	'CLAY'	0	'SOM1CI(1,2)'	
0	'PRCSKW(4)'	1.13	'BULKD'	159	'SOM1CI(2,1)'	
0	'PRCSKW(5)'	3	'NLAYER'	0	'SOM1CI(2,2)'	
0	'PRCSKW(6)'	3	'NLAYPG'	1776	'SOM2CI(1)'	
0	'PRCSKW(7)'	1	'DRAIN'	0	'SOM2CI(2)'	
0	'PRCSKW(8)'	0.3	'BASEF'	4460	'SOM3CI(1)'	
0	'PRCSKW(9)'	0.6	'STORMF'	0	'SOM3CI(2)'	

12.5	'RCES1(1,1)'	0.00000	'RLEAVE(2)'	0	'MINERL(10,1)'
0	'RCES1(1,2)'	0.00000	'RLEAVE(3)'	0.5	'MINERL(1,2)'
0	'RCES1(1,3)'	0.00000	'FBRCIS(1)'	0.00000	'MINERL(2,2)'
9	'RCES1(2,1)'	0.00000	'FBRCIS(2)'	0.00000	'MINERL(3,2)'
0	'RCES1(2,2)'	0.00000	'FBRCHE(1)'	0.00000	'MINERL(4,2)'
0	'RCES1(2,3)'	0.00000	'FBRCHE(2)'	0.00000	'MINERL(5,2)'
22	'RCES2(1)'	0.00000	'FBRCHE(3)'	0.00000	'MINERL(6,2)'
0	'RCES2(2)'	0.00000	'RLWCIS(1)'	0.00000	'MINERL(7,2)'
0	'RCES2(3)'	0.00000	'RLWCIS(2)'	0.00000	'MINERL(8,2)'
12	'RCES3(1)'	0.50000	'RLWODE(1)'	0.00000	'MINERL(9,2)'
0	'RCES3(2)'	0.00000	'RLWODE(2)'	0.00000	'MINERL(10,2)'
0	'RCES3(3)'	0.00000	'RLWODE(3)'	0.5	'MINERL(1,3)'
107	'CLITTR(1,1)'	0.00000	'FRTCIS(1)'	0.00000	'MINERL(2,3)'
0	'CLITTR(1,2)'	0.00000	'FRTCIS(2)'	0.00000	'MINERL(3,3)'
107	'CLITTR(2,1)'	0.00000	'FROOTE(1)'	0.00000	'MINERL(4,3)'
0	'CLITTR(2,2)'	0.00000	'FROOTE(2)'	0.00000	'MINERL(5,3)'
75	'RCELIT(1,1)'	0.00000	'FROOTE(3)'	0.00000	'MINERL(6,3)'
0	'RCELIT(1,2)'	0.00000	'CRTCIS(1)'	0.00000	'MINERL(7,3)'
0	'RCELIT(1,3)'	0.00000	'CRTCIS(2)'	0.00000	'MINERL(8,3)'
75	'RCELIT(2,1)'	0.00000	'CROOTE(1)'	0.00000	'MINERL(9,3)'
0	'RCELIT(2,2)'	0.00000	'CROOTE(2)'	0.00000	'MINERL(10,3)'
0	'RCELIT(2,3)'	0.00000	'CROOTE(3)'	0.00000	'PARENT(1)'
2500	'AGLCIS(1)'	0.00000	'WD1CIS(1)'	0	'PARENT(2)'
0	'AGLCIS(2)'	0.00000	'WD1CIS(2)'	0	'PARENT(3)'
100	'AGLIVE(1)'	0.00000	'WD2CIS(1)'	0	'SECNDY(1)'
0	'AGLIVE(2)'	0.00000	'WD2CIS(2)'	0	'SECNDY(2)'
0	'AGLIVE(3)'	0.00000	'WD3CIS(1)'	0	'SECNDY(3)'
500	'BGLCIS(1)'	0.00000	'WD3CIS(2)'	0	'OCCLUD'
0	'BGLCIS(2)'	0.30000	'W1LIG'		Water initial parameters
10	'BGLIVE(1)'	0.30000	'W2LIG'	0.00000	'RWCF(1)'
0	'BGLIVE(2)'	0.30000	'W3LIG'	0.00000	'RWCF(2)'
0	'BGLIVE(3)'		Mineral initial parameters	0.00000	'RWCF(3)'
17	'STDCIS(1)'	0.25	'MINERL(1,1)'	0.00000	'RWCF(4)'
0	'STDCIS(2)'	0	'MINERL(2,1)'	0.00000	'RWCF(5)'
0.29	'STDEDE(1)'	0	'MINERL(3,1)'	0.0000	'RWCF(6)'
0	'STDEDE(2)'	0	'MINERL(4,1)'	0.00000	'RWCF(7)'
0	'STDEDE(3)'	0	'MINERL(5,1)'	0.00000	'RWCF(8)'
Forest organic matter initial parameters		0	'MINERL(6,1)'	0.00000	'RWCF(9)'
0.00000	'RLVCIS(1)'	0	'MINERL(7,1)'	0.00000	'RWCF(10)'
0.00000	'RLVCIS(2)'	0	'MINERL(8,1)'	0.00000	'SNLQ'
0.00000	'RLEAVE(1)'	0	'MINERL(9,1)'	0.00000	'SNOW'

