

Fernando Antonio Fernandes

**Parametrização e validação do modelo CENTURY na simulação da
dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas de plantio
direto.**

Tese apresentada ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Doutor em Ciências.

Área de Concentração: Química na Agricultura e no Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Reynaldo Luiz Victoria

Piracicaba

2010

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

AUTORIZO A DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Seção Técnica de Biblioteca - CENA/USP

Fernandes, Fernando Antonio

Parametrização e validação do modelo CENTURY na simulação da dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas de plantio direto / Fernando Antonio Fernandes; orientador Reynaldo Luiz Victoria. - - Piracicaba, 2010.

87 p.: fig.

Tese (Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Ciências. Área de Concentração: Química na Agricultura e no Ambiente) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo.

1. Carbono 2. Integração lavoura-pecuária 3. Modelagem 4. Pastagens cultivadas 5. Sistemas de cultivo I. Título

FERNANDES, F. A. **Parametrização e validação do modelo CENTURY na simulação da dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas de plantio direto**. 2010. 87 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

ERRATA

Folha	Linha	
66	REFERÊNCIAS	Acrescentar
		ELLERT, B. H.; BETTANY, J. R. Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. Canadian Journal of Soil Science , Ottawa, v.75, p.529-538, 1995.
		EMBRAPA. Impacto ambiental de sistemas de integração agropecuária na região oeste do Brasil . Relatório final. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006. 94p.
		EMBRAPA. Modelagem matemática e simulação da dinâmica da matéria orgânica do solo no sistema de plantio direto . Relatório final. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2007. 86p.
		EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solos . Brasília: Embrapa Solos, 1997. 212p.
		FERNANDES, F. F. Uso do modelo Century no estudo da dinâmica do carbono orgânico em solos do Rio Grande do Sul . 2002. 172 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.
		GALDOS, M. V. et al. Simulation of sugarcane residue decomposition and aboveground growth. Plant and Soil , The Hague, v.326, n.1-2, p.243-259, 2010.
		MARCHÃO, R. L. Integração lavoura-pecuária num latossolo do cerrado: Impacto na física, matéria orgânica e macrofauna . 2007. 153 f. Tese (Doutorado), Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2007.
		OADES, J. M.; GILLMAN, G. P.; UEHARA, G. Interactions of soil organic matter and variable-charge clays. In: COLEMAN, D. C.; OADES, J. M.; UEHARA, G. (Ed.). Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems . Honolulu: University of Hawaii Press, 1989. p.89-96.
		SALTON, J. C. Matéria orgânica e agregação do solo na rotação lavoura-pastagem em ambiente tropical . 2005. 158 f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.
		SMITH, P. et al. A comparison of the performance of nine soil organic matter models using datasets from seven long-term experiments. Geoderma , Amsterdam, v.81, n.1-2, p. 153-225, 1997.
		SORENSEN, L.H. Carbon-nitrogen relationship during the humification of cellulose in soil containing different amounts of clay. Soil Biology and Biochemistry , Oxford, v.13, p.313-321, 1981.
		PULLIAM, W.M. Century Parameterization Workbook . Fort Collins: Natural Resource Ecology Laboratory, Colorado State University, 1996. 28p. Disponível em: http://www.nrel.colostate.edu/projects/century/CENTURYParameterizationWorkbook.pdf Acesso em: 30 jan. 2010.

45	Tabela 3	Substituir pela tabela abaixo
-----------	-----------------	--------------------------------------

Tabela 3 - Teores de C no solo e nos complexos organo-minerais (COM) e matéria orgânica particulada (MOP), densidade do solo (DS), e relações C-COM:COT e C-MOP:COT nas profundidades de 0 a 10 e 10-20 cm. (adaptada de Embrapa, 2007)

Profundidade cm		COT g kg ⁻¹	DA g cm ⁻³	C-COM g kg ⁻¹	C-MOP	C-COM:COT %	C-MOP:COT
0-10	PC	17,90	1,23	16,97	0,93	94,80	5,20
	PD	18,90	1,42	18,11	0,79	95,80	4,20
	ILP	20,10	1,41	19,24	0,86	95,70	5,30
	PP	21,50	1,37	20,17	1,33	93,80	6,20
	VN	31,13	1,19	29,23	1,90	93,90	6,10
10-20	PC	15,70	1,37	15,34	0,36	97,70	2,30
	PD	17,70	1,40	17,31	0,39	97,80	2,20
	ILP	18,10	1,35	17,50	0,60	96,70	3,30
	PP	18,60	1,29	17,93	0,67	96,40	3,60
	VN	30,40	1,15	28,58	1,82	94,00	6,00

Dedicatória

Ofereço aos meus pais, Seu Nino e Dona Cida,

e a minha sogra D. Mari,

pela ajuda e apoio

Dedico este trabalho aos meus filhos
Bruno, Paula e Lígia, e em especial
a você Ana, companheira de todas
as horas. Com todo amor e carinho
para vocês.

Agradecimentos

Agradeço ao Prof. Dr. Reynaldo Luiz Victoria pela orientação, confiança e paciência com as idas e vindas;

Agradeço ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura e ao Laboratório de Geoprocessamento e Análise Ambiental pela oportunidade do desenvolvimento desse trabalho;

Agradeço a Embrapa pelo suporte dado, e em especial aos Drs. José Anibal Comatri Filho, Thierry Tomich e Aiesca Pellegrin da Embrapa Pantanal pelo apoio dado, que extrapolou em muito a função de gestores.

Agradeço aos colegas Julio Salton, Josileia Zanatta, e ao ex-colega Renato Roscoe da Embrapa Agropecuária Oeste pela cessão dos dados e informações sobre o experimento de longa duração.

Um agradecimento especial aos colegas Daniel André, Eric e Zé Mauro, e ao mestre Perinha pelos momentos divididos no laboratório

“Dizem que o tempo é um predador sempre a nos
espreitar. Para mim o tempo é um companheiro de
viagem, sempre nos lembrando de aproveitarmos
todo e qualquer momento, porque eles não voltam
atrás. Mais importante que o legado de um homem
é o modo como ele viveu seu tempo”

J.L.Picard

"Feliz é o dia em que aprendemos algo de novo"

Henrique Bergamin Filho

RESUMO

FERNANDES, F.A. **Parametrização e validação do modelo CENTURY na simulação da dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas de plantio direto**. 2010. 84 f. Tese (Doutorado) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP, 2010.

A simulação da dinâmica da matéria orgânica do solo (MOS) representa ferramenta importante na elucidação da sua dinâmica e da transformação de seus compartimentos, bem como qual a dimensão dos impactos de diferentes sistemas de uso do solo. O presente trabalho teve como objetivo parametrizar e validar o modelo CENTURY na simulação dos estoques de carbono do solo sob diferentes sistemas de produção, a partir da utilização de dados um experimento de longa duração. O projeto envolveu a simulação da dinâmica da MOS e de seus reservatórios mensuráveis em um Latossolo Vermelho distroférico de Dourados – MS, sob plantio convencional, sistema plantio direto, pastagem permanente e integração lavoura-pecuária. Como referência foi utilizada uma área sob Mata, próxima do experimento. A área foi incorporada a agricultura em 1975, e até 1995 foi explorada com a sucessão soja-trigo em sistema de plantio convencional. Em uma simulação da condição inicial de equilíbrio, sob vegetação nativa, houve a necessidade de se fazer um ajuste no parâmetro $P1CO2B(2)$, que define a fração do carbono orgânico decomposto anualmente do reservatório ativo que é perdida do sistema na forma de CO_2 , utilizando-se o valor de 0,39. Somente com essa mudança o modelo conseguiu simular com precisão os estoques de carbono orgânico total (COT) medidos em campo. Para o COT conseguiu-se uma correlação positiva e significativa de 0,98 entre os valores simulados e medidos, independente do sistema de produção. Foi feita também uma tentativa de se correlacionar frações da MOS separadas por método granulométrico com os reservatórios teóricos do modelo. Para as frações usadas somente se observou correlação entre a fração passiva do modelo e o carbono do solo associado a fração argila. O modelo Century apresentou uma boa adaptabilidade às condições de um Latossolo Vermelho distroférico, sob diferentes sistemas de manejo, desde que seja feita a adequação dos coeficientes de partição do reservatório de carbono ativo para os reservatórios lento e passivo. Após sua adequada parametrização, o simulador obteve sucesso em estimar o carbono orgânico total do solo. Apesar disso existe a necessidade de modificações em sua estrutura, para que o modelo reflita as condições de proteção física da matéria orgânica do solo, inerentes a mineralogia dos solos tropicais.

Palavras-chave: Carbono, Integração lavoura-pecuária, Modelagem, Pastagens cultivadas. Sistemas de cultivo

ABSTRACT

FERNANDES, F.A. Parameterization and validation of the CENTURY model to simulate the dynamics of soil organic matter in no-tillage systems. 2010. 84 f. Thesis (Doctorate) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP, 2010.

The simulation of the dynamics of soil organic matter (SOM) represents an important tool in understanding the dynamics and transformation of its pools, as well as determines the size of the impacts of different forms of land use. This study aimed to parameterize and validate the CENTURY model to simulate carbon stocks in soil under different production systems, from the use of data a long-term experiment. The project involved simulating the dynamics of SOM and their reservoirs measurable in an Oxisol of Dourados - MS, under mulch-tillage, no-tillage, permanent pasture and crop-livestock integration. As a reference we used an area under forest, close to the experiment. The area was incorporated into agriculture in 1975, and until 1995 was cultivated with soybeans-wheat succession under conventional tillage. In a simulation of the initial equilibrium condition under native vegetation, there was a need to make an adjustment in the parameter P1CO2B(2), which defines the fraction of decomposed organic carbon reservoir annually that is lost from the system in the form of CO₂, using the value of 0.39. Only with this change the model could accurately simulate the organic carbon (TOC) measured in the field. For TOC it was achieved a positive and significant correlation of 0.98 between the TOC simulated and measured, independently of the system production. There was also an attempt to correlate SOM fractions separated by granulometric method with the theoretical model pools. For the fractions used correlation only was found between the passive fraction of the model and soil carbon associated with clay. The Century model showed a good adaptability to the conditions of an Oxisol under different management systems, provided that it includes the adequacy of the partition coefficient of the active carbon pool for slow and passive pools. After its proper parameterization, the simulator was successful in estimating the total organic carbon in soil. There is still a need for changes in its structure, so that the model will can reflects the inherent condition of physical protection of soil organic matter, associated with the mineralogy of tropical soils.

Keywords: Carbon, crop-livestock integration, modelling, pasture cultivated. Cropping systems

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	13
2.1 O solo como compartimento do ciclo do carbono	13
2.2 O uso da terra, matéria orgânica e o processo de degradação	15
2.2 O Sistema de Plantio Direto (SPD) como alternativa à degradação da Matéria Orgânica do solo (MOS).....	18
2.3. O sequestro de carbono e SPD.....	22
2.4. Simulação da dinâmica da MOS e o modelo CENTURY	25
2.5 Aplicações do modelo CENTURY no Brasil.....	27
3. Material e Métodos	32
3.1 Áreas de Estudo.....	32
3.2 Descrição do experimento.....	32
3.3 Amostragem e análises do solo.....	33
3.4 Cálculo dos estoques de C.....	34
3.5 Descrição do modelo CENTURY.....	35
3.5.1 Submodelo da MOS.....	36
3.5.2 Taxa de decomposição para os compartimentos	37
3.5.3 Fluxos entre compartimentos.....	38
3.5.4 Decomposição de resíduos vegetais.....	38
3.5.5 Efeito da textura do solo na dinâmica da MOS	39
3.6 Inicialização do Modelo	40
3.7 Simulações executadas.....	43

3.8. Análises estatísticas	43
4. Resultados e Discussão.....	45
4.1. Estoques de C no solo e suas frações	45
4.2 Parametrização e simulações com o CENTURY	50
4.2.1 Simulação da vegetação nativa	50
4.2.2 Simulação Base (1975-1995).....	56
4.2.3 Simulação das áreas experimentais.....	57
5. Conclusões.....	65
Referências	66
Apêndices.....	78

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** - Compartimentos e fluxos do sub-modelo de Carbono Orgânico do modelo CENTURY (PARTON et al., 1987)..... 39
- Figura 2.** Estoques finais de carbono orgânico do solo (CO), na profundidade de 0 a 20 cm, em função do sistema de uso e da correção dos estoques de C do solo em função da massa de solo da área de referência (vegetação nativa). Base – valores do início do experimento (1995); PC – plantio convencional; PD – plantio direto; ILP – integração lavoura pecuária; PP – pastagem permanente, VN - vegetação nativa. 47
- Figura 3.** Estoques de carbono orgânico (CO) em função dos diferentes sistemas de uso estudados, para a profundidade de (a) 0-10 cm e (b) 10-20cm. Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. SC – sistema convencional de cultivo; SPD – sistema plantio direto; ILP – integração lavoura pecuária; PP – pastagem permanente; VN – mata nativa. 48
- Figura 4.** Distribuição percentual de carbono orgânico total (COT) nas frações: complexos organo-minerais (COM) e matéria orgânica particulada (MOP), na profundidade (a) 0-10 cm e (b) 10-20 cm. 49
- Figura 5.** Simulação dos estoques de carbono orgânico no solo total e nos diferentes reservatórios do CENTURY, parametrizado para as condições edafalimáticas de Dourados-MS, sob floresta nativa, na profundidade de 0 a 20 cm, utilizando-se os valores padrão do modelo..... 51
- Figura 6.** Variações nos teores de carbono orgânico total do solo (CO Total) simulado pelo CENTURY, em função de variações no intercepto (a) e na declividade da reta (b) da equação linear que determina a proporção do carbono decomposto anualmente do reservatório ativo que é convertido em CO₂ (Equação 1), considerando o solo argiloso de Dourados – MS. A linha pontilhada representa o valor de 72 t ha⁻¹, medido a campo..... 53
- Figura 7.** Simulação dos estoques de carbono orgânico no solo total e nos diferentes reservatórios do CENTURY, parametrizado para as condições edafalimáticas de Dourados-MS, sob floresta nativa, na profundidade de 0 a 20 cm, utilizando-se os valores o valor de 0,39 para P1CO2B(2). 54
- Figura 8.** Simulações do carbono orgânico total do solo (g m⁻²), na camada de 0 a 20 cm, simulado pelo CENTURY, para mata nativa em um Argissolo Vermelho distrófico arenoso de Glória de Dourados – MS, considerando o valor padrão (0,17) para o intercepto da equação

de partição do carbono orgânico decomposto anualmente do reservatório ativo, e o valor ajustado (0,39). O valor observado em campo é evidenciado por uma seta. 55

Figura 9. Valores simulados dos estoques de carbono (a) total e nos diferentes reservatórios da matéria orgânica do solo: (b) ativo; (c) lento e (d) passivo; em condições de mata nativa de Dourados – MS, considerando os dados climáticos observados para a região no período de 2000 a 2005. Barras representam a precipitação observada no período e as linhas os valores de C simulados pelo CENTURY. 56

Figura 10. Simulação do carbono orgânico total do experimento de longa duração na Embrapa Agropecuária Oeste, Dourados-MS, para os sistemas convencional (SC), sistema plantio direto (PD), pastagem permanente (PP) e integração lavoura-pecuária (ILP). 58

Figura 11. Relação entre o carbono orgânico (CO) simulado e observado para os diferentes sistemas de uso estudados. Os valores observados foram corrigidos ou não em função da densidade do solo, para evitar o efeito da compactação (detalhes no texto). 59

Figura 12. Comparação dos estoques de carbono orgânico total (COT), dos compartimentos de carbono ativo, lento e passivo e medidos e simulados pelo modelo Century nos sistemas de plantio convencional (PC), plantio direto (PD), integração lavoura-pecuária (ILP), pastagem permanente (PP) e mata nativa (VN). 62

Figura 13. Correlação entre estoques medidos e simulados para carbono orgânico total (COT) e o carbono ligado aos compartimentos ativo, lento e passivo. 62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Arquivos *.100 usados para a configuração dos parâmetros entrada do modelo CENTURY (versão 4.0).	41
Tabela 2. Variáveis locais de entrada e fontes de obtenção das mesmas.	42
Tabela 3. Teores de C no solo e nos complexos organo-minerais (COM) e matéria orgânica particulada (MOP), densidade do solo (DS), e relações C-COM:COT e C-MOP:COT nas profundidades de 0 a 10 e 10-20 cm. (adaptada de Embrapa, 2007).....	45
Tabela 4. Valores de carbono orgânico total (C) simulados pelo CENTURY e observados em amostragem de campo em 2005, em função do sistema de uso do solo. Os valores observados são apresentados sem e com a correção para a densidade do solo (detalhes no texto).	59
Tabela 5. Análise estatística de comparação entre os dados simulados e medidos.	60

1 INTRODUÇÃO

Apesar da importância dos solos para o ciclo global do carbono e o destino do CO₂ antropogênico, a matéria orgânica do solo (MOS) permanece muito pouco entendida. Os solos armazenam na matéria orgânica aproximadamente duas vezes a quantidade de carbono presente na atmosfera como CO₂, representando um estoque de 1300 a 1500 GtC no primeiro metro (SOMBROEK et al., 1993; BATJES; SOMBROEK, 1997; LAL, 2002), sendo que quase um terço desse carbono é constituído de formas lábeis com ciclagem bastante rápida (SCHIMMEL, 1995). Em função disso qualquer alteração nas condições climáticas ou produção primária pode conduzir a alterações significativas no CO₂ atmosférico, com influência em escala global.