		150.00000	'DAMRMN(3)'	0.03000	'OMLECH(1)'
FIX.100		3.90000	'DEC1(1)'	0.12000	'OMLECH(2)'
15.00000	'ADEP(1)'	4.90000	'DEC1(2)'	60.00000	'OMLECH(3)'
15.00000	'ADEP(2)'	14.80000	'DEC2(1)'	0.60000	'P1CO2A(1)'
15.00000	'ADEP(3)'	18.50000	'DEC2(2)'	0.17000	'P1CO2A(2)'
15.00000	'ADEP(4)'	6.00000	'DEC3(1)'	0.00000	'P1CO2B(1)'
30.00000	'ADEP(5)'	7.30000	'DEC3(2)'	0.68000	'P1CO2B(2)'
30.00000	'ADEP(6)'	0.00450	'DEC4'	0.55000	'P2CO2'
30.00000	'ADEP(7)'	0.20000	'DEC5'	0.55000	'P3CO2'
30.00000	'ADEP(8)'	5.00000	'DECK5'	100.00000	'PABRES'
0.00000	'ADEP(9)'	-4.00000	'DLIGDF'	16.00000	'PCEMIC(1,1)'
0.00000	'ADEP(10)'	0.99900	'DRESP'	200.00000	'PCEMIC(1,2)'
-40.00000	'AGPPA'	0.20000	'EDEPTH'	150.00000	'PCEMIC(1,3)'
7.70000	'AGPPB'	0.40000	'ELITST'	10.00000	'PCEMIC(2,1)'
1.50000	'ANEREF(1)'	2.00000	'ENRICH'	99.00000	'PCEMIC(2,2)'
3.00000	'ANEREF(2)'	0.90000	'FAVAIL(1)'	50.00000	'PCEMIC(2,3)'
0.30000	'ANEREF(3)'	0.50000	'FAVAIL(3)'	0.02000	'PCEMIC(3,1)'
5.00000	'ANIMPT'	0.20000	'FAVAIL(4)'	0.00150	'PCEMIC(3,2)'
0.80000	'AWTL(1)'	0.40000	'FAVAIL(5)'	0.00150	'PCEMIC(3,3)'
0.60000	'AWTL(2)'	2.00000	'FAVAIL(6)'	0.25000	'PEFTXA'
0.40000	'AWTL(3)'	0.20000	'FLEACH(1)'	0.75000	'PEFTXB'
0.30000	'AWTL(4)'	0.70000	'FLEACH(2)'	6.00000	'PHESP(1)'
0.20000	'AWTL(5)'	1.00000	'FLEACH(3)'	0.00080	'PHESP(2)'
0.20000	'AWTL(6)'	0.00000	'FLEACH(4)'	7.60000	'PHESP(3)'
0.20000	'AWTL(7)'	0.10000	'FLEACH(5)'	0.01500	'PHESP(4)'
0.20000	'AWTL(8)'	0.80000	'FWLOSS(1)'	3.00000	'PLIGST(1)'
0.00000	'AWTL(9)'	0.80000	'FWLOSS(2)'	3.00000	'PLIGST(2)'
0.00000	'AWTL(10)'	0.65000	'FWLOSS(3)'	0.55000	'PMCO2(1)'
100.00000	'BGPPA'	0.90000	'FWLOSS(4)'	0.55000	'PMCO2(2)'
7.00000	'BGPPB'	-0.12500	'FXMCA'	0.00000	'PMNSEC(1)'
350.00000	'CO2PPM(1)'	0.00500	'FXMCB'	0.00000	'PMNSEC(2)'
700.00000	'CO2PPM(2)'	0.35000	'FXMXS'	2.00000	'PMNSEC(3)'
0.00000	'CO2RMP'	7.00000	'FXNPB'	0.00400	'PMNTMP'
0.00000	'DAMR(1,1)'	0.00000	'GREMB'	600.00000	'PMXBIO'
0.00000	'DAMR(1,2)'	2.00000	'IDEF'	-0.00350	'PMXTMP'
0.01000	'DAMR(1,3)'	0.20000	'LHZF(1)'	0.00000	'PPARMN(1)'
0.02000	'DAMR(2,1)'	0.40000	'LHZF(2)'	0.00010	'PPARMN(2)'
0.02000	'DAMR(2,2)'	0.80000	'LHZF(3)'	0.00050	'PPARMN(3)'
0.04000	'DAMR(2,3)'	18.00000	'MINLCH'	0.00000	'PPRPTS(1)'
15.00000	'DAMRMN(1)'	0.00000	'NSNFIK'	1.00000	'PPRPTS(2)'
150.00000	'DAMRMN(2)'	4.00000	'NTSPM'	0.80000	'PPRPTS(3)'

0.45000	'PS1CO2(1)'	4.00000	'TMELT(2)'
0.55000	'PS1CO2(2)'	14.00000	'VARAT1(1,1)'
0.00300	'PS1S3(1)'	3.00000	'VARAT1(2,1)'
0.03200	'PS1S3(2)'	2.00000	'VARAT1(3,1)'
0.00300	'PS2S3(1)'	150.0000	'VARAT1(1,2)'
0.00900	'PS2S3(2)'	30.00000	'VARAT1(2,2)'
0.00000	'PSECMN(1)'	2.00000	'VARAT1(3,2)'
0.00220	'PSECMN(2)'	200.0000	'VARAT1(1,3)'
0.20000	'PSECMN(3)'	50.00000	'VARAT1(2,3)'
0.00000	'PSECOC'	2.00000	'VARAT1(3,3)'
12.00000	'RAD1P(1,1)'	20.00000	'VARAT2(1,1)'
3.00000	'RAD1P(2,1)'	12.00000	'VARAT2(2,1)'
5.00000	'RAD1P(3,1)'	2.00000	'VARAT2(3,1)'
220.000000	'RAD1P(1,2)'	400.00000	'VARAT2(1,2)'
5.00000	'RAD1P(2,2)'	100.0000	'VARAT2(2,2)'
100.00000	'RAD1P(3,2)'	2.00000	'VARAT2(3,2)'
220.000000	'RAD1P(1,3)'	400.00000	'VARAT2(1,3)'
5.00000	'RAD1P(2,3)'	100.0000	'VARAT2(2,3)'
100.00000	'RAD1P(3,3)'	2.00000	'VARAT2(3,3)'
200.00000	'RCESTR(1)'	8.00000	'VARAT3(1,1)'
500.00000	'RCESTR(2)'	6.00000	'VARAT3(2,1)'
500.00000	'RCESTR(3)'	2.00000	'VARAT3(3,1)'
0.01500	'RICTRL'	200.00000	'VARAT3(1,2)'
0.80000	'RIINT'	50.00000	'VARAT3(2,2)'
0.30000	'RSPLIG'	2.00000	'VARAT3(3,2)'
-1.00000	'SEED'	200.00000	'VARAT3(1,3)'
0.85000	'SPL(1)'	50.00000	'VARAT3(2,3)'
0.01300	'SPL(2)'	2.00000	'VARAT3(3,3)'
5000.00000	'STRMAX(1)'	0.02000	'VLOSSE'
5000.00000	'STRMAX(2)'	0.01000	'VLOSSG'
1.00000	'TEXEPP(1)'		
0.70000	'TEXEPP(2)'		
0.00010	'TEXEPP(3)'		
0.00016	'TEXEPP(4)'		
2.00000	'TEXEPP(5)'		
1.00000	'TEXESP(1)'		
0.00400	'TEXESP(3)'		
0.00000	'TEFF(1)'		
0.12500	'TEFF(2)'		
0.07000	'TEFF(3)'		
-8.00000	'TMELT(1)'		

**Apêndice 2 – Atividades de manejo no arquivo EVENT100, considerando simulação do sistema grade pesada+arado de disco.**