A MOS representa o atributo mais susceptível ao efeito da degradação do solo e, igualmente, o indicador mais efetivo para avaliar a eficiência de práticas conservacionistas na recuperação e manutenção da qualidade/saúde do solo. O manejo da MOS representa um dos fundamentos básicos do Sistema de Plantio Direto (SPD). Entender sua dinâmica, simulando-a com razoável precisão, pode permitir o planejamento de estratégias de manejo da mesma, maximizando seus efeitos benéficos no sistema. Soma-se a esse argumento a importante questão da mitigação das emissões de gases causadores de efeito estufa. Neste contexto, o SPD atuaria de duas formas, reduzindo o uso de energia fóssil (menor uso de máquinas) e retirando CO₂ atmosférico, fixando-o na MOS. O aprimoramento dos modelos matemáticos existentes e sua calibração para as condições específicas do SPD nos trópicos e subtropicais, pode possibilitar simulações dos potenciais de sequestro de carbono nesse sistema. Tais informações são estratégicas para o Brasil, diante da posição de liderança que tem assumido nas negociações para redução de emissões de gases causadores de efeito estufa

O SPD é um sistema de manejo altamente conservacionista. Entre 1974 e 1992, a área de adoção desse sistema cresceu 132 vezes. Na década de 90, essa expansão foi de cerca de 11 milhões de ha e na safra 2005/2006 já ocupava cerca de 25,5 milhões de ha. A grande expansão do SPD relaciona-se aos seus efeitos benéficos identificados tanto pela pesquisa quanto pelos produtores, tais como o controle da erosão hídrica, que é praticamente eliminada, o incremento na

MOS e a melhoria na qualidade do solo, da água e na estabilidade econômico-financeira das unidades rurais.

A simulação de sistemas é uma ferramenta que possibilita a compreensão de sistemas complexos através da integração do conhecimento sobre os vários processos que os compõem (PAUSTIAN, 2001; BARIONI, 2002). Desta forma, a sua utilização na pesquisa científica tem como principais vantagens o baixo custo, a rapidez e a possibilidade de se obterem informações completas sobre o sistema estudado, de se criarem cenários diversificados e de se proporem cenários ideais.

A MOS constitui um típico sistema complexo, onde a interpretação de seu comportamento exige a integração de processos químicos, físicos e biológicos. Embora um crescente número de pesquisas tenha gerado considerável volume de resultados sobre esses processos, os mecanismos através dos quais o SPD afeta a dinâmica da MOS são ainda pouco conhecidos. Uma boa oportunidade de sistematizar e integrar tais conhecimentos reside em estudar esses processos com foco nas suas relações com a MOS, através de ferramentas de modelagem matemática e simulação de sistemas.

Existem vários modelos para simulação da dinâmica da MOS em uso. A maioria deles combina sub-modelos mecanicistas e funcionais de forma multicompartimentalizada (FALLOON; SMITH, 2000; PAUSTIAN, 2001). O modelo CENTURY (PARTON et al., 1987) vem apresentando bons resultados para diversas condições edafoclimáticas e tipos de cultura e/ou vegetação natural, principalmente em clima temperado. Apesar do grande potencial de utilização desse modelo em condições tropicais e subtropicais, seu uso generalizado esbarra no pequeno número de experimentos de longa duração nessas regiões, os quais são necessários para a parametrização e validação dos resultados obtidos com aqueles estimados pelo modelo.

O objetivo desse trabalho foi parametrizar e validar o modelo CENTURY na simulação dos estoques de carbono do solo sob diferentes sistemas de produção, a partir da utilização de dados um experimento de longa duração existente em centro de pesquisa da Embrapa (Embrapa Agropecuária Oeste).

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 O solo como compartimento do ciclo do carbono

Os principais compartimentos ativos de carbono (C) do planeta estão na atmosfera, na biota (principalmente vegetação), na matéria orgânica do solo (incluindo a serrapilheira), e nos oceanos (WATSON et al., 2000). Os estoques de carbono na vegetação terrestre são estimados aproximadamente entre 400–600 Pg C, das quais em torno de 75% (300-450 Pg C) estão contidas nas florestas e cerca de 20% (80-120 Pg C) estão nas pastagens nativas e savanas (PRENTICE et al., 2001). O maior compartimento de C em ecossistemas terrestres é o solo. Uma camada de um metro de profundidade contém aproximadamente 1,5 a 2,0 Pg C em várias formas, em diferentes estágios de decomposição: desde resíduos recentes de plantas a carvões muito antigos e compostos humificados (AMUNDSON, 2001). Um terço dessa quantidade encontra-se em solos sob florestas, outro terço está sob áreas de pastagens e savanas, e o restante está em áreas úmidas (wetlands), áreas cultivadas e outro biomas (JANZEN, 2004).

Nos ecossistemas terrestres, o CO₂ atmosférico é absorvido pela biomassa terrestre via fotossíntese numa taxa de aproximadamente 120 Pg C por ano (produtividade primária bruta). Quase metade logo é liberada pela respiração das plantas, de modo que a produção primária líquida (PPL) é de, aproximadamente, 60 Pg C por ano. Esta quantia é armazenada, ao menos temporariamente, nos tecidos vegetais, mas a maioria eventualmente entra no solo pela senescência desse material (PRENTICE et al., 2001), formando a matéria orgânica do solo (MOS). Esta é decomposta em taxas mais lentas, o que leva ao acúmulo de C nesse compartimento. A respiração heterotrófica (em grande parte por micro-organismos do solo) e o fogo retornam uma quantia praticamente equivalente à PPL (em PgC por ano) de volta à atmosfera como CO₂, fechando o ciclo. O tempo de permanência do C nesses reservatórios terrestres varia entre dias a alguns poucos milhares de anos (WIGLEY ; SCHIMMEL, 2000, apud ROSCOE, 2003).

No solo o C é encontrado principalmente na forma orgânica, representando cerca de 58% da matéria orgânica do solo (MOS). O C orgânico pode se incorporar ao solo através da exsudação de substâncias pelos vegetais vivos ou por aporte de

material orgânico morto. Os processos de decomposição e as taxas de transformação são fortemente influenciados pelo clima, tipo e qualidade da matéria orgânica, associações químicas e físico-químicas da matéria orgânica com os componentes minerais do solo e pela localização da mesma no solo. A taxa de mineralização da matéria orgânica em regiões temperadas é de aproximadamente 2% e nos trópicos úmidos é de 4 a 5% (MACHADO, 2005).

A MOS não constitui um estoque homogêneo, sendo formado por vários compartimentos ou frações (ADUAN; VILELA; KLINK, 2003), os quais não possuem necessariamente substâncias orgânicas com características homogêneas e definidas. Estas, ao contrário, variam dentro de um continuum estabelecido entre dois limites extremos que definem cada fração. Essa divisão é, portanto, arbitrariamente estabelecida com base em critérios de localização, composição química ou grau de estabilidade do material orgânico (BALDOCK; SKJMESTAD, 2000). Modelos conceituais e de simulação em computadores têm dividido a MOS basicamente em três tipos de frações (WOOMER et al., 1994): fração ativa: constituída principalmente pela biomassa microbiana do solo, exsudatos radiculares e resíduos recentes de plantas e animais, com tempo de reciclagem bastante pequeno (entre 0,1 e 1,4 anos); fração lenta: constituída por matéria orgânica particulada (50 μ m-2mm), com baixa densidade (<2,0g/cm³) e tempo de reciclagem de 8 a 50 anos, também denominada de fração leve ("light fraction"); fração passiva: constituída por ácidos húmicos e fúlvicos e complexos organo-minerais, com densidade >2,0g/cm³ e tempo de reciclagem entre 400 e 2.200 anos, podendo ser também denominada de fração pesada ("heavy fraction").

O ganho líquido de carbono em um ecossistema é determinado pelo balanço dinâmico entre as entradas (assimilação) e saídas. Quando esse balanço é positivo, ocorre acúmulo de C e o sistema funciona como sumidouro de C da atmosfera; quando é negativo, ocorrem perdas e o sistema funciona como fonte de C para a atmosfera (FOLEY; RAMANKUTTY, 2004). Todos os fatores que influenciam o ganho ou a emissão de carbono desses ecossistemas podem, então, influenciar o sinal e a intensidade dessa resultante, determinando, assim, até possíveis mecanismos de retroalimentação entre vegetação e clima (ADUAN; VILELA; KLINK, 2003). Os ecossistemas terrestres são considerados atualmente um grande sumidouro de C da atmosfera, especialmente os solos e os sedimentos (STALLARD,

1998; MACHADO 2005). Porém, esse sumidouro não é permanente, pois os estoques atuais de C dos ecossistemas terrestres são vulneráveis às atividades humanas (SMITH, 2004). Por exemplo, a conversão da vegetação nativa em sistemas agrícolas promove a transferência de parte dos estoques de C da biomassa superficial e do solo para a atmosfera, na forma de CO₂, principalmente quando o fogo é utilizado como prática de manejo para remoção de vegetação (LAL, 2004; RUDDIMAN, 2005), o que tem sido apontado como uma das causas do aquecimento global verificado no último século (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC, 2007).

2.2 O uso da terra, matéria orgânica e o processo de degradação

A expansão da pecuária e agricultura mecanizada para as regiões Centro-Oeste e Norte do país, com a substituição da vegetação natural por lavouras e pastagens artificiais em mais de 100 milhões de hectares, leva ao questionamento sobre os efeitos desta prática nos estoques de MOS. Fujisaka et al. (1998), em ambiente da Amazônia Brasileira (Rondônia), verificaram considerável redução nos estoques de C na conversão de florestas, através do corte e queima da vegetação, para lavouras de culturas anuais e posterior introdução de pastagem. Para ambiente do Cerrado, Roscoe et al. (2001) não observaram diferenças significativas no estoque de MOS ao comparar a vegetação natural (Cerrado) e uma pastagem de *Brachiaria spp.* implantada 23 anos antes, num Latossolo muito argiloso de Minas Gerais (MG). Atribuíram estes resultados à elevada produção de resíduos da pastagem e a proteção da MOS proporcionada pelo elevado teor de argila. Fujisaka et al. (1998) e Lal (2002), entre outros autores, atribuem ao sistema radicular de pastagens a grande capacidade de acumular C no solo. O acúmulo de C no solo através de pastagens pode não ocorrer na forma e intensidade possíveis, quando existem limitações à produtividade das plantas, o que ocorre em áreas de pastagens degradadas. Nessas situações, o acúmulo de C no solo é prejudicado. Lilienfein et al. (2003), ao compararem pastagens de *B. decumbens*, em condição “degradada” e “produtiva” verificaram, entre outras variáveis, que os teores de C no solo (0 a 15 cm) foram de 22 e 27 g kg⁻¹, respectivamente. Estes autores também verificaram significativas diferenças na fertilidade do solo, com maiores concentrações de nutrientes na pastagem produtiva.

A capacidade dos solos sob pastagens acumularem C pode ser potencializada pela adubação da pastagem, como demonstrado por Shunke (2000), que verificou em pastagem de *B. decumbens*, em Mato Grosso do Sul, aumento da massa seca das raízes e da serrapilheira, com a utilização de adubação com fósforo e potássio. A utilização de adubação nas pastagens, especialmente na região dos Cerrados, é uma medida importante para aumentar a produtividade vegetal e conseqüentemente sua capacidade produtiva (MACEDO, 2005), além de propiciar manutenção das condições de fertilidade dos solos ou correção de suas deficiências.

O processo de degradação dos solos encontra-se intimamente relacionado à dinâmica da matéria orgânica em ambientes tropicais (FELLER ; BEARE, 1997). Diversos autores têm ressaltado que a conversão da vegetação nativa em campos de produção pode reduzir drasticamente os teores de MOS, devido ao menor suprimento de resíduos e ao aumento na taxa de decomposição, assim como a elevação nas perdas das camadas superficiais do solo por erosão (ANDREUX, 1996; PICCOLO, 1996; FELLER; BEARE, 1997; BAYER; MIELNICZUK, 1999; CHRISTENSEN, 2000; CARTER, 2001). Em virtude de suas importantes funções nos processos físicos, químicos e biológicos no solo, a perda de MOS retro-alimenta o processo de degradação, resultando em menores produções de biomassa e maiores perdas de nutrientes, água e solo.

O sistema convencional de cultivo, envolvendo arações e gradagens, é considerado o de maior poder de degradação, com grandes chances de promover a redução nos teores de MOS (RESCK et al., 1999). Segundo Bayer e Mielniczuk (1999), as perdas de MOS são favorecidas principalmente pela intensidade de revolvimento do solo, por alterar a temperatura, umidade e aeração, romper os agregados, aumentar o grau de fracionamento e incorporação dos resíduos vegetais, e diminuir a cobertura do solo. Silva; Lemainski e Resck (1994) trabalharam com 220 amostras de três diferentes classes de solo da região do Cerrado, cultivados com soja contínua, utilizando grade pesada. Os autores registraram elevadas perdas de MOS em 5 anos de cultivo. As reduções foram de 80% em relação aos teores iniciais para Neossolos Quartzarênicos (< 15% de argila), 76% para Latossolos Vermelho Amarelos textura média (15-30% de argila) e 41% para Latossolos Vermelho Amarelos argilosos (> 30% de argila). Entretanto,

nem todos os estudos registram perdas de MOS com o cultivo convencional. Freitas et al. (2000) não registraram perdas de MOS após 25 anos de cultivo de culturas diversas (hortaliças, arroz, milho e feijão), em um Latossolo Vermelho distrófico, assim como também Roscoe e Buurman (2003), que observaram estoques de carbono similares em áreas sob vegetação nativa de cerrado *sensu-stricto* e cultivadas com milho e feijão em sucessão por 30 anos.

Mesmo sem haver decréscimo acentuado nos teores de MOS, reduções em alguns de seus compartimentos específicos podem desencadear o processo de degradação. Roscoe e Buurman (2002), embora não tenham detectado alterações nos teores totais de MOS em 30 anos de cultivo, observaram significativa redução nos estoques de C na fração leve livre (densidade $< 1,7 \text{ g cm}^{-3}$) da MOS, ressaltando que a fração orgânica que não estava ligada à fração mineral foi mais sensível à alteração no ambiente. Segundo os autores, a variabilidade dos teores totais de MOS são maiores que as variações observadas nas frações leves, mascarando o efeito de redução do C orgânico nesta fração específica na área cultivada. Outros estudos vêm destacando que o sistema de plantio convencional reduz significativamente a biomassa microbiana e a atividade enzimática do solo (ROSCOE et al., 2000). A redução de frações mais ativas da MOS, como a fração leve livre e o C na biomassa microbiana, irão afetar diversas de suas funções no solo. A manutenção da produção de polissacarídeos, por exemplo, é fundamental para a manutenção da agregação (GOLCHIN; BALDOCK; OADES, 1997). Estes compostos são transitórios no solo, sendo degradados rapidamente (STEVENSON; COLE, 1999). A manutenção de seus níveis depende da atividade biológica. Portanto, uma redução nas frações leve livre e C na biomassa microbiana, que representam as frações mais ativas da MOS, acarretariam menor estabilidade de agregados e desencadearia o processo de degradação.

Assim, não somente os teores totais de MOS são importantes para o entendimento dos processos de degradação do solo. O estudo detalhado de suas diferentes frações, relacionando alterações quantitativas e qualitativas aos distúrbios provocados em suas funções na manutenção da qualidade do solo assumem importância. Quando se faz tal análise, pode-se concluir que os sistemas convencionais de cultivo podem promover degradação e perda de qualidade de solo,

mesmo quando são observadas alterações pequenas (ou mesmo nenhuma redução) nos teores totais de MOS.

2.2 O Sistema de Plantio Direto (SPD) como alternativa à degradação da Matéria Orgânica do solo (MOS)

O SPD apresenta-se como uma alternativa de manejo altamente conservacionista, apresentando vantagens como o controle da erosão hídrica, a melhoria na qualidade do solo e da água. Por não revolver o solo, incorporando os resíduos vegetais, o SPD interfere menos na taxa de decomposição da MOS, o que favorece a manutenção e até o acúmulo da mesma (BAYER; MIELNICZUK, 1999; RESCK et al., 1999). Como a MOS está relacionada a importantes atributos de qualidade do solo, como atividade biológica, ciclagem de nutrientes, agregação, dinâmica de água, resistência à erosão, etc., a sua preservação no SPD representa uma das principais vantagens deste sistema.

Resultados de pesquisa, no entanto, não são conclusivos quanto ao acúmulo de C no SPD. Enquanto em alguns trabalhos registraram-se incrementos significativos nos teores de MOS, quando comparados a sistemas convencionais (BAYER; MIELNICZUK, 1997a,b; TOGNON et al., 1997; BAYER; MIELNICZUK, 1999; RESCK et al., 1999; BAYER et al., 2000a,b), em outros estudos nenhuma diferença significativa foi observada entre os tratamentos (MARIA; CASTRO, 1993a,b; FREITAS et al., 2000; ROSCOE et al., 2000; ROSCOE; BUURMAN, 2003). A discrepância nos resultados de pesquisa vem sendo atribuída às diferenças entre as condições experimentais e ao que se convencionou chamar de SPD. Primeiramente, muitos trabalhos avaliam sistemas com idades diferentes. O acúmulo de MOS no SPD tende a ocorrer lentamente, sendo necessários alguns anos para que se expresse (BAYER; MIELNICZUK, 1999). Um outro fator é o clima: os resultados referentes à Região Sul do Brasil geralmente apresentam incrementos significativos nos teores de C para SPD (BAYER; MIELNICZUK, 1997a,b; 1999). Isso pode estar relacionado às condições sub-tropicais, onde as taxas de decomposição de C são mais baixas (FELLER; BEARE, 1997; BAYER; MIELNICZUK, 1999). Experimentos realizados na região do Cerrado, em geral, não apresentam teores significativamente maiores de C para o SPD em comparação ao sistema convencional, o que vem sendo atribuído à maior intensidade do processo

de decomposição da MOS, em função das altas temperaturas (FREITAS et al., 2000; ROSCOE et al., 2000; ROSCOE; BUURMAN, 2003).

Outro aspecto importante refere-se ao aporte de resíduos. Tratamentos que não incluem materiais com alto aporte de resíduos no esquema de sucessão/rotação culturas tendem a apresentar incrementos discretos nos estoques de C, ou mesmo ausência de qualquer diferença em relação a sistemas convencionais (BAYER; MIELNICZUK 1997a,b; 1999). Bayer (1992), apud Bayer e Mielniczuk (1997a), obteve quantidades crescentes de material orgânico incorporado por sistemas de rotação envolvendo aveia/milho (14 t ha^{-1}), aveia+trevo/milho (18 t ha^{-1}) e aveia+trevo/milho+caupi (21 t ha^{-1}). Bayer e Mielniczuk (1997a), relataram que nas áreas com estes tratamentos e sob plantio direto por 5 anos, houve aumentos no teor de MOS seguindo a mesma tendência. Comparando o tratamento com menor aporte de resíduos (rotação aveia/milho) sob sistema convencional ao de maior aporte (aveia+trevo/milho+caupi), sob sistema plantio direto, os autores observaram uma diferença de 6 t ha^{-1} de carbono em favor do SPD, na camada de 0-17,5 cm.

Mesmo sem alterar os teores de C, o SPD pode alterar suas frações ou reservatórios funcionais, melhorando a qualidade do solo e as produtividades das culturas. Roscoe et al. (2000) estudaram o efeito do sistema de preparo do solo no teor de MOS, atividade da enzima urease, teores de nitrogênio (N) na biomassa, recuperação do N-uréia aplicado e produtividade de milho em um Latossolo Vermelho distrófico muito argiloso. Observaram que, embora não houvesse diferença no teor de MOS entre os tratamentos, o SPD apresentou os maiores valores para os demais parâmetros avaliados, quando comparado a dois sistemas convencionais. As produtividades máximas de milho foram maiores para o SPD (6177 kg ha^{-1}) do que para os sistemas convencionais ($4640\text{-}5045 \text{ kg ha}^{-1}$), com doses menores de N ($147, 156 \text{ -}168 \text{ kg N ha}^{-1}$, respectivamente para SPD e sistemas convencionais). Num Latossolo Vermelho distroférico típico, na região Dourados-MS, Mercante (2000) evidenciou uma redução nos teores de C da biomassa microbiana no sistema convencional em relação ao plantio direto, embora nenhuma alteração no teor total de C fosse observada. O SPD parece, portanto, atuar na alteração de reservatórios específicos da MOS antes de efetivamente mudar os seus teores totais. Elucidar o comportamento destes diferentes reservatórios e relacioná-los com parâmetros físicos, químicos e biológicos de

qualidade do solo representa, ainda, um desafio para a pesquisa. Somente uma abordagem integrada, envolvendo pesquisadores de diferentes áreas da ciência do solo, poderá promover o avanço neste entendimento. A modelagem matemática e a simulação de sistemas apresentam-se como uma ferramenta fundamental neste esforço de integração.

Vários trabalhos apontam o aumento no teor de MOS em área de lavouras, pela utilização do SPD em comparação ao sistema convencional de preparo do solo (PC). Sá et al. (2001), observaram o aumento de 19 Mg ha^{-1} de C na camada 0 a 40 cm em um Latossolo do Paraná, após 22 anos de cultivos de grãos em SPD em comparação ao sistema convencional durante o mesmo período. Sisti et al. (2004) encontraram acréscimos de até $9,4 \text{ Mg.C ha}^{-1}$ para SPD em comparação ao PC na camada de 0 a 30 cm em um Latossolo do Rio Grande do Sul após, 13 anos de cultivo com culturas de grãos incluindo leguminosas de inverno como adubo verde. Na mesma região, Lovato et al. (2004), avaliando a camada 0 a 17,5 cm de um Argissolo, após 13 anos de manutenção dos tratamentos, verificaram que o estoque de C aumentou de $32,5$ para $36,2 \text{ Mg ha}^{-1}$ no SPD e foi reduzido para $29,6 \text{ Mg.C ha}^{-1}$ no PC. Estes autores também verificaram efeitos significativos para sistemas de culturas, encontrando $30,4 \text{ Mg ha}^{-1}$ para um sistema simples de sucessão contendo aveia/milho, e $34,3 \text{ Mg ha}^{-1}$ para o sistema contendo leguminosas tanto no verão quanto no inverno (aveia+vica/milho+caupi). Ao combinar num mesmo sistema, culturas com elevada produção de massa vegetal, adubação nitrogenada e SPD foi obtido estoque de $39,6 \text{ Mg ha}^{-1}$, o que corresponde a um acúmulo de C superior a 7 Mg ha^{-1} em 13 anos. Num Argissolo do Rio Grande do Sul, Diekow (2003) verificou, na camada 0 a 7,5 cm, estoques de $45,4 \text{ Mg ha}^{-1}$ de C no sistema guandu/milho e $29,2 \text{ Mg ha}^{-1}$ de C para o sistema aveia/milho de um, ambos cultivados em SPD durante 18 anos. O estoque inicial era de $32,5 \text{ Mg C ha}^{-1}$. Para as condições do Cerrado, Oliveira et al. (2004), verificaram maior acúmulo de MOS quando foi utilizado o SPD por 20 anos com soja, milho e arroz, em comparação a um sistema de preparo do solo com arado de discos, e área com vegetação natural, em um Latossolo Vermelho do Distrito Federal. Estes autores observaram teores de C significativamente inferiores para o uso do arado de discos nas camadas de 0 a 5 cm e de 5 a 10 cm, sendo semelhantes nas demais camadas avaliadas.

No Brasil, a maior quantidade de informações relacionadas aos estoques de MOS foram obtidas para a região Sul, com clima, solos e condições de manejo bastante diferentes das existentes nas áreas de Cerrado da região Centro-Oeste. Apesar de serem observados efeitos semelhantes dos sistemas de preparo do solo nas duas regiões, os sistemas de culturas apresentam efeitos comparativamente diferentes. A região Centro-Oeste apresenta acentuada variabilidade na quantidade e distribuição das chuvas, o que afeta fortemente os sistemas de produção vegetal. Assim, onde o período seco é maior, cobrindo os meses de maio a setembro, os cultivos ficam limitados às semeaduras de verão e de “safrinha”, que tem à disposição apenas o volume hídrico armazenado no solo pelas últimas chuvas do período chuvoso. Nestas são geralmente utilizadas culturas para produção de cobertura do solo, visando à execução de SPD na cultura subsequente. Os melhores resultados são obtidos com o milheto que, conforme Salton e Hernani (1994), apresenta potencial de produção de massa seca entre 5 a 8 Mg ha⁻¹. A esta massa pode-se considerar um acréscimo de 30% oriundo do sistema radicular, que assim pode superar a 4,5 Mg ha⁻¹ de C adicionado ao solo, dependendo das condições climáticas. Além do milho e da aveia, que são cultivados em 1,5 e 0,35 milhões de hectares, respectivamente, estima-se que mais de 2,5 milhões de hectares seja cultivado com milheto na região Centro-Oeste. Em Mato Grosso do Sul (MS) cerca de 70% da área cultivada no verão é também cultivada na entressafra. Nesta região é possível, além da “safrinha”, também efetuar semeadura no outono/inverno, com aveia, trigo e nabo, e na primavera com milheto ou sorgo, o que contribui para maior quantidade de massa vegetal produzida e consequente aumento nos estoques de MOS (HERNANI et al., 1995).

A região Centro Oeste, além de uma agricultura muito desenvolvida, apresenta também intensa atividade pecuária. As áreas com pastagens são formadas predominantemente por espécies do gênero *Brachiaria*, principalmente a *B. decumbens* e *B. brizantha*, sendo a última mais exigente em fertilidade do solo, mas com maior potencial de produção de massa verde. Além da adubação, outra forma de promover a melhoria da fertilidade do solo sob pastagens é através da introdução de lavouras durante algumas safras. Para a região Centro-Oeste, essa prática resulta em grande facilidade de integração da produção animal com a agrícola. A integração lavoura-pecuária (ILP) foi desenvolvida inicialmente para

suprir de forragem o rebanho em períodos críticos, através de suplementação alimentar, e para recuperar as pastagens degradadas com o uso de corretivos e adubos custeados pela agricultura (Salton et al., 2001). A rotação de pastagens com lavouras, viabilizada pela rapidez e menor custo financeiro do plantio direto da cultura sobre a pastagem, apresenta-se como uma importante alternativa para a produção de massa vegetal e correção das deficiências químicas do solo.

Experimentos conduzidos em MS apresentaram expressivos aumentos na produtividade das pastagens de braquiária quando em rotação com soja, com ciclos de dois anos (BROCH et al., 1997; MACHADO et al., 1999). Diaz-Rosello (1992) avaliou o efeito de sistemas de rotação de pastagens de leguminosas e cultivos de grãos de milho, em experimento conduzido por 28 anos no Uruguai e constatou aumento da MOS em 0,5 ponto percentual pelo efeito das pastagens. Estes efeitos também foram verificados para condições de ambiente tropical, com a utilização da rotação de pastagem de braquiária com lavoura de soja. Fabrício e Salton, (1999) observaram, em Mato Grosso do Sul, aumento na MOS de 30 para quase 40 g kg⁻¹ de solo na camada 0 a 5 cm apenas no período de 2 anos de pastagem e um ano de lavoura. Os efeitos em atributos físicos do solo também são rápidos, ocorrendo após um ciclo da rotação de dois anos. Salton et al. (1999) verificaram aumento no tamanho dos agregados estáveis, com o diâmetro médio dos mesmos passando de 5,5 para mais de 7 mm. Estes autores também verificaram maior permeabilidade do solo quando submetido à rotação pastagem/soja em comparação ao cultivo de lavouras, ambas as situações em SPD, atribuindo esses efeitos ao abundante sistema radicular produzido pela pastagem de braquiária.

2.3. O sequestro de carbono e SPD

Quando práticas de manejo que promovam o aumento do C são empregadas, o solo pode funcionar como sumidouro ou dreno de CO₂ atmosférico, processo conhecido como sequestro de C. O potencial de remoção de CO₂ da atmosfera e sua armazenagem no solo varia muito, sendo condicionado por atributos dos solos e dos sistemas de cultivo utilizados. O SPD pode promover incrementos nos estoques de C no solo, contribuindo para a sua retirada da atmosfera. Estudos em regiões temperadas têm demonstrado resultados contrastantes, variando entre ausência de incremento a aumentos da ordem de 7,5 Mg ha⁻¹.ano⁻¹ (JANZEN et al.,

1998). Smith et al. (2000b), em uma projeção dos impactos do SPD na redução das emissões globais de CO₂ na Europa, utilizaram incrementos médios anuais de C em solos sob SPD de 0,73 % ao ano. Subak (2000), revisando trabalhos sob sequestro de C em solos dos EUA, registraram incrementos médios de no máximo 0,10 Mg de C ha⁻¹.ano⁻¹. No Brasil, os resultados mais promissores até o momento foram obtidos em campos experimentais nas regiões sub-tropicais do sul do país. Revisando os resultados de 8 experimentos de longa duração na Região Sul do Brasil, Bayer et al. (2001) obtiveram taxas de acúmulo de C entre 0,15 e 0,94 t de C ha⁻¹.ano⁻¹. Os melhores resultados foram obtidos quando esquemas de rotação/sucessão incluíram materiais com elevada produção de resíduos. Em um dos experimentos analisados pelos autores, as taxas de acúmulo anual de C na camada de 0-17,5 cm de profundidade foram em torno de três vezes maiores nos sistemas com aveia + ervilhaca/ milho + caupi, quando comparados aos sistemas sob rotação aveia/milho.

Diversos autores vêm ressaltando o caráter finito do potencial de sequestro de C em solos sob sistema plantio direto (JANZEN et al., 1998; SMITH et al., 2000a, b; SUBAK, 2000; BAYER; MIELNICZUK; LOVATO, 2001). Evidências para tal fato foram apresentadas por Bayer et al. (2001). Neste estudo, enquanto os teores de C tenderam a reduzir sob o sistema de cultivo convencional, com a rotação aveia/milho, sob SPD e a rotação aveia + ervilhaca/milho + caupi, tendeu a crescer. Entretanto, este crescimento ocorreu até o nono ano de experimento, estabilizando-se posteriormente. Esta possibilidade de saturação deve sempre ser incluída em análises do potencial de sequestro de C no SPD.

O Protocolo de Kyoto (UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE – UNFCCC, 1997) abre espaço para que atividades sequestradoras de carbono nos ecossistemas terrestres sejam contabilizadas no inventário final de emissões de cada país. Desta forma, as emissões de um dado país podem ser amortizadas pelo sequestro de carbono em seu território. Esta possibilidade é ainda ampliada pelo chamado comércio de emissões, segundo o qual nações com excedentes de créditos de emissão podem vender os seus direitos de emitir para outros países. Cria-se a expectativa de que num futuro próximo produtores rurais que adotem o SPD possam obter ganhos financeiros. Isso ocorreria caso o SPD adotado fossem eficiente em sequestrar C no solo. Entretanto, em seu Artigo 3º, o referido protocolo institui três princípios básicos

para o monitoramento de atividades promotoras do sequestro de carbono: transparência, viabilidade e verificação.

Subak (2000) estimou o custo de um monitoramento ao nível de propriedade para solos dos Estados Unidos da América (EUA), sob sistema plantio direto, em 1 bilhão de dólares. Segundo a autora, considerando um valor compensatório de 50 a 100 dólares por tonelada de carbono fixada e uma estimativa de sequestro em sistemas agrícolas de 30 Mt de C no período entre 2008-2012 (primeiro “targeted period” do Protocolo de Kyoto), seriam gerados 1,5 a 3,0 bilhões de dólares. Estes valores demonstram que, entre um a dois terços do retorno financeiro potencialmente atingível pelo sequestro de carbono nos solos agrícolas sob SPD seriam gastos somente no monitoramento dos ganhos. Diante dos elevados custos de tais levantamentos, a alternativa mais viável parece ser a integração de dados de experimentos locais associados a censos regionais e mapas temáticos. As recentes estimativas de sequestro de carbono pelos solos, tanto em escala de inventários nacionais (DUMANSKI et al., 1998; LAL et al., 1998; SMITH et al., 1997, 1998, 2000a,b; CANNELL et al., 1999; EVE et al., 2000) como em escalas globais (BATJES, 1999), baseiam-se em tais extrapolações a partir de campos experimentais, considerando relações lineares entre os tipos de manejo e os estoques de carbono no solo. Entretanto, na maioria destes estudos as questões da transparência e verificação ficam comprometidas, pois as condições observadas nos campos experimentais (e.g. tipo de solo, vegetação, clima, etc.) geralmente diferem daquelas encontradas na maioria das localidades para onde os dados são extrapolados (FALLOON et al., 2001; PAUSTIAN, 2001).

Recentemente, ganhos consideráveis têm sido obtidos com a utilização de modelos dinâmicos de simulação do carbono (e.g. CENTURY, RothC), associados a ferramentas de SIG (Sistemas de Informação Geográfica) (FALLOON et al., 1998, 1999, 2001). Isso ocorre porque os modelos dinâmicos levam em consideração parâmetros de solo, vegetação, clima, etc, permitindo melhor estimativas em localidades específicas, para as quais ainda não existem dados de pesquisa (FALLOON et al., 2001). Mesmo assim, problemas estruturais e falta de parameterização desses modelos para diversas regiões e tipos de solo têm comprometido o uso generalizado dos mesmos (PAUSTIAN, 2001).

2.4. Simulação da dinâmica da MOS e o modelo CENTURY

Modelos são formas simplificadas de se representar a realidade. A maior vantagem em utilizá-los é a possibilidade de se compreenderem sistemas complexos, através da integração de vários sub-processos dos quais se tem um razoável entendimento. Os modelos de dinâmica da MOS foram classificados por Falloon e Smith (2000) em quatro categorias: (1) modelos que não consideram compartimentos definidos ou modelos contínuos; (2) modelos com somente um compartimento homogêneo; (3) modelos com dois compartimentos; e (4) modelos com multi-compartimentos. A maior parte dos modelos em uso é determinístico (onde um certo conjunto de eventos leva a um resultado único e definido) e multi-compartimental, dividindo a MOS em um número definido de compartimentos (“pools”) homogêneos e bem misturados [e.g. RothC (COLLEMAN; JENKINSON, 1996) e CENTURY (PARTON et al., 1987)]. Os compartimentos interagem trocando materiais entre si e com o meio ambiente, com taxas definidas, geralmente modeladas por equações de primeira ordem. Apesar de incluir fenômenos mecanísticos (o mecanismo do processo e seus fundamentos são descritos), muitos dos processos envolvidos nestes simuladores são empíricos, derivados de relações que, embora observadas, nem sempre têm uma explicação teórica ou física (MAGID; GORISSEN; GILLER, 1995; ELLIOTT; PAUSTIAN; FREY, 1996; CHRISTENSEN, 1996, 2000). Tem se consolidado como importante ferramenta no estudo da dinâmica da MOS, evidenciando razoável congruência entre valores observados e simulados. Como exemplos, citam-se os trabalhos desenvolvidos para as condições de pastagens nativas (PARTON et al., 1987; PARTON et al., 1993; GILMANOV; PARTON; OJIMA, 1997), cultivos de trigo (CARTER et al., 1993; PARTON; RASMUSSEN, 1994), cevada (PAUSTIAN; PARTON; PERSSON, 1992) e florestas em várias regiões do mundo, incluindo-se agroecossistemas tropicais (PARTON et al., 1989; SANFORD et al., 1991; PAUSTIAN; PARTON; PERSSON, 1992; PARTON et al., 1993; WOOMER, 1993; PARTON; OJIMA; SCHIMEL, 1994; PARTON et al., 1994), como também em estudos sobre alterações decorrentes de mudanças climáticas (SCHIMEL et al., 1994; MITCHELL; CSILLAG, 2001).