		1 9 CULT		2 7 SENM
EVENT.100		ARGR7		2 10 CULT
1929	Starting year	1 10 CULT		ARGR7
2050	Last year	ARGR7		2 11 CULT
mnativa14.100	Site file name	1 10 CROP		ARGR7
0	Labeling type	M101		2 11 CROP
-1	Labeling year	1 10 PLTM		F3
-1.00	Microcosm	1 11 FRST		2 11 PLTM
-1	CO2 Systems	1 11 FERT		2 11 FERT
1	Initial system	NPS1		NPS3
M100	Initial crop	2 3 HARV		2 12 FRST
	Initial tree	C4		2 12 FERT
		2 3 LAST		N3
	Year Month Option	2 4 SENM		3 2 HARV
1	Block # milho	-999 -999 X		C4
1978	Last year	3	Block # milhfj	3 2 LAST
2	Repeats # years	1987	Last year	3 3 CROP
1929	Output starting year	3	Repeats # years	F4
1	Output month	1985	Output starting year	3 3 PLTM
0.083	Output interval	1	Output month	3 3 SENM
M	Weather choice	0.083	Output interval	3 3 FERT
	1 10 CROP	M	Weather choice	NPS2
M100		1 8 CULT		3 4 FRST
	1 10 PLTM	ARGR7		3 4 FERT
	1 11 FRST	1 9 CULT		N3
	2 3 HARV	ARGR7		3 6 HARV
C4		1 10 CULT		C4
	2 3 LAST	ARGR7		3 6 LAST
	2 4 SENM	1 10 CROP		3 7 SENM
	-999 -999 X	M3		-999 -999 X
2	Block # milho	1 10 PLTM		4 Block #
1984	Last year	1 10 FERT		1990 Last year
2	Repeats # years	NPS1		3 Repeats # years
1979	Output starting year	1 11 FRST		1988 Output starting year
1	Output month	1 11 FERT		1 Output month
0.083	Output interval	N3		0.083 Output interval
M	Weather choice	2 6 HARV		M Weather choice
	1 8 CULT	C4		1 8 CULT
ARGR7		2 6 LAST		ARGR7

1 9 CULT	ARGR7	1 11 CROP
ARGR7	1 10 CULT	S2
1 10 CULT	ARGR7	1 11 PLTM
ARGR7	1 10 CROP	1 11 SENM
1 10 CROP	M3	1 11 FERT
M3	1 10 PLTM	PS11
1 10 PLTM		1 11 CULT
1 10 FERT	1 10 FERT	ARGR7
NPS1	NPS4	1 12 FRST
1 11 FRST	1 11 FRST	2 4 HARV
1 11 FERT	1 11 FERT	C4
N3	N4	2 4 LAST
2 3 HARV	2 3 HARV	2 5 CROP
C4	C4	T3
2 3 LAST	2 3 LAST	2 5 PLTM
2 4 SENM	2 4 SENM	2 5 SENM
2 10 CULT	-999 -999 X	2 5 FERT
ARGR7	6 Block #	NPS2
2 11 CULT	1996 Last year	2 5 CULT
ARGR7	2 Repeats # years	ARGR7
2 11 CROP	1995 Output starting year	2 6 FRST
F3	1 Output month	2 6 FERT
2 11 PLTM	0.083 Output interval	N2
2 12 FRST	M Weather choice	2 10 HARV
2 12 FERT	1 4 CULT	C4
NPS2	ARGR7	2 10 LAST
3 2 HARV	1 5 CULT	2 11 SENM
C4	ARGR7	-999 -999 X
3 2 LAST	1 6 CULT	7 Block #
3 3 SENM	ARGR7	2050 Last year
-999 -999 X	1 6 CROP	2 Repeats # years
5 Block #	T3	1997 Output starting year
1994 Last year	1 6 PLTM	1 Output month
2 Repeats # years	1 6 FERT	0.083 Output interval
1991 Output starting year	NPS2	M Weather choice
1 Output month	1 7 FRST	1 8 CULT
0.083 Output interval	1 7 FERT	ARGR7
M Weather choice	N2	1 9 CULT
1 8 CULT	1 10 HARV	ARGR7
ARGR7	C4	1 10 CULT
1 9 CULT	1 10 LAST	ARGR7

1 10 CROP  
M3  
1 10 PLTM  
1 10 FERT  
NPS4  
1 11 FRST  
1 11 FERT  
N4  
2 3 HARV  
C4  
2 3 LAST  
2 4 SENM  
-999 -999 X