O modelo CENTURY versão 4.0 (PARTON et al., 1987) foi criado com o objetivo de simular a dinâmica de C e de nutrientes (N, P e S) no médio e longo prazo, e tem sido amplamente testado e aplicado em diversos biomas naturais e

cultivados, tipos de solos e climas (FALLOON; SMITH, 2002). Foi inicialmente desenvolvido para condições de solo, clima e vegetação característicos de clima temperado, e para solos sob pastagens naturais (ecossistemas de campos nativos nos EUA), sendo, posteriormente, adaptado para solos de florestas e sob explorações agrícolas (inclusive em regiões tropicais), passando a incluir o efeito do preparo de solo sobre algumas taxas de decomposição. A sua adoção como padrão foi proposta pelo TSBF - Tropical Soil Biology and Fertility Programme, da International Union of Biological Science - IUBS/UNESCO (ANDERSON; INGRAM, 1992). Baseia-se na divisão da MOS em compartimentos funcionais (diferentes tempos de residência e suas razões C: nutrientes minerais) e algoritmos padronizados de produção primária apropriados a um ecossistema ou clima específico, podendo ainda os mesmos serem definidos pelo usuário (PARTON; OJIMA; SCHIMMEL, 1994). As simulações utilizam intervalos mensais nos cálculos internos e as principais variáveis de entrada do modelo são: temperatura do ar, precipitação mensal, conteúdo de lignina do material vegetal, conteúdo de N, P e S do material vegetal, textura do solo, aporte de N do solo e da atmosfera e teor inicial de C, N, P e S nos diferentes compartimentos do solo. Essas variáveis estão disponíveis para a maioria dos sistemas naturais e agroecossistemas que tem sido estudados e, quando for o caso, podem ser estimadas a partir de dados de literatura. Todo material circula entre os compartimentos no modelo por transferência linear (fluxo proporcional à quantidade de material no compartimento original) até, praticamente, todo carbono ter sido decomposto e todos nutrientes mineralizados, exceto para o material lixiviado. O modelo contém vários sub-modelos, tais como, o de água, o de produção vegetal e o de dinâmica da MOS.

No sub-modelo de MOS é simulado o fluxo de C, N, P e S por meio dos compartimentos orgânicos e inorgânicos do solo e da serrapilheira (composta pelo material vegetal superficial e raízes). Pode ser considerada separadamente a dinâmica de C e N; C, N e P; e C, N, P e S. Os compartimentos utilizados são: a) ativo (COA), que está relacionado com os microrganismos e seus produtos (estimado por meio da determinação da biomassa microbiana); b) intermediário ou lento (COL), material resistente de lignina e produtos microbianos estabilizados no solo (estimado a partir do carbono da fração leve ou da matéria orgânica

particulada); e c) passivo (COP), associado à matéria orgânica física e quimicamente protegida (estimado por diferença ou pelas substâncias húmicas).

O modelo considera que a decomposição dos resíduos vegetais da MOS é decorrente da atividade microbiana, com perda de CO₂ devido à respiração microbiana. O material vegetal é dividido em estrutural (compartimento mais recalcitrante – de difícil decomposição) e metabólico (compartimento prontamente decomponível pela ação microbiana). A divisão dos resíduos nesses compartimentos é controlada pela relação lignina:N. Quanto maior essa relação, maior a proporção de carbono do resíduo que é alocado no compartimento estrutural. A fração lignina da planta vai direto para o compartimento lento de C com a decomposição do material vegetal estrutural. Nesse compartimento as relações C:nutrientes são grandes e no compartimento metabólico as relações variam de acordo com o teor dos nutrientes nos resíduos vegetais.

Quanto maior o teor de areia maior a decomposição do compartimento ativo e quanto maior o teor de argila maior o tamanho dos compartimentos lento e passivo. A taxa potencial de decomposição da MO dos compartimentos é controlada por funções multiplicativas da temperatura e umidade do solo, que podem ser aumentadas com o cultivo.

Os submodelos de N, P e S são semelhantes aos do C. Em cada compartimento da MOS tem uma faixa de relação C:nutriente que permite a ciclagem. O N é estabilizado em associação direta com o C. Dessa forma, a relação C:N que controla o processo é mais estreita do que C:P e C:S. A relação C:nutriente é função da quantidade de cada elemento no compartimento lábil inorgânico em função dessa relação se terá os processos de mineralização e imobilização dominante. A taxa de decomposição é reduzida se a quantidade de um elemento é insuficiente para atender a demanda de imobilização promovida pelo microbiota do solo.

2.5 Aplicações do modelo CENTURY no Brasil

Estudos com o modelo CENTURY no Brasil são recentes. Silveira et al. (2000) testaram o modelo para simular os efeitos do uso de solos nas condições da Bacia do rio Piracicaba, em São Paulo. Compararam simulações para os sistemas

floresta/cana-de-açúcar por 12 anos, floresta/pastagem por 20 anos, cana-de-açúcar por 20 anos, floresta/cana-de-açúcar por 50 anos e concluíram que o modelo simulou com sucesso a produção primária das plantas e os estoques de C de um Latossolo sob vegetação de floresta subtropical. Leite et al. (2004b) simularam a dinâmica do C e dos compartimentos da MOS num Argissolo Vermelho-Amarelo, em Viçosa-MG, após mudança de uma área sob floresta Atlântica (até 1930) para agricultura (1930- 1984), com adoção posterior, na mesma área agrícola, de tratamentos com adubação mineral e orgânica (1984-2002). No período de 1930-1984, os autores verificaram redução nos estoques de C devido, principalmente, à adoção de sistema de preparo do solo convencional, com uso excessivo de arados e grades. A menor magnitude de diminuição do C foi verificado no compartimento passivo devido à proteção promovida pela argila e silte, pressuposta no modelo. Com a adoção dos tratamentos com adubação orgânica a partir de 1984, observou-se um aumento nos estoques de C, especialmente no compartimento lento, devido à maior influência das mudanças no manejo no mesmo. Os estoques de C medidos e simulados pelo modelo foram bem correlacionados ($R^2 = 0,93$, $p < 0.01$), o que evidencia a potencialidade do modelo para simular a dinâmica do C em solos tropicais sob diferentes sistemas de manejo. Em áreas de Cerrado no Maranhão, Leite et al. (2005) simularam a dinâmica da MOS em Latossolo Vermelho-Amarelo, verificando que o modelo estimou redução dos estoques de C e dos compartimentos de C após a mudança da floresta nativa de Cerrados (FNC) para agricultura. As maiores perdas de C em relação a FNC foram observadas nos compartimentos de C ativo e lento. Esta maior sensibilidade às mudanças nos sistemas de manejo e, simultaneamente, à maior estabilidade do compartimento passivo, foi atribuída à rápida ciclagem daqueles compartimentos de maior labilidade e à resistência física e química à decomposição da MOS, associadas aos compartimentos mais recalcitrantes.

Fernandes (2002), num primeiro estudo utilizando o modelo CENTURY analisou quais atributos do solo estariam relacionados com a proteção a decomposição. Através deste estudo verificou que o compartimento passivo (COP) relaciona-se principalmente com os teores da fração argila e óxidos de ferro. Num segundo estudo, Fernandes (2002) verificou a necessidade de inclusão de alteração de parâmetros do modelo em função de diferenças nos atributos de solo que alterem

os níveis de proteção do C, concluindo que o modelo apresenta maior sensibilidade às variações na taxa de decomposição máxima do compartimento lento (COL) do que na eficiência de conversão do compartimento ativo (COA) em lento (COL). O resultado obtido foi coerente com o esperado, indicando a potencialidade de uso do modelo para o planejamento de estratégias de manejo de solo para o Rio Grande do Sul (RS). Já Debarba (2002) estimou, através do modelo CENTURY, as perdas históricas de C e emissão de CO₂ em solos do Planalto do RS com diferenças na textura do solo, quando da utilização da agricultura convencional nas áreas com vegetação original de floresta e campo nativo. O autor constatou que para os solos das regiões cuja vegetação original era campo, o modelo estimou reduções no estoque original de C (período de 1951 a 1980) de 31 a 45%, sendo que as menores ocorreram nos solos com maior teor de argila. Para os solos das regiões com vegetação original de floresta, a redução no período de 1901 a 1980 variou de 32,7 a 44%. Cenários de manejo incluindo sistemas de cultura com alta adição de biomassa associado a métodos de preparo com menor grau de revolvimento do solo, a partir de 1981, estimaram uma recuperação parcial do C perdido em todos os solos estudados. Com isto, Debarba (2002), concluiu que o modelo CENTURY mostrou-se uma ferramenta adequada para estudos de inventários do estoque de C em solos, além de permitir um maior detalhamento da dinâmica da MOS em sistemas agrícolas.

Ainda no RS, Bortolon et al. (2009) realizaram simulações com o CENTURY para a dinâmica de C e N em dados experimentais de um estudo de longa duração instalado em 1985 num Argissolo Vermelho distrófico, nas condições de campos nativos do sul, na região de Eldorado do Sul (RS). Com o ajuste das variáveis locais relacionadas à adição de N por fixação não simbiótica e parâmetros relativos às perdas de N por volatilização e relação C:N de resíduos de culturas que entram nos compartimentos lento e passivo da MOS, os autores conseguiram estimar pelo modelo o acúmulo de N no solo em conformidade com o que ocorre. As modificações propostas permitiram, ainda, simular estoques de C e N no longo prazo (6.000 anos) em concordância com o esperado, concluindo que o modelo CENTURY tem potencial para ser utilizado na definição de estratégias de manejo de solo na região.

Galdos et al. (2009) parametrizaram o modelo para a cultura da cana-de-açúcar, com vistas a simular a dinâmica temporal do C do solo, comparando os estoques de áreas com e sem queima da palhada na colheita, além de investigar os efeitos da adubação mineral e aplicação de resíduo orgânico. A validação do modelo parametrizado foi realizada com os dados obtidos de três experimentos realizados no Brasil, em Goiás, Pernambuco e São Paulo), e um na África do Sul, com diferentes períodos de implantação (de 1 a 60 anos). Os autores verificaram bom desempenho do modelo CENTURY ($R^2 = 0,89$) na simulação da dinâmica temporal dos estoques de C no solo, em áreas cultivadas com cana-de-açúcar, comparando áreas com e sem queima da palhada na colheita. Observaram uma tendência de aumento dos estoques de C do solo, no longo prazo, nas áreas não queimadas, o qual foi condicionada pelos fatores climáticos, textura do solo, tempo de adoção do sistema de não queimar a palhada por ocasião da colheita e manejo da adubação nitrogenada (aplicação de N mineral ou de resíduo orgânico). Em outro estudo envolvendo a cultura da cana-de-açúcar, Galtos et al. (2010) simularam a dinâmica temporal da produção de fitomassa e decomposição da liteira, também comparando os efeitos da queima da palhada. A validação envolveu, além dos experimentos citados acima, mais três localizados na Austrália (Harwood, Mackay and Tully) para validação dos resultados. O modelo CENTURY mostrou-se bastante acurado na simulação ($R^2=0,76$) dos valores de C presentes nos talos da cultura.

Tonrquist, Mielniczuk e Cerri (2009) utilizaram o CENTURY para simular estoques de SOC em fazendas da região de Ibirubá, de norte de RS. Nesta região, os solos são predominantemente Latossolos e originalmente eram cobertos com florestas subtropicais e pastagens nativas. Os valores dos estoques de C do solo obtidos pela simulação se mostraram muito próximos dos medidos no ano de 2005, nos horizontes superficiais de textura mais fina das áreas anteriormente cobertas por florestas. Entretanto, nos horizontes mais argilosos dos solos sob florestas e pastagens nativas não foram tão precisos, o que foi atribuído às limitações do modelo no que diz respeito à classificação mineralógica das argilas. Apesar disso, os autores consideraram que a aplicação do modelo Century conseguiu retratar as tendências gerais de redução dos estoques de C a partir da implantação da agricultura em sistema de manejo convencional e a posterior recuperação dos mesmos depois que práticas de manejo conservacionistas foram adotadas.

Uma das maiores críticas aos simuladores atuais relaciona-se com sua estrutura (ARAH; GAUNT, 2001; GAUNT et al., 2001). Os compartimentos de carbono são definidos empiricamente, constituindo reservatórios conceituais (FALLOON; SMITH, 2000; PAUSTIAN, 2001; ARAH; GAUNT, 2001). O tamanho destes reservatórios é estimado a partir do ajuste aos estoques totais observados, durante o processo de calibração do modelo, não sendo possível a sua medição direta (MAGID; GORISSEN; GILLER, 1995; ELLIOTT; PAUSTIAN; FREY, 1996; CHRISTENSEN, 1996, 2000; ARAH; GAUNT, 2001; GAUNT et al., 2001). Resultados promissores vêm sendo obtidos na tentativa de se relacionarem os reservatórios conceituais a frações da MOS separadas por processos físicos (BALESDENT, 1996). Entretanto, alguns autores acreditam que os simuladores atuais deveriam passar por profundas modificações para que fossem incluídos somente reservatórios mensuráveis em suas rotinas (MAGID; GORISSEN; GILLER, 1995; ELLIOTT; PAUSTIAN; FREY, 1996; CHRISTENSEN, 1996, 2000; GAUNT et al., 2001). Golchin et al. (1997) propuseram um modelo conceitual ligando o processo de decomposição da matéria orgânica a aspectos de sua natureza química e à dinâmica de agregados nos solos. Trabalho similar fora apresentado por Gaunt et al. (2001). Nestes trabalhos os autores dividiram o solo em compartimentos funcionais e dinâmicos da MOS ligados a um esquema de fracionamento físico, possibilitando a quantificação de cada um dos reservatórios.

3. Material e Métodos

3.1 Áreas de Estudo

Nesse estudo foram utilizados dados provenientes de um experimento de longa duração conduzidos na área da Embrapa Agropecuária Oeste (Dourados/MS) Os dados secundários foram compilados a partir dos relatórios dos projetos de pesquisa “Modelagem matemática e simulação da dinâmica da matéria orgânica do solo no sistema de plantio direto” (EMBRAPA, 2007) e “Impacto ambiental de sistemas de integração agropecuária na região oeste do Brasil” (EMBRAPA; 2006); e dos trabalhos de Salton (2005) e Salton et al. (2007).

3.2 Descrição do experimento

O experimento foi implantado em 1995, ocupando 28 ha da área experimental da Embrapa Agropecuária Oeste (22°14'S - 54°49'W, altitude de 430 metros), no município de Dourados, MS. O solo classificado como Latossolo Vermelho distroférico, muito argiloso, apresentando 90, 170 e 740 g kg⁻¹ de areia, silte e argila, respectivamente. O experimento de longa duração utilizado no estudo visa comparar o efeito de diferentes sistemas de uso da terra e foi implantado em 1995. A área foi aberta em 1975, sendo cultivados soja e trigo em sucessão. No primeiro ano do experimento (1995), toda a área foi plantada com milho, no sistema convencional de cultivo (uma aração e duas gradagens). Os sistemas de manejo do solo que constituem o experimento são os seguintes:

- PC: Lavoura em preparo convencional, com monocultivo de soja no verão e aveia no inverno e preparo do solo utilizando grades de discos (pesada+niveladora), em uma gleba de 2 ha.
- PD: Lavoura em Plantio Direto, numa área de 6 ha, com rotação de culturas, tendo no verão as culturas de soja e milho, ocupando 2 ha cada. Durante o outono-inverno e primavera são semeadas as culturas de trigo e aveia para produção de grãos e nabo e aveia para produção de palha, mantendo a seqüência: nabo/milho/aveia/soja/trigo/soja/
- ILP: Integração lavoura - pecuária: Alternância de lavoura (soja/aveia) com pastagem (*Brachiaria decumbens*), conduzida em Plantio Direto, com ciclos

de dois anos. Cada subparcela ocupa 4 ha, totalizando 8 ha, sendo que o sistema de manejo da pastagem consiste em pastejo rotativo por novilhos da raça Nelore, com lotação ajustada de forma a manter a oferta de forragem constante em torno de 7 % (7 kg de massa seca de forragem para 100 kg de peso vivo por dia). Cada área foi subdividida em 9 piquetes, visando facilitar o manejo da pastagem e dos animais. A adubação foi realizada apenas nas culturas anteriores às pastagens, não sendo utilizados adubos ou corretivos na implantação e manutenção das mesmas.

- PP: Pastagem contínua: Área de 4 ha com pastagem de *B. decumbens*, também sob manejo em pastejo rotativo, com a lotação ajustada de forma a manter a oferta de forragem constante (em torno de 7 % de massa verde em relação ao peso vivo). A implantação da pastagem permanente se deu em novembro/95 sem utilização de adubação ou corretivos.
- VN: Vegetação natural: área próxima ao experimento não perturbada, com vegetação original de Mata perenifólia.

Durante a condução do experimento as parcelas onde com culturas de verão tem recebido adubação de manutenção, com uma dose média de 300 kg ha⁻¹ da fórmula NPK 0-20-20, utilizando-se N apenas nas parcelas/anos com milho no SPD e trigo no SPD, respectivamente com doses médias de 60 e 20 kg N ha⁻¹. Os tratamentos e o respectivo cronograma das sequências das culturas podem ser visto no Apêndice A.

3.3 Amostragem e análises do solo

As amostragens foram realizadas, após a maturação fisiológica das culturas de verão da safra 2004/2005 (abril de 2005), considerado o pico da atividade biológica nos sistemas. Em cinco pontos em cada tratamento foram retiradas amostras deformadas compostas por sub-amostras, tomadas uma no centro do ponto e outras oito em locais equidistantes, ao longo de uma circunferência de raio de 5 m em torno do ponto central. As amostras foram retiradas nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm. Em cada ponto, foram retiradas amostras indeformadas, dois anéis volumétricos metálicos por profundidade, para estimar a densidade do solo, conforme Embrapa (1997). As amostras foram secas em estufa a 60°C, até peso

constante, e armazenadas para os procedimentos de análises químicas e físicas e fracionamento granulométrico (EMBRAPA,1997).

Para o fracionamento físico da MOS foi utilizado o método granulométrico seguindo as recomendações propostas por Roscoe e Machado (2002), conforme descrição a seguir. Foram pesadas sub-amostras de 50g de solo, sendo acondicionadas em vidros de 300 ml e recebendo 10 ml de NaOH a 1 mol L⁻¹ e H₂O destilada até que dois terços do volume do vidro fosse preenchido. Os vidros foram tampados e levados a agitador rotativo por 16h. Após esse período, as amostras foram peneiradas em peneira de 0,053 mm, ficando a fração areia (**matéria orgânica particulada – MOP**) retida na peneira. As frações argila e silte (**complexo organo-minerais – COM**), ainda diluídas em H₂O, tiveram seu pH ajustado para uma faixa entre 5 e 6 com HCl, com posterior aplicação de Al₂SO₄ a 0,1 mol L⁻¹ em quantidades que variaram de 10 a 30 ml para acelerar a decantação. Após 1h, o sobrenadante foi retirado com o auxílio de uma bomba de vácuo. As frações argila/silte e areia foram levadas a estufa a 60°C para secagem. Após secas, as amostras foram moídas, homogeneizadas e divididas em três subamostras para análises em triplicata do C.

O C total do solo e presentes nas frações da MOS foram determinados por combustão via seca e análise por infravermelho, num equipamento LECO-CR412 no laboratório de solos da Embrapa Pantanal (Corumbá-MS).

3.4 Cálculo dos estoques de C

Considerando-se que diferentes tipos de uso do solo podem levar a alterações na densidade do solo nas áreas estudadas, o cálculo dos estoques de MOS utilizando uma camada fixa acaba por acarretar em uma comparação de diferentes quantidades de solo. No cálculo do estoque da camada 0-20 cm, foi feita a correção de todas as áreas para uma mesma massa de solo, considerando a densidade da área nativa como referência, conforme a equação 1, sugerida por Sisti et al. (2004), baseada nos trabalhos de Ellert e Bettany (1995):

$$C_s = \sum_{i=1}^{n-1} C_{ti} + \left[M_{tn} - \left(\sum_{i=1}^n M_{ti} - \sum_{i=1}^n M_{si} \right) \right] * C_{tn} \quad (1)$$

onde:

C_s = estoque de C total, em Mg ha^{-1} , corrigido em função da massa de solo de uma área de referência;

$\sum_{i=1}^{n-1} C_{ti}$ = somatório dos estoques de C do solo da primeira à penúltima camada amostrada no tratamento considerado (Mg ha^{-1});

M_{tn} = massa do solo da última camada amostrada no tratamento (Mg ha^{-1});

$\sum_{i=1}^n M_{ti}$ = somatório da massa total do solo amostrado sob o tratamento (Mg ha^{-1});

$\sum_{i=1}^n M_{si}$ = somatório da massa total do solo amostrado na área de referência (Mg ha^{-1});

C_{tn} = teor de C do solo na última camada amostrada (Mg C Mg^{-1} de solo).

Antes da correção pela massa de solo, os estoques de C de cada uma das camadas, em todas as áreas estudadas, são calculados pela equação 2 (VELDKAMP, 1994):

$$\text{Est C} = (CO \times Ds \times e)/10 \quad (2)$$

onde:

Est C = estoque de C orgânico em determinada profundidade (Mg ha^{-1})

CO = teor de C orgânico total na profundidade amostrada (g kg^{-1})

Ds = densidade do solo da profundidade (kg dm^{-3})

e = espessura da camada considerada (cm)

3.5 Descrição do modelo CENTURY

A versão 4.0 do modelo CENTURY, utilizada nesse estudo, inclui diferentes submodelos de produção de vegetal (pastagens, culturas, florestas e savana) ligados a um submodelo de MOS comum a todos, além de possuir também um submodelo de água. 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 MOS. O modelo funciona em escala de metro quadrado e simula a camada superficial 0- 20cm, usando período de tempo mensal. Os parâmetros de entrada requeridos pelo modelo são os seguintes: temperatura mensal média do ar, precipitação mensal, textura do solo (conteúdo de areia, silte e argila), conteúdo de N e de lignina do material vegetal, aporte de N da atmosfera e do solo, e conteúdos iniciais de C e N em diferentes compartimentos do solo (METHERELL et al., 1993).

Os principais submodelos e equações que compõem o modelo CENTURY, e a maneira como os coeficientes destas equações foram determinados, encontram-se em Parton et al. (1987), e são descritos resumidamente a seguir:

3.5.1 Submodelo da MOS

O submodelo de MOS é baseado em múltiplos compartimentos (Figura 1), separados pelo tempo de reciclagem, similar a outros modelos de dinâmica da MOS (VAN VEEN, 1981; JENKINSON, 1990). Inclui três compartimentos de C do solo (ativo, lento e passivo), com diferentes taxas de decomposição; compartimentos de resíduos vegetais acima e abaixo do solo e um compartimento microbiano superficial (Figura 1). Os resíduos vegetais são divididos em: 1) superficial - compreende resíduos da parte aérea, e 2) do solo - compreende os resíduos do sistema radicular. Estas frações subdividem-se em dois compartimentos: estrutural (que apresenta tempo de reciclagem de 1 a 5 anos) e metabólico (prontamente decomponível pela ação microbiana, com tempo de reciclagem de 0,1 a 1 ano). A divisão nestes compartimentos é feita de acordo com a relação lignina/nitrogênio (L/N) dos tecidos. Com aumento na relação, a maior parte do resíduo é alocado no compartimento estrutural, que apresenta taxas de decomposição menores do que o compartimento metabólico (Figura 2). A MOS é dividida em três compartimentos: a) ativo: constituído pela biomassa microbiana do solo e seus produtos. É de fácil decomposição e apresenta um curto tempo de reciclagem (1 a 5 anos), dependendo do ambiente e conteúdo de areia; b) lento: derivado de material vegetal resistente (lignina) e da MOS química e fisicamente protegida, apresenta tempo de reciclagem intermediário (20 a 40 anos) e c) passivo: material muito resistente à decomposição, sendo quimicamente recalcitrante e protegido fisicamente, com longo tempo de reciclagem (até 1000 anos). Além desses compartimentos, existe o compartimento

microbiano superficial, com taxa de reciclagem independente da textura do solo, e transferido diretamente para o compartimento lento da MOS.

Os submodelos de N, P e S são semelhantes aos do C. Em cada compartimento da MOS tem uma faixa de relação C:nutriente que permite a ciclagem. O N é estabilizado em associação direta com o C. Dessa forma, a relação C:N que controla o processo é mais estreita do que C:P e C:S. A relação C:nutriente é função da quantidade de cada elemento no compartimento lábil inorgânico, determinando quais processos são dominantes: mineralização ou imobilização. A taxa de decomposição é reduzida se a quantidade de um elemento é insuficiente para atender a demanda de imobilização promovida pelo microbiota do solo.

3.5.2 Taxa de decomposição para os compartimentos

A decomposição de cada variável padrão é calculada usando a equação 3:

$$\frac{dC_i}{dt} = C_i \times K_i \times M_d \times T_d, \quad (3)$$

onde:

C_i = quantidade de carbono no compartimento

$i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8$, respectivamente para resíduo estrutural superficial e do solo, fração ativa da MOS, microrganismos da superfície, resíduo metabólico superficial e do solo, e frações lenta e passiva da MSO;

K_i = taxa de decomposição máxima do compartimento ($K_i = 3,9; 4,9; 7,3; 6,0; 14,8; 18,5; 0,20; 0,0045 \text{ ano}^{-1}$);

M_d = efeito da razão entre precipitação mensal e a taxa de evapotranspiração potencial sobre a decomposição;

T_d = efeito da temperatura média mensal do solo sobre a decomposição.

As taxas de decomposição máxima (K) são fixas para os compartimentos 4, 5, 6, 7 e 8. Porém podem ser modificadas por um coeficiente de cultivo se houver revolvimento do solo. Para os compartimentos 1, 2, e 3 essas taxas são variáveis: nos compartimentos estruturais (1 e 2) são função do teor de lignina e no compartimento ativo (3), é função da textura do solo. Além das taxas de

decomposição máximas dos diferentes compartimentos, os fluxos de C são controlados também pelo fator de decomposição abiótico, composto pela umidade (M_d) e temperatura (T_d).

3.5.3 Fluxos entre compartimentos

Existem diversos fluxos de C entre os compartimentos de MOS ou dos resíduos vegetais, e alguns são funções dos parâmetros de solo ou da planta. O modelo assume que os fluxos de decomposição de C são resultado da atividade microbiana e que a respiração microbiana é associada a cada um destes fluxos. As frações de C perdidas devido à respiração microbiana em cada fluxo de C são evidenciadas na Figura 1, próximo às linhas de CO_2 . O C que sai do compartimento ativo é dividido em quatro diferentes fluxos, os quais incluem respiração microbiana, lixiviação de C orgânico solúvel, e a estabilização de C nos compartimentos lento e passivo. O carbono que sai do compartimento lento é alocado para o compartimento passivo e ativo da MOS.

3.5.4 Decomposição de resíduos vegetais

Para a decomposição da liteira, o modelo pressupõe que o material vegetal é composto de frações prontamente decomponíveis (metabólico) e resistentes à decomposição (estrutural), e calcula a divisão entre estes compartimentos de acordo com a relação L:N do material vegetal. Para testar esta pressuposição, foram usados 30 diferentes tipos de material vegetal (resíduos de raízes e folhas). Os conteúdos de lignina dos diferentes materiais vegetais variaram de 5 a 35%, enquanto o conteúdo de N variou de 0,3 a 2,5%. As frações celulose e lignina são componentes estruturais, enquanto que a fração solúvel extraível em água é equivalente ao compartimento metabólico do CENTURY. Foi observado que as frações celulose mais lignina aumentam linearmente com o aumento da relação L:N, enquanto que a fração solúvel em água diminui. O modelo assume ainda que 55% da decomposição do C que não é lignina é alocado para os compartimentos estrutural e metabólico do solo, lento e passivo, e que são perdidos por respiração microbiana. O resíduo estrutural superficial que não é lignina tem reduzida perda por respiração (45%), pois os fungos são os decompositores primários do resíduo superficial e estabilizam C mais eficientemente na biomassa microbiana. A

estabilização da lignina no compartimento lento é um processo relativamente eficiente, com 30% de perdas por respiração (PARTON et al., 1987).

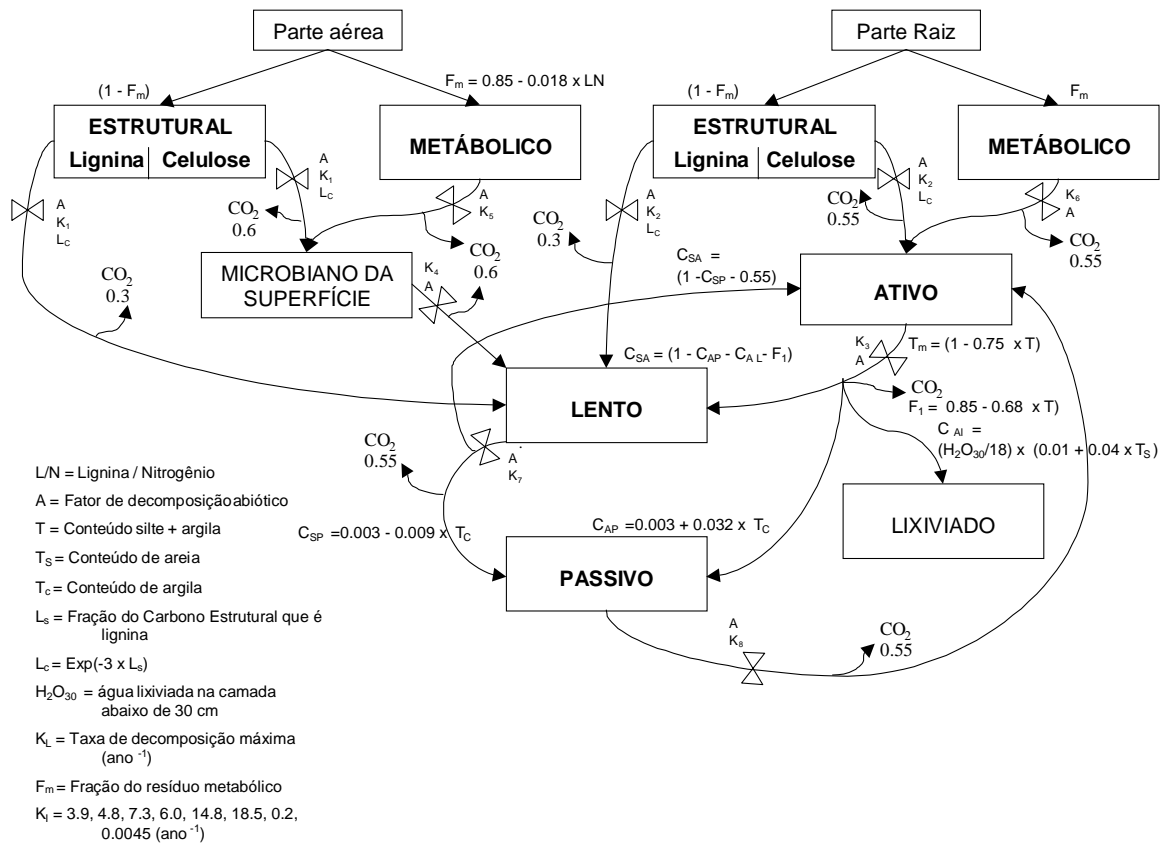


Figura 1 - Compartimentos e fluxos do sub-modelo de Carbono Orgânico do modelo CENTURY (PARTON et al., 1987).

3.5.5 Efeito da textura do solo na dinâmica da MOS

No modelo CENTURY, a textura do solo afeta a taxa de reciclagem da MOS ativa (biomassa microbiana e produtos) e a eficiência de estabilização da MOS lenta. A taxa de reciclagem da MOS ativa decresce linearmente com o aumento do conteúdo de silte mais argila, enquanto a eficiência de estabilização da MOS lenta aumenta (PARTON et al., 1994). Estes pressupostos são baseados em ensaios de incubação, nos quais diferentes tipos de material vegetal foram adicionados a solos com diferentes texturas. Para o compartimento lento, o CENTURY estabelece que a taxa de decomposição equivale àquela obtida por Sorenson (1981) no final de uma incubação de longa duração com celulose (360 a 1.600 dias). Os resultados obtidos

indicaram que a taxa de decomposição no final da incubação foi a mesma para diferentes texturas do solo, apesar do nível de C no solo arenoso ter sido 50% mais baixo do que em solos argilosos. Os fluxos que controlam a formação da MOS passiva e sua taxa de decomposição não podem ser estimados usando dados de incubação em laboratório, em função do longo tempo de reciclagem deste compartimento. Por isso, as taxas de decomposição da MOS passiva são baseadas em experimentos com datação de carbono (MARTEL; PAUL, 1974), os quais mostram que C datado de frações orgânicas antigas apresentam entre 800 e 1600 anos e que o compartimento passivo da MOS compreende mais do que 50% da MO total, em condições de solo sob pastagem e clima temperado. No CENTURY, a formação da MOS passiva é controlada pelo conteúdo de argila. O fluxo de C da MOS ativa para MOS passiva e da MOS lenta para a MOS passiva é função linear do conteúdo de argila do solo. Esta formulação é baseada na hipótese de que materiais do tamanho de argila são as partículas primárias que estabilizam a MOS passiva. Alguns autores (OADES et al., 1989) sugerem que o impacto da fração argila na estabilização do C pode mudar em função da sua mineralogia. Parton et al. (1994) quantificaram o efeito da mineralogia para solos temperados e tropicais com diferentes mineralogias de argila (esmectitas, caolinitas, oxídicas e alofânicas), e diferentes texturas do solo. Constataram que o tamanho do compartimento passivo é maior para mineralogias oxídicas e alofânicas em comparação a caulinitas e esmectitas. No modelo CENTURY, o fluxo para o compartimento passivo é controlado unicamente pelo conteúdo de argila.

3.6 Inicialização do Modelo

A versão do modelo CENTURY utilizada neste trabalho (v.4.0 – março de 2.000), além do arquivo executável do modelo propriamente dito (CENTURY.exe), possui ainda quatro utilitários: FILE100.exe, EVENT100.exe, LIST100.exe e GETORG.exe. O primeiro programa é utilizado na criação do arquivo file.100, onde são editados os valores dos parâmetros entrada do modelo, que constituem-se de doze arquivos de dados com a extensão *.100, cada um contemplando diferentes aspectos do agroecossistema que está sendo simulado (Tabela 1). Para cada situação estudada é criado um arquivo diferente, assumindo valores específicos para aquela condição. Como exemplo pode ser visto no

Apêndice B o arquivo dour_eq.100 que foi utilizado *para a simulação de equilíbrio para a situação de vegetação nativa*.

Tabela 1. Arquivos *.100 usados para a configuração dos parâmetros entrada do modelo CENTURY (versão 4.0).

Arquivo	Função
CROP.100	opções de tipos de cultura
CULT.100	opções de tipos de cultivo
FERT.100	opções de taxas de fertilizantes
FIRE.100	opções de fogo
GRAZ.100	opções de gramíneas
HARV.100	opções de colheita
IRRI.100	opções de irrigação
OMAD.100	opções de adição de matéria orgânica (adubos e resíduos orgânicos)
TREE.100	opções de diferentes espécies de árvore
TREM.100	opções de remoção de vegetação natural
FIX.100	parâmetros fixos relacionado a decomposição de matéria orgânica
SITE.100	parâmetros específicos do sistema estudado (dados climáticos, textura e densidade do solo, valores iniciais dos estoques de MOS)

O utilitário EVENT.100 é usado na criação dos arquivos de planejamento dos eventos que vão ocorrer no sistema simulado tais como: o tipo de sistema que está sendo simulado, o tempo inicial e final da simulação, a cultura plantada e os eventos de manejo (taxas de fertilizantes aplicadas, fogo, irrigação, etc). O terceiro programa, LIST.100, é utilizado na transcrição para arquivos tipo texto dos arquivos de saída das simulações, que estão em formato binário. O utilitário GETORG.exe é um aprimoramento bastante prático, que não está presente na versão original do programa, que lê a saída de um arquivo binário de simulação e altera os parâmetros iniciais de entrada de um arquivo *.100, para ser utilizado em outras simulações. Isso é interessante, por exemplo, para concatenar a saída de uma simulação de equilíbrio com o início da simulação de um experimento, sem a necessidade de rodar a simulação de equilíbrio toda vez que for simular o experimento.

A seqüência usual de trabalho do CENTURY é a seguinte:

- Criar e/ou editar os parâmetros nos arquivos SITE.100 usando o FILE.100
- Criar o planejamento dos eventos que vão ser simulados em seu sistema usando o EVENT.100
- Executar a simulação com o CENTURY
- Extrair as variáveis de saída do modelo que se quer analisar com LIST100

Para o funcionamento do modelo, é necessário um conjunto mínimo de variáveis locais de entrada que devem ser fornecidas. Estas são divididas em variáveis climáticas, de solo e de planta, e foram obtidas conforme descrito abaixo (Tabela 2):

Tabela 2. Variáveis locais de entrada e fontes de obtenção das mesmas.

Variável	Fonte
Temperatura e precipitação	Normais Climatológicas – INMET e/ou observações locais
Granulometria do solo	Levantamentos de solo disponíveis para as áreas dos experimentos e/ou dados experimentais
Conteúdos de C-orgânico dos compartimentos do solo	Levantamentos de solo disponíveis para as áreas dos experimentos e/ou dados experimentais, e/ou simulação de equilíbrio

Com as variáveis de entrada em mãos, pode ser utilizado o roteiro sugerido na publicação “Century Parametrization Workbook” (PULLIAN,1996) para a construção do arquivo SITE.100, específico da área a ser simulada.

Inicialmente será simulada a condição de equilíbrio de uma área sob vegetação nativa utilizando o submodelo de florestas do CENTURY por um tempo de simulação não inferior a 5.000 anos. No caso dos valores de saída do modelo para MOS se mostrarem distantes dos obtidos nos dados de campo, podem ser feitas alterações no parâmetro PRDX (potencial de produção de biomassa vegetal mensal) desse submodelo do CENTURY, de modo a regular a adição anual de C ao solo. Os valores de MOS dessa simulação inicial servirão como ponto de partida para a simulação das alterações no estoque de MOS nos diferentes sistemas de manejo que serão estudados.

3.7 Simulações executadas

Em seguida são descritas as simulações executadas, detalhando as informações necessárias à execução do modelo.

Para a simulação de equilíbrio da vegetação nativa foi utilizada a opção PRTP no arquivo tree.100, alterando-se o prdx(2) para um valor de 1500. Além disso, simulou-se uma renovação total da vegetação a cada 100 anos, para representar o ciclo de renovação da vegetação que ocorre naturalmente. Como parâmetros climáticos foram utilizados dados da normal climatológica calculada com os dados da estação meteorológica da Embrapa Agropecuária Oeste, para o período de 1979-2009. A configuração da seqüência de eventos pode ser visto no Apêndice C.

Para a conversão mata – plantio convencional simulou-se a derrubada e queima da vegetação nativa, e o plantio convencional, com uma aração e duas gradagens para o preparo do solo antes das culturas da soja e trigo durante todo o ciclo. Foi ainda adicionado um evento de adubação anual de 40 kg/ha de nitrogênio para a cultura do trigo. Como parâmetros climáticos foram utilizados os mesmos parâmetros da simulação anterior. Foi adicionado um efeito adicional do preparo do solo, que permanece por dois meses após o preparo do solo, com sugerido por Leite et al. (2003).

Para a simulação da implantação e condução do experimento foi criado um arquivo “site.100” para cada sistema. Nos Apêndices D e E temos os exemplos do arquivo de configuração de manejo para as áreas de pastagens permanente e integração lavoura-pecuária. Como parâmetros climáticos utilizaram-se os dados reais medidos durante o decorrer do projeto (Apêndice F).

3.8. Análises estatísticas

Para a análise estatística dos dados de estoque de C dos diferentes sistemas de manejo, foi feita a análise de variância, utilizando-se o procedimento GLM do Programa SAS (SAS, 1997). Se pertinente realizou-se a análise de comparação de médias por meio do teste de Tukey com nível de significância de $P < 0,05$.

Na maior parte dos trabalhos publicados a avaliação dos modelos de MOS tem se baseado na comparação visual entre valores simulados e dados de

campo, colocados, por exemplo, em um gráfico de dispersão. Esse tipo de interpretação tem caráter apenas qualitativo. Para uma análise de caráter mais quantitativo, neste trabalho os resultados do modelo foram avaliados estatisticamente através da abordagem proposta por Smith et al. (1996, 1997).

O grau de associação entre os valores medidos e simulados foi determinado utilizando o coeficiente de correlação (R), e a significância da correlação foi avaliada utilizando um teste t de Student. Esse resultado mostra se os dois conjuntos de dados têm a mesma tendência, e é importante quando os resultados devem ser extrapolados para além do âmbito da experiência. Os valores variam de R -1 a +1. Valores próximos a -1 indicam uma correlação negativa entre as simulações e medições, valores igual a 0 indicam não haver correlação e valores próximos de 1 indicam uma correlação positiva (SMITH et al., 1996, 1997). A coincidência entre os valores medidos e simulados foi avaliada pelo cálculo da raiz média do desvio ao quadrado -RMS (SMITH et al., 1996, 1997). Esta é a diferença média total entre os valores medidos e simulados e é fornecida nas mesmas unidades os dados analisados. Quanto menor o valor de RMS, mais exata a simulação. O viés nas simulações em relação às medições foi calculado como a diferença média - M (ADDISCOTT, 1993). Essa diferença não inclui um termo de quadrado, de forma que os valores simulados acima e abaixo das medidas se anulam mutuamente. Portanto, erros inconsistentes não serão considerados e os valores de M podem ser positivos ou negativos se os resultados da simulação são tendenciosas. M será zero se não há nenhuma diferença entre simulado e medido valores. A significância de M pode ser testada usando um teste t de Student (SMITH et al., 1996, 1997).

4. Resultados e Discussão

4.1. Estoques de C no solo e suas frações

Os teores totais de carbono em função dos diferentes sistemas de uso encontram-se na Tabela 3, adaptada de Embrapa (2007). Na camada de 0 a 10 cm, os teores de C variaram entre 17,9 e 31,1 g.kg⁻¹. Nos diferentes compartimentos, os teores de C tenderam a apresentar valores mais elevados para os complexos organo-minerais (COM), variando entre 20,3 e 39,4 g.kg⁻¹. Esses valores estiveram bem próximos aos observados para o solo total. Em contraste, valores significativamente inferiores foram observados para C na matéria orgânica particulada (MOP), o qual variou entre 3,0 e 15,5 g kg⁻¹. Os menores teores observados na fração MOP estão relacionados à pequena quantidade de matéria orgânica nesse reservatório, a qual fica diluída na massa de areia. Vale ressaltar que, diferentemente da fração leve obtida pelo método densimétrico, a MOP é recuperada juntamente com a fração areia (ROSCOE; MACHADO, 2002). Na camada de 10 a 20 cm, comportamento semelhante foi observado quanto à distribuição de C nas diferentes frações. Em geral, os valores são inferiores aos da primeira camada de solo, retratando bem a tendência de redução da matéria orgânica do solo com a profundidade (Tabela 3).

Tabela 3. Teores de C no solo e nos complexos organo-minerais (COM) e matéria orgânica particulada (MOP), densidade do solo (DS), e relações C-COM:COT e C-MOP:COT nas profundidades de 0 a 10 e 10-20 cm. (adaptada de Embrapa, 2007)

Profundidade cm		COT g kg ⁻¹	DA g cm ⁻³	C-COM g kg ⁻¹	C-MOP g kg ⁻¹	C-COM:COT %	C-MOP:COT %
0-10	PC	17,90	1,23	20,30	3,10	94,80	5,20
	PD	18,90	1,42	21,63	3,20	95,80	4,20
	ILP	20,10	1,41	22,05	5,00	95,70	5,30
	PP	21,50	1,37	23,00	8,20	93,80	6,20
	VN	31,13	1,19	39,40	15,50	93,90	6,10
10-20	PC	15,70	1,37	18,90	1,42	97,70	2,30
	PD	17,70	1,40	19,33	1,60	97,80	2,20
	ILP	18,10	1,35	19,55	3,00	96,70	3,30
	PP	18,60	1,29	20,60	4,50	96,40	3,60
	VN	30,40	1,15	40,60	16,80	94,00	6,00

Observou-se uma grande variação na densidade do solo, em função dos diferentes sistemas de uso. Em relação à mata nativa, os valores foram 3, 19, 18

e 15% superiores para PC, PD, ILP e PP, respectivamente, na primeira profundidade (Tabela 3). Tendência similar foi observada para a segunda profundidade. Essas diferenças na densidade do solo significam que, em uma determinada área, quando se comparam estoques de C por unidade de volume de solo, as comparações levariam em consideração até 19% a mais de massa de solo para os sistemas com solos mais densos. Tal problema foi alertado por Roscoe e Buurman (2003), que relataram haver valores superestimados dos estoques de carbono em solos submetidos ao cultivo. Isso ocorreria em função da compactação nesses sistemas.

Na Figura 2 são apresentados os de estoques de carbono para as profundidades 0 a 10cm e 10 a 20 cm combinadas, levando-se em consideração as densidades do solo em cada sistema e a densidade dos solo padrão da vegetação nativa. Observa-se que, para todos os sistemas de uso, em decorrência de uma maior densidade do solo, houve sistemática tendência de superestimar os estoques de carbono, quando comparado ao estoque calculado com a densidade da área nativa. Essas diferenças variaram entre 9 e 19%. Partindo-se do pressuposto de que a área sobre vegetação nativa representaria o tempo zero das áreas sob cultivo, as maiores densidades seriam decorrentes do processo de compactação, seja pelo trânsito de máquinas, seja pelo pisoteio de animais. Como a maior parte da MOS está ligada à fração mineral (CHRISTENSEN, 2000), principalmente em solos tropicais (FELLER; BEARE, 1997), processos de compactação podem gerar interpretações errôneas sobre os estoques de carbono no solo (ROSCOE; BUURMAN, 2003). Por esse motivo, todos os cálculos no presente estudo foram realizados levando-se em consideração a densidade padrão do solo sob vegetação nativa.

Analisando-se as profundidades em separado, foi observado efeito significativo do sistema de uso sobre o estoque de C no solo na profundidade de 0 a 10 cm, (Figura 3a). O PC e o PD apresentaram valores significativamente menores que os demais sistemas. Por outro lado, não houve diferenças significativas entre os tratamentos na

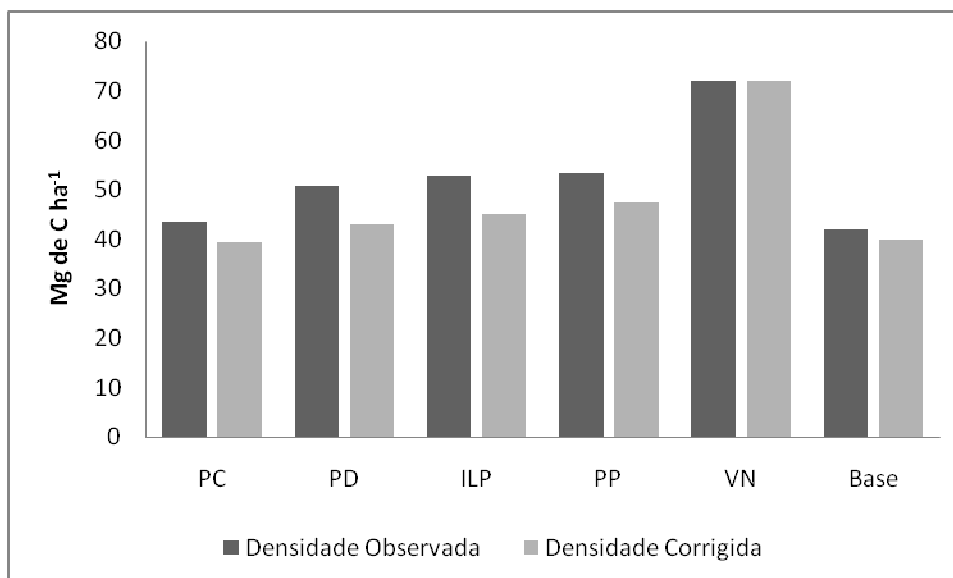


Figura 2. Estoques finais de carbono orgânico do solo (CO), na profundidade de 0 a 20 cm, em função do sistema de uso e da correção dos estoques de C do solo em função da massa de solo da área de referência (vegetação nativa). Base – valores do início do experimento (1995); PC – plantio convencional; PD – plantio direto; ILP – integração lavoura pecuária; PP – pastagem permanente, VN - vegetação nativa.

profundidade de 10 a 20 cm (Figura 3b). Nem mesmo a vegetação nativa destaca-se das demais nessa profundidade. Quando são integrados os dados das profundidades, também não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos. Essa ausência de diferenças entre os diferentes sistemas de cultivo está relacionada com a estabilidade do solo estudado. Mesmo sob cultivo intensivo, com arações e gradagens por mais de 30 anos, o SC perdeu somente cerca de 39% de seu C original. Essa estabilidade tem sido relacionada aos elevados teores de óxidos e hidróxidos de Fe e Al presentes em tais solos (RESENDE et al., 1997).

A distribuição percentual do C nos diferentes reservatórios foi obtida para as profundidades 0 a 10 cm e 10 a 20 cm (Figura 4). Em geral, para ambas as profundidades, acima de 93% do C foi encontrado no reservatório COM. A média na primeira profundidade foi de 94,8% (Figura 4a), aumentando para 96,5% na segunda profundidade (Figura 4b). Na primeira profundidade, os valores de MOP estiveram próximos para todos os sistemas, variando entre 4,2 e 6,1% do total (Figura Xa). Para a profundidade de 10-20m, no entanto, houve uma clara tendência de valores inferiores

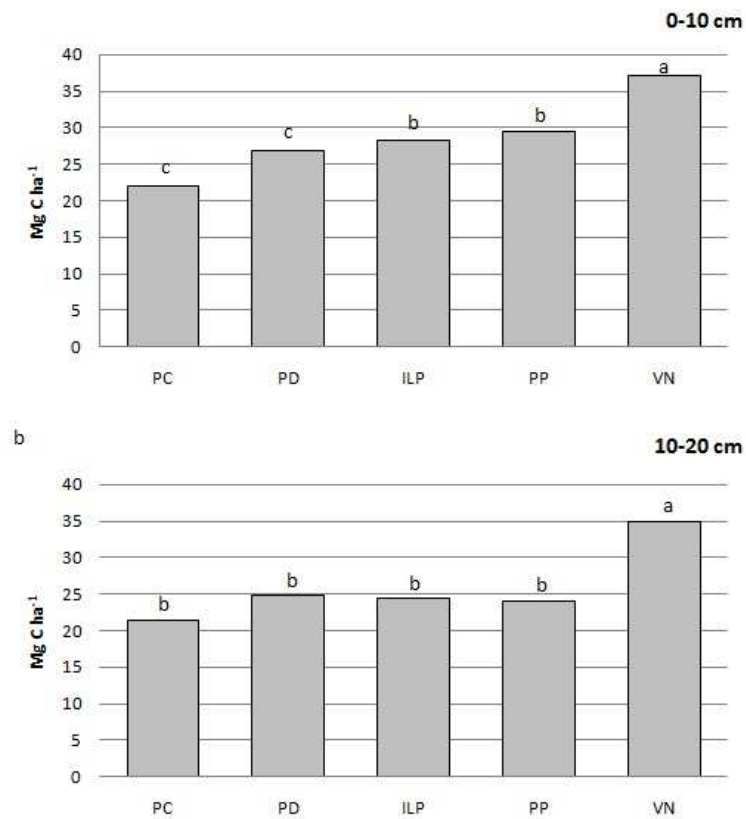


Figura 3. Estoques de carbono orgânico (CO) em função dos diferentes sistemas de uso estudados, para a profundidade de (a) 0-10 cm e (b) 10-20cm. Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. SC – sistema convencional de cultivo; SPD – sistema plantio direto; ILP – integração lavoura pecuária; PP – pastagem permanente; VN – mata nativa.

para os sistemas com culturas anuais (PC e PD), em média 2,3%. Nos sistemas com pastagens os valores foram intermediários (3,3%) e, para a mata nativa, os valores foram superiores (6,0%). Comportamento semelhante foi observado por Roscoe et al. (2001) e Roscoe e Buurman (2003) para um Latossolo Vermelho distrófico sob vegetação de cerrado, pastagem e cultivo anual em sistema plantio direto e convencional.

Tradicionalmente, o plantio convencional é considerado um dos sistemas com maior nível de degradação do uso da terra na região do Cerrado (RESCK et al., 1999),

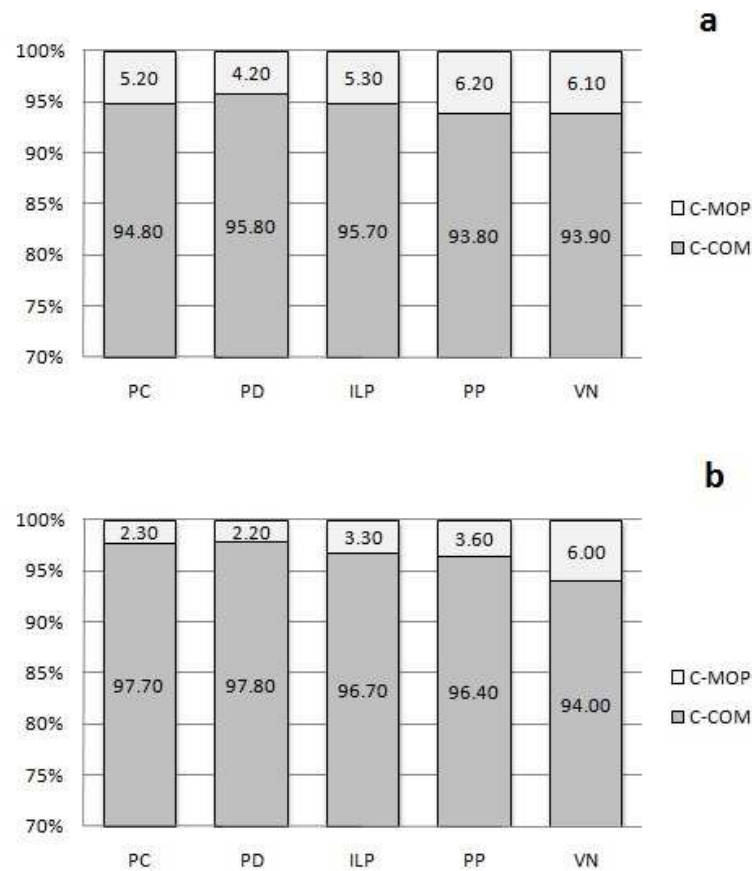


Figura 4. Distribuição percentual de carbono orgânico total (COT) nas frações: complexos organo-minerais (COM) e matéria orgânica particulada (MOP), na profundidade (a) 0-10 cm e (b) 10-20 cm.

que muitas vezes leva a uma redução de estoques de C no solo. Nossos resultados mostraram uma perda de 39% após 20 anos de uso na fase pré-experimento. Após a implantação do experimento, apesar da falta de significância estatística quando considerados os estoques corrigidos para mesma massa de solo, pode ser observada uma tendência de aumento nos estoques de PD, ILP e PP para a camada 0-20 cm. Silva et al. (1994) relataram perdas de até 80% do estoque original sob o Cerrado após cinco anos de plantio convencional.

Estes resultados conflitam em alguma medida com resultados observados para o cerrado, onde vários dos estudos tem demonstrado a manutenção ou aumento no estoque de C sob sistemas de cultura em relação ao

Cerrado. Corazza et al. (1999), em um estudo de sobre diferentes sistemas de manejo em um Latossolo Vermelho obtiveram, para a camada 0-20 cm, estoques de carbono com valores entre 36 e 47 Mg ha⁻¹, com a maioria dos sistemas de manejo estudados apresentando resultados superiores aos estoques para o Cerrado. Nas mesmas condições, Silva et al., (2004), avaliando seis tipos de gramíneas forrageiras, com ou sem leguminosas, observou-se que, exceto para a pastagem solteira de *Brachiaria decumbens*, o estoque de C foi de 28% superior em relação ao Cerrado. Eles observaram ainda que o acúmulo de C ocorreu principalmente sob pastagens adubadas. Marchão (2007) comparando diferentes sistemas de cultivo e regimes de adubação encontrou que a ILP não promoveu um incremento no solo C. Segundo o autor, o experimento simulou as condições de produção pecuária no Cerrado brasileiro, com a entrada de N nas pastagens notavelmente baixa. Os dados na literatura sugerem que se bem conduzidas (adubação e lotação animal adequadas), as pastagens cultivadas estão menos sujeitas a degradação (MACEDO, 2001), e podem fornecer a entrada de C em quantidade suficiente para manter ou mesmo aumentar o seu conteúdo em relação a vegetação nativa.

As diferenças mínimas nos estoques de C entre os solos cultivadas e sob vegetação nativa do Cerrado relatada por vários autores (CORAZZA et al., 1999; FREITAS et al., 2000; ROSCOE; BUURMAN, 2003) pode ser explicada ou pela grande entrada de C pelos restos culturais (FREITAS et al. 2000) ou pela capacidade de proteção a decomposição do carbono orgânico em Latossolos, mesmo quando submetido ao preparo convencional (ROSCOE; BUURMAN, 2003).

4.2 Parametrização e simulações com o CENTURY

4.2.1 Simulação da vegetação nativa

A parametrização do simulador CENTURY foi realizada a partir do levantamento de dados secundários na literatura e de dados meteorológicos, conforme descrito no item 3.7.

Em testes preliminares realizados para as condições de mata semi-decídua de Dourados – MS, foi observada uma incompatibilidade das simulações com as observações de campo, sendo os valores de carbono orgânico do solo, estimados pelo CENTURY, sistematicamente superiores às medições (Figura 5). Enquanto os valores observados a campo estavam por volta de 72 Mg.ha⁻¹, as

simulações apontavam para valores em torno de 117 Mg.ha^{-1} , após a estabilização dos estoques. Em outros trabalhos conduzidos no Brasil com o CENTURY, principalmente para as condições do Rio Grande do Sul, diversos autores têm adotado alterações em coeficientes que são usados pelo programa para modular os fluxos entre os diferentes compartimentos de carbono do modelo, bem como as taxas de saída do carbono como CO_2 , resultante da atividade microbiana sobre os substratos.

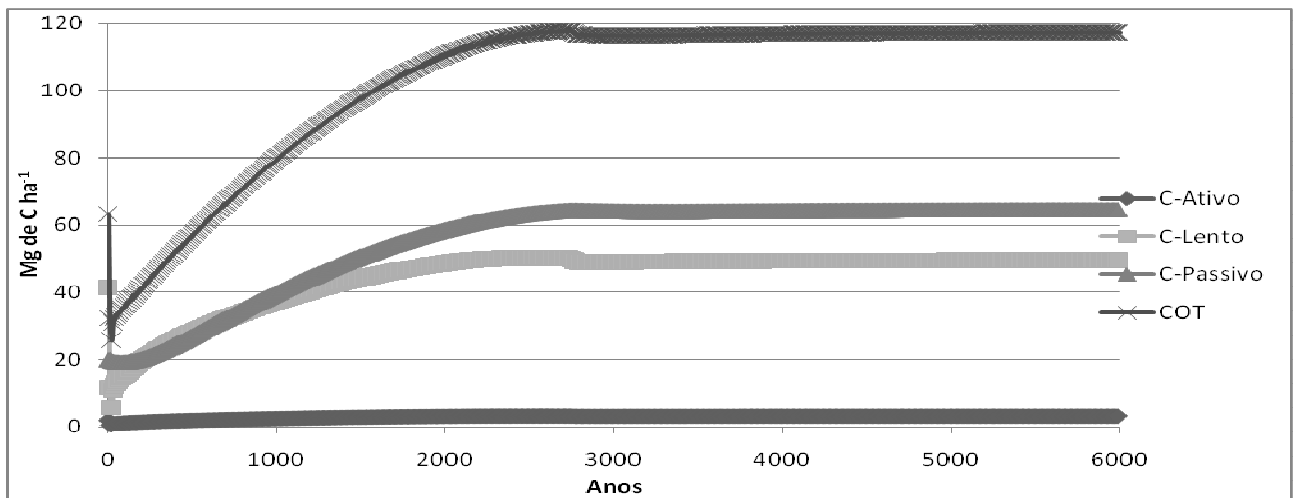


Figura 5. Simulação dos estoques de carbono orgânico no solo total e nos diferentes reservatórios do CENTURY, parametrizado para as condições edafológicas de Dourados-MS, sob floresta nativa, na profundidade de 0 a 20 cm, utilizando-se os valores padrão do modelo.

Numa análise detalhada do sub-modelo de MOS, observa-se que o fluxo de CO_2 a partir do reservatório ativo é descrito por uma equação linear, na qual a fração efetivamente respirada do carbono orgânico decomposto anualmente desse reservatório é função do teor de areia do solo, conforme equação 4:

$$FCO_2 = 0,17 + 0,68 T_{\text{areia}} \quad (4)$$

onde

FCO_2 = fração do carbono orgânico decomposto anualmente do reservatório ativo que é perdida do sistema na forma de CO_2 ;

T_{areia} = proporção de areia do solo. O restante do carbono que deixa o reservatório ativo anualmente é transferido para as frações lenta e passiva, ou é perdido por lixiviação.

Uma análise de sensibilidade do simulador a variações nos parâmetros da referida equação foi realizada para a condição do solo sob vegetação nativa, com o intercepto variando entre 0,1 e 0,5 e a declividade da reta entre 0,30 e 0,90. Esses valores correspondem aos coeficientes $P1CO2A(2)$ e $P1CO2B(2)$, que podem ser editados diretamente no arquivo FIX.100. A amplitude de variação nos parâmetros foi determinada pela coerência de seu significado, de modo a manter FCO_2 entre 0 e 1. Os valores simulados C total para o solo argiloso de Dourados sofreram alterações maiores quando foram variados os valores do intercepto da equação (Figura 6a), do que quando os valores da declividade da reta foram alterados (Figura 6b). As alterações na declividade não possibilitaram a obtenção de valores simulados próximos aos observados, ficando estes sempre superiores a 72 Mg.ha^{-1} (Figura 6b). As variações do intercepto, no entanto, promoveram a interseção dos valores simulados com o observado (Figura 6a). Mantendo-se o parâmetro de declividade em seu valor padrão (0,68), o valor observado a campo foi obtido quando o intercepto foi ajustado para 0,39. A da simulação resultante, com a alteração do valor do intercepto para 0,39, pode ser observada na Figura 7. Os valores do estoque de C simulados na condição de equilíbrio foram 68,0; 43,3; 23,2 e $1,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ para, respectivamente, carbono orgânico total (COT), carbono ligado a fração passiva (C-Passivo), carbono ligado a fração lenta (C-Lento) e carbono ligado a fração ativa (C-Ativo), com o COT apresentando um valor bastante próximo do valor medido (72 Mg.ha^{-1}).

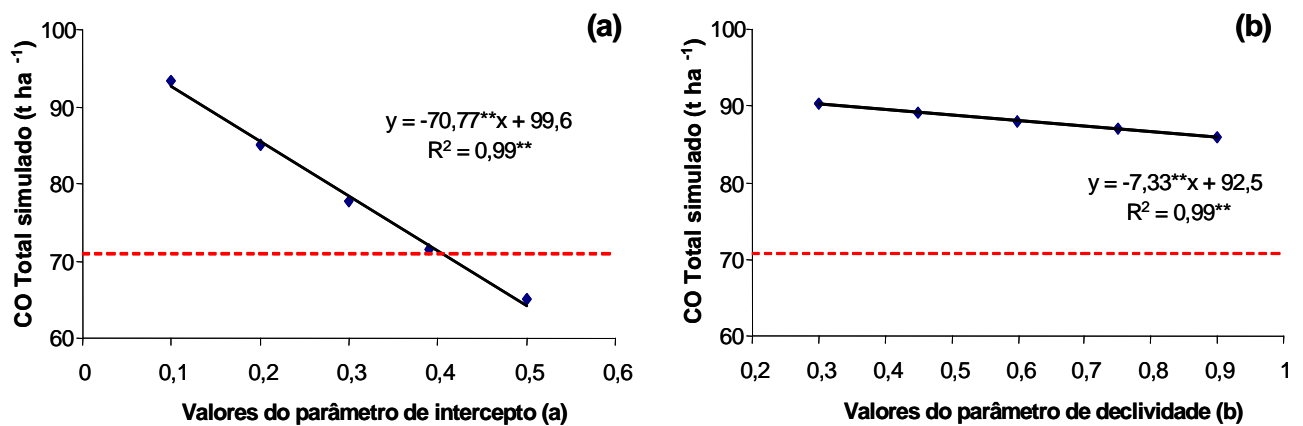


Figura 6. Variações nos teores de carbono orgânico total do solo (CO Total) simulado pelo CENTURY, em função de variações no intercepto (a) e na declividade da reta (b) da equação linear que determina a proporção do carbono decomposto anualmente do reservatório ativo que é convertido em CO₂ (Equação 1), considerando o solo argiloso de Dourados – MS. A linha pontilhada representa o valor de 72 t ha⁻¹, medido a campo.

A fim de comprovar a validade da alteração no coeficiente no comportamento do modelo, foi feita uma simulação de uma mata nativa em Glória de Dourados (22 ° 22 ' S e 54 ° 30 ' W) sob um Argissolo Vermelho textura arenosa, com um estoque de C 17 Mg.ha⁻¹ para a camada 0-20 cm (SILVA et al., 2008). Nessa simulação foram utilizados os mesmos parâmetros de clima e manejo da área, alterando-se apenas os valores de areia, silte e argila (540-250-210 g kg⁻¹).

Do mesmo modo que a simulação feita para a área de referência (Latosolo vermelho distroférico), quando o valor de 0,39 foi utilizado para a simulação do C total para solo arenoso, os valores obtidos foram muito próximos aos observados a campo, melhorando significativamente a precisão da simulação (Figura 8). Enquanto a simulação utilizando o valor padrão de 0,17 estimou um estoque de carbono de 30 Mg.ha⁻¹, a simulação com o valor ajustado de 0,39 chegou a valores de 18 Mg.ha⁻¹, valor esse muito próximo ao observado em campo de 17 Mg.ha⁻¹.

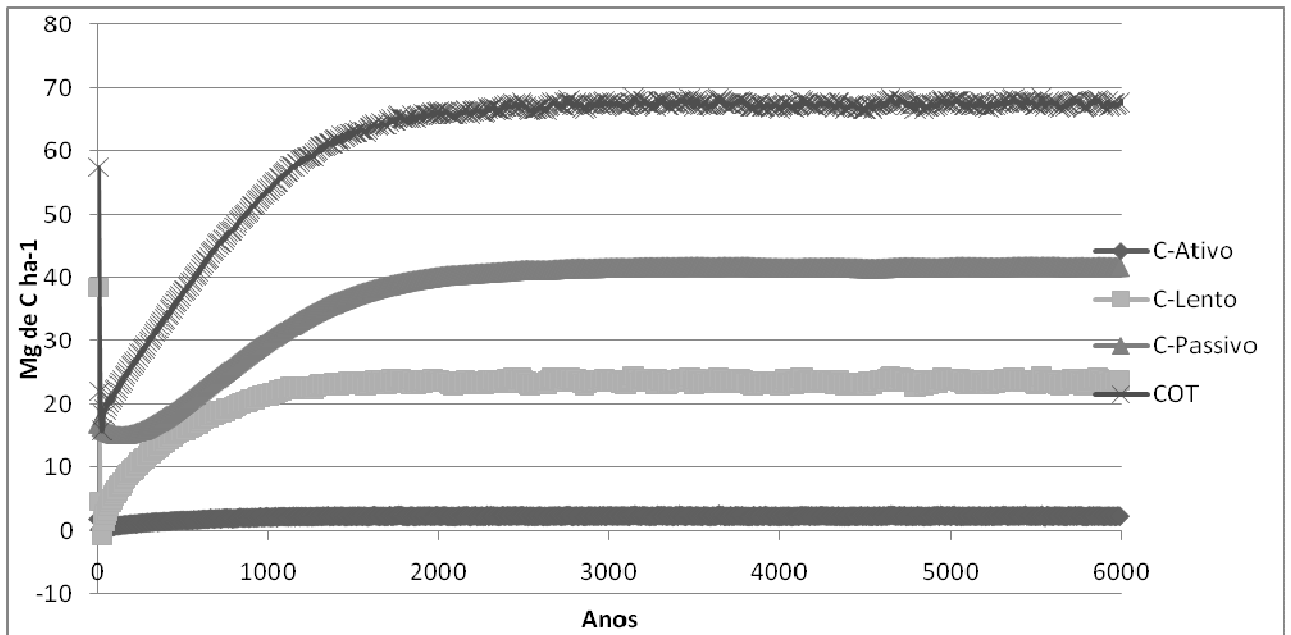


Figura 7. Simulação dos estoques de carbono orgânico no solo total e nos diferentes reservatórios do CENTURY, parametrizado para as condições edafológicas de Dourados-MS, sob floresta nativa, na profundidade de 0 a 20 cm, utilizando-se os valores o valor de 0,39 para P1CO2B(2).

Os resultados aqui obtidos sugerem que a proteção da matéria orgânica do solo exercida pela fração silte + argila tende a ser superestimada, quando se utiliza os valores padrão do simulador CENTURY, para as condições tropicais de Dourados e Glória de Dourados. Esse coeficiente, associado à interceptação, regula o quanto a textura afeta a conversão do C do compartimento ativo para lento e passivo. Ao contrário da premissa adotada pelo CENTURY, esta eficiência não deve ser determinada exclusivamente pela textura do solo. O tipo de argila dominante, em função dos diferentes graus de reatividade e área de superfície específica, conforme Parfitt et al. (1997), ou seu estado de agregação (EMERSON et al., 1986; CHRISTENSEN, 1996), também concorrem para o fenômeno, por estarem relacionados com a proteção da matéria orgânica à atividade decompositora dos microorganismos do solo. A maior sensibilidade ao intercepto indica que a magnitude da proteção tende a ser menor nas condições estudadas, comparativamente aos padrões estabelecidos pelo modelo. As condições climáticas favoráveis à decomposição e a baixa atividade das argilas presentes nesses solos provavelmente sejam a razão, visto que o modelo foi desenvolvido para ambientes

de clima temperado. A validação do valor 0,39 em um solo com textura bastante contrastante sugere que essa modificação não alterou o comportamento do modelo, sendo então adotada no restante do trabalho.

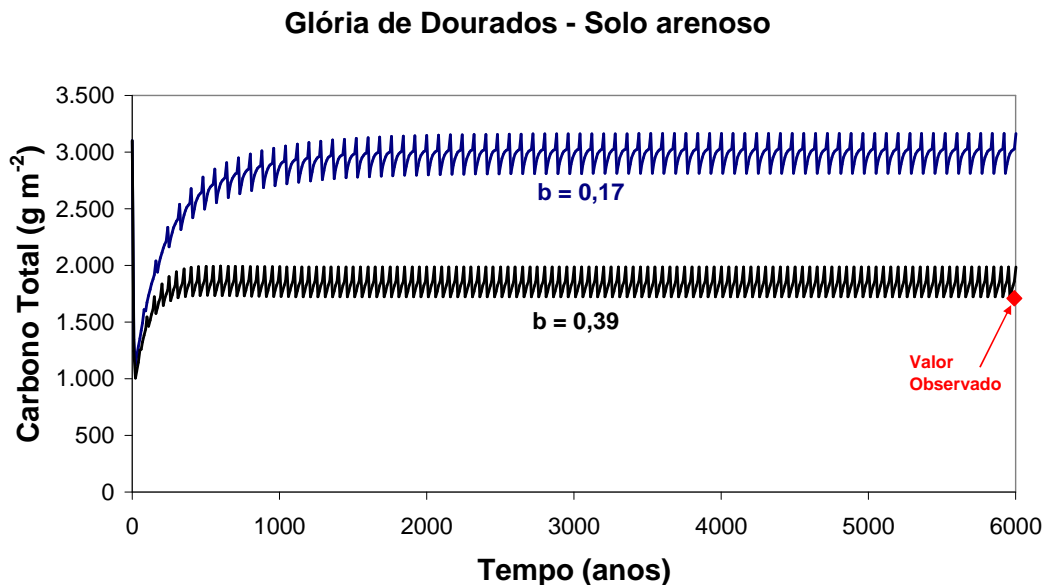


Figura 8. Simulações do carbono orgânico total do solo (g m^{-2}), na camada de 0 a 20 cm, simulado pelo CENTURY, para mata nativa em um Argissolo Vermelho distrófico arenoso de Glória de Dourados – MS, considerando o valor padrão (0,17) para o intercepto da equação de partição do carbono orgânico decomposto anualmente do reservatório ativo, e o valor ajustado (0,39). O valor observado em campo é evidenciado por uma seta.

Foi feita, ainda, uma avaliação da sensibilidade do modelo a alterações climáticas, em curtos intervalos de tempo, fazendo-se a simulação da área de mata para um período 5 anos (2001-2005), depois de atingido o equilíbrio, utilizando-se os dados climáticos da estação meteorológica da Embrapa Agropecuária Oeste. Observou-se que há uma forte resposta às oscilações climáticas (Figura 9). O carbono orgânico total, mesmo de uma floresta teoricamente estabilizada, sofreria alterações consideráveis em intervalos de tempo relativamente curtos. A fração mais sensível seria a fração ativa, a qual teria uma resposta quase que imediata a mudanças, principalmente, à disponibilidade de umidade. A fração lenta, por sua

vez, seria responsável por oscilações menos abruptas, mas mais duradouras. Finalmente, a fração passiva seria praticamente inalterada por tais variações.

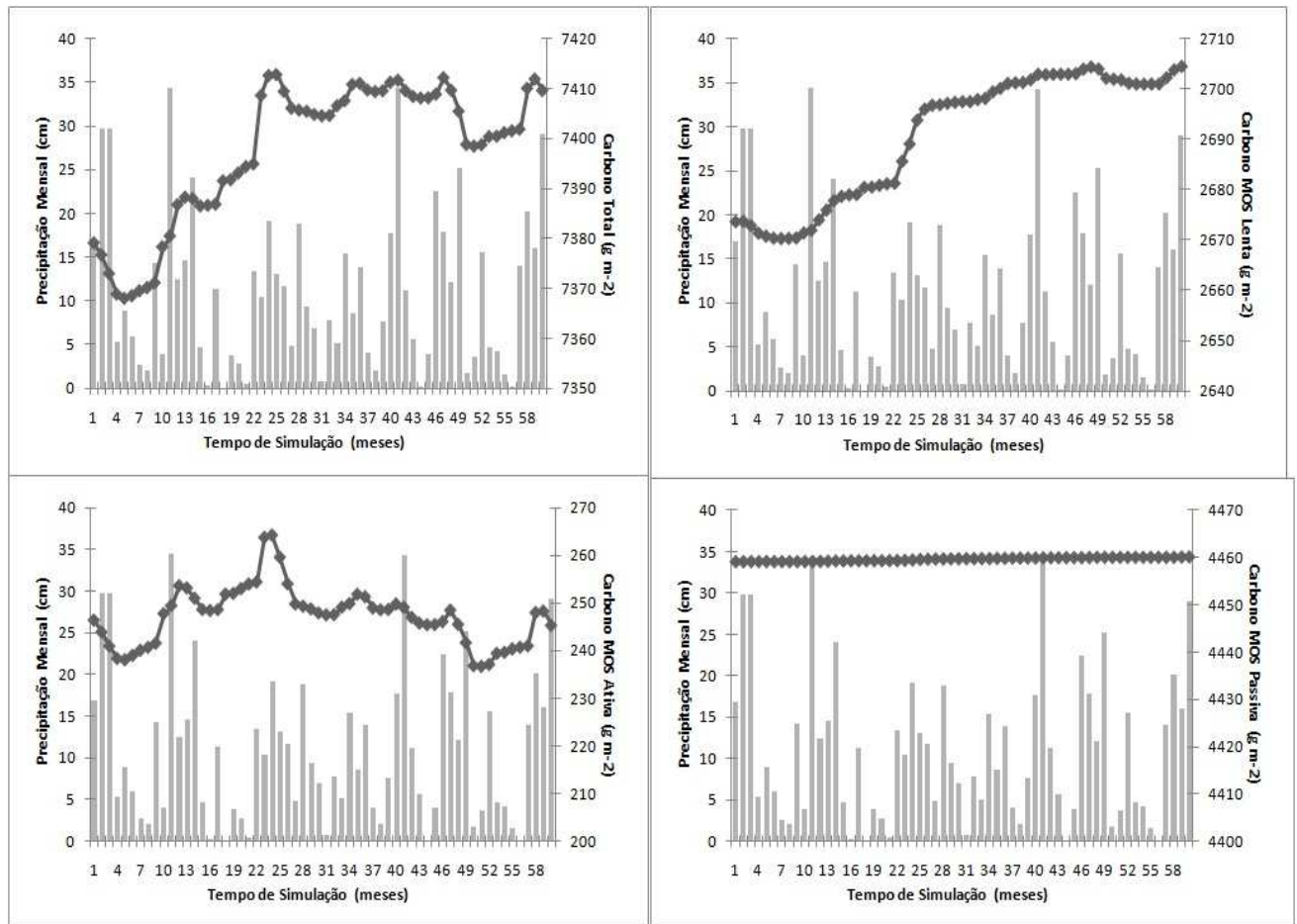


Figura 9. Valores simulados dos estoques de carbono (a) total e nos diferentes reservatórios da matéria orgânica do solo: (b) ativo; (c) lento e (d) passivo; em condições de mata nativa de Dourados – MS, considerando os dados climáticos observados para a região no período de 2000 a 2005. Barras representam a precipitação observada no período e as linhas os valores de C simulados pelo CENTURY.

4.2.2 Simulação Base (1975-1995)

Com o uso do utilitário GETORG.exe foi criado o arquivo de configuração das condições iniciais – BASE.100, para a simulação do desmatamento e início do uso da área experimental, no período de 1975-1995, anterior ao início do experimento. Os estoques de C total simulados pelo CENTURY foram reduzidos de $68 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$, sob a vegetação nativa, para $42,9 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ após 20 anos de cultivo convencional com a sucessão soja-trigo. Isso representa uma queda

de 37% do estoque, ou uma taxa de perda de 1,26 Mg de C.ha⁻¹. ano⁻¹. O valor simulado está bastante próximo do estoque medido no início do experimento, estimado em 39,8 Mg.ha⁻¹ por Salton (2005). A taxa de perda de carbono do solo observada foi semelhante ao valor calculado por Siqueira Neto (2006) para uma fazenda na região de Rio Verde – MS.

4.2.3 Simulação das áreas experimentais

Do mesmo modo feito para a simulação base, o utilitário GETORG.exe foi utilizado para criar um arquivo de configuração das condições iniciais para cada um dos sistemas estudados no experimento, a partir dos valores finais da simulação do período 1975-1995.

Na Figura 10 pode ser observada as curvas de variação dos estoques de C total simulados pelo CENTURY, levando-se em consideração todo o histórico da área. Após a conversão da área nativa em sistema convencional de cultivo, com soja no verão e trigo no inverno, o CENTURY simulou uma rápida perda de C total, sendo estabilizado em valores cerca de 44% inferiores aos da vegetação nativa, por volta de dez anos após a conversão. Após o início do experimento, a área de plantio convencional continuou a perder C, porém numa taxa menor que a observada nos 20 anos anteriores de manejo da área. Isto pode estar relacionado uma melhor condução da área, envolvendo práticas de manejo e adubação mais adequadas. A adoção do sistema plantio direto (SPD) promoveu uma resposta positiva nas simulações, elevando os teores de C com o tempo. Embora não seja significativa a diferença entre os estoques de C medidos para os diferentes sistemas de manejo em 2005 (Figura 2), as tendências de aumento dos estoques de C do sistema em função da adoção do SPD estão de acordo com os dados observados, indicando que esta seria uma tendência consistente (Figura 10). Os maiores aumento nos estoques de C total foram observados para os tratamentos que envolvem a presença de forrageiras, pastagens permanente (PP) e o sistema integração lavoura-pecuária (IPL).

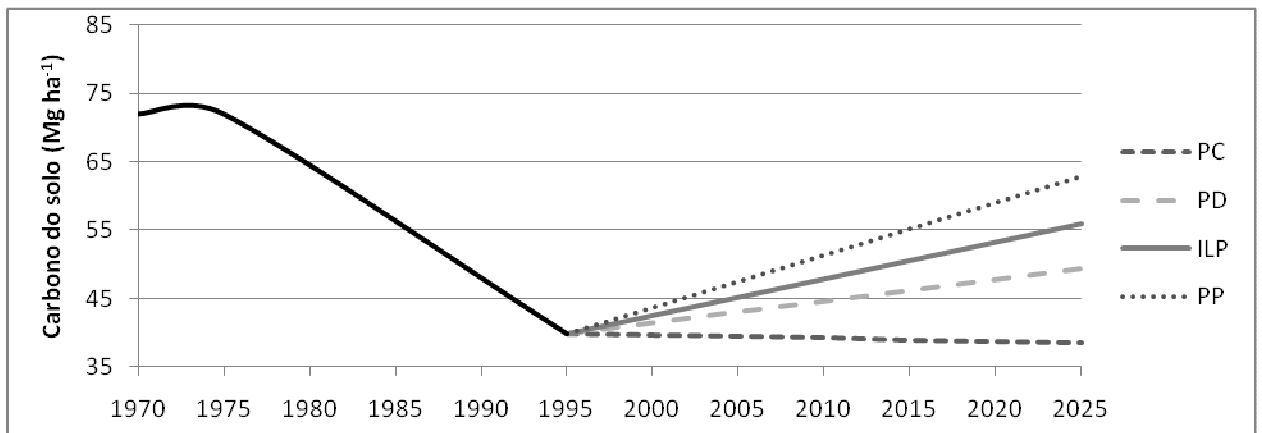


Figura 10. Simulação do carbono orgânico total do experimento de longa duração na Embrapa Agropecuária Oeste, Dourados-MS, para os sistemas convencional (SC), sistema plantio direto (PD), pastagem permanente (PP) e integração lavoura-pecuária (ILP).

Na tabela 4 podem ser observados os estoques de C total simulados pelo CENTURY e medidos no experimento para os diferentes sistemas de produção, levando-se em conta ou não a correção pela massa de solo da área VN. Os valores simulados pelo modelo foram menores do que os valores medidos, à exceção da simulação do valor inicial da área do experimento em 1995. As diferenças variaram entre 2,67 e 11,11%.

Comparando-se os valores simulados com os observados (Tabela 4 e Figura 11), observou-se que, quando os valores de C medidos não foram corrigidos para a densidade do solo do ambiente natural, os valores simulados não apresentaram correlação com os valores observados (Figura 11). Entretanto, quando houve correção dos valores, houve uma correlação positiva e significativa entre os valores simulados e observados. Essa observação reforça a hipótese de que a possível compactação decorrente do cultivo do solo ou pisoteio de animais pode interferir significativamente nos cálculos de estoques em ambientes manejados, inserindo um erro nas comparações com ambientes naturais.

Tabela 4. Valores de carbono orgânico total (C) simulados pelo CENTURY e observados em amostragem de campo em 2005, em função do sistema de uso do solo. Os valores observados são apresentados sem e com a correção para a densidade do solo (detalhes no texto).

Área	C-corr**	C-não corr	Dp	C-modelo	Diferença
	Mg.ha ⁻¹			Mg.ha ⁻¹	Mg.ha ⁻¹
Base	39,80	41,9		42,90	7,23
PC*	39,44	43,526	4,20	38,42	-2,67
PD	43,05	50,86933	4,07	38,74	-11,11
ILP	45,17	52,79	2,92	40,75	-10,86
PP	47,50	53,449	1,07	45,07	-5,37
VN	72,00	72,0047	5,03	68,33	-5,37

*Base – valores do início do experimento (1995); PC – plantio convencional; PD – plantio direto; ILP – integração lavoura pecuária; PP – pastagem permanente, VN - vegetação nativa

** C-corr – estoques de C corrigidos para uma mesma massa de solo; C-não corr – estoques não corrigidos; dp - desvio padrão; C-modelo – estoque de C simulado pelo modelo

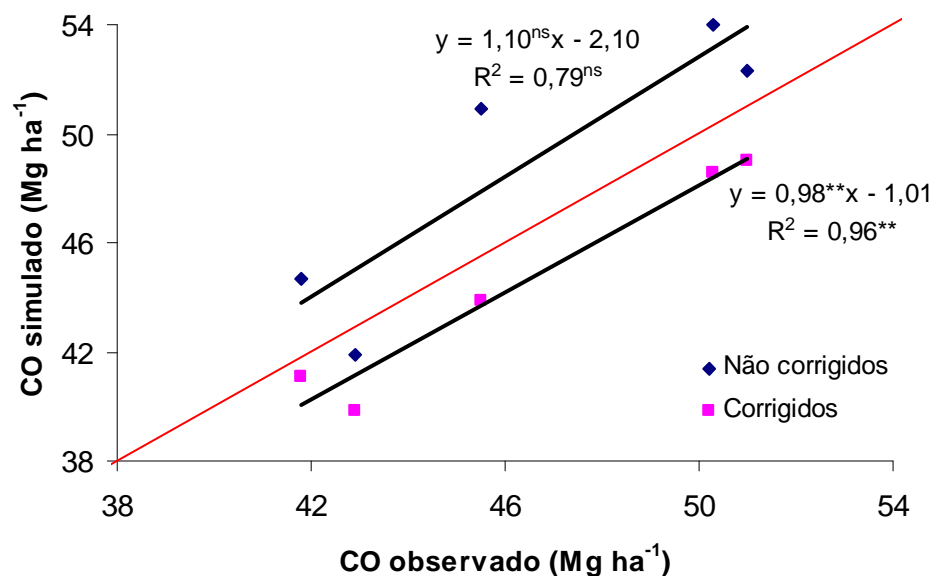


Figura 11. Relação entre o carbono orgânico (CO) simulado e observado para os diferentes sistemas de uso estudados. Os valores observados foram corrigidos ou não em função da densidade do solo, para evitar o efeito da compactação (detalhes no texto).

Observou-se, ainda, que os valores corrigidos, apesar de uma boa correlação com os valores simulados, apresentaram-se sistematicamente inferiores aos mesmos. Tal comportamento pode estar relacionado com a diferença inicial nos estoques na vegetação nativa, a qual foi ligeiramente superior aos valores observados a campo. Esses valores mais elevados levariam a uma estabilização do reservatório passivo em patamares mais altos do que os observados. Como essa é uma fração que sofre pouca alteração no horizonte de tempo simulado, formaria uma linha de base (background) mantendo valores sistematicamente superiores.

Na tabela 5 está apresentada a análise estatística da comparação entre os dados simulados e medidos de C total, conforme Smith (1996, 1997). Pode ser observado que o modelo conseguiu simular com precisão o experimento, apresentando uma alta correlação entre os valores medidos e simulados ($R^2=0,99$), um baixo RMSE (6,92%) e um baixo erro relativo ($E=6,41$).

Tabela 5. Análise estatística de comparação entre os dados simulados e medidos.

	Statistics
r = Correlation Coeff.	0.99
Assuming no model parameters adjusted, (i.e.k=1), ...	
$F = ((n-2) r^2) / (1-r^2)$	249.00
F-value at (P=0.05)	10.13
Significant association?	Yes - Good
RMSE = Root mean square error of model	6.92%
RMSE (95% Confidence Limit)	23.96%
Significant total error?	No - Good
E = Relative Error	6.41
E (95% Confidence Limit).	= +/- 22.27
Significant bias?	No - Good
LOFIT = Lack of Fit	292.68
F = MSLOFIT/MSE	0.00
F (Critical at 5%)	2.95
Significant error between simulated and measured values?	No - Good
ME = Maximum Error. Best = ABS(M)	4.43
RMSE * Obar/100 (average total error)	3.42

Na concepção do CENTURY, com três compartimentos diferentes de carbono orgânico no solo, não se levou em consideração nenhuma definição metodológica de como se medir esses compartimentos na natureza. Na descrição do modelo existe a sugestão de que esses compartimentos podem ser obtidos e correlacionar-se com as medidas da biomassa microbiana para o C-ativo, carbono orgânico particulado para o C-lento e complexos organo-minerais (COM) para o C-passivo (METHERREL,1994). No presente trabalho estamos testando essa suposição. Os valores de biomassa microbiana utilizados nessa comparação foram obtidos em EMBRAPA (2008).

A Figura 12 apresenta a comparação para os estoques simulados e medidos de C total e para as suas diferentes frações, C-passivo, C-ativo e C-lento. Pode ser observado que para o C total e C-passivo houve uma boa aproximação entre os valores simulados e medidos. Para as frações lenta e ativa o modelo apresentou valores inferiores aos medidos em todas as situações. A fração ativa simulada representou ao redor de 2% do C total, com os maiores valores observados nos sistemas PP e ILP, similarmente ao observado nos trabalhos de Paustian et al. (1992); Motavalli et al. (1994) e Leite et al (1994). O reservatório passivo representou a maior parte do carbono simulado, registrando entre 38 e 67 Mg.ha⁻¹ para PC e VN, respectivamente.

Na Figura 13 podem ser vistas as correlações calculadas entre os valores medidos e simulados para as frações de C. Os estoques de C total e C-passivo apresentaram uma alta correlação entre os valores medidos e simulados ($R^2=0,99$ $p<0,05$ e $R^2=0,95$ $p<0,05$, respectivamente para C total e C-passivo). Já o C-lento apresentou uma correlação intermediária ($R^2=0,74$), e o C-ativo um valor bastante baixo ($R^2=0,34$).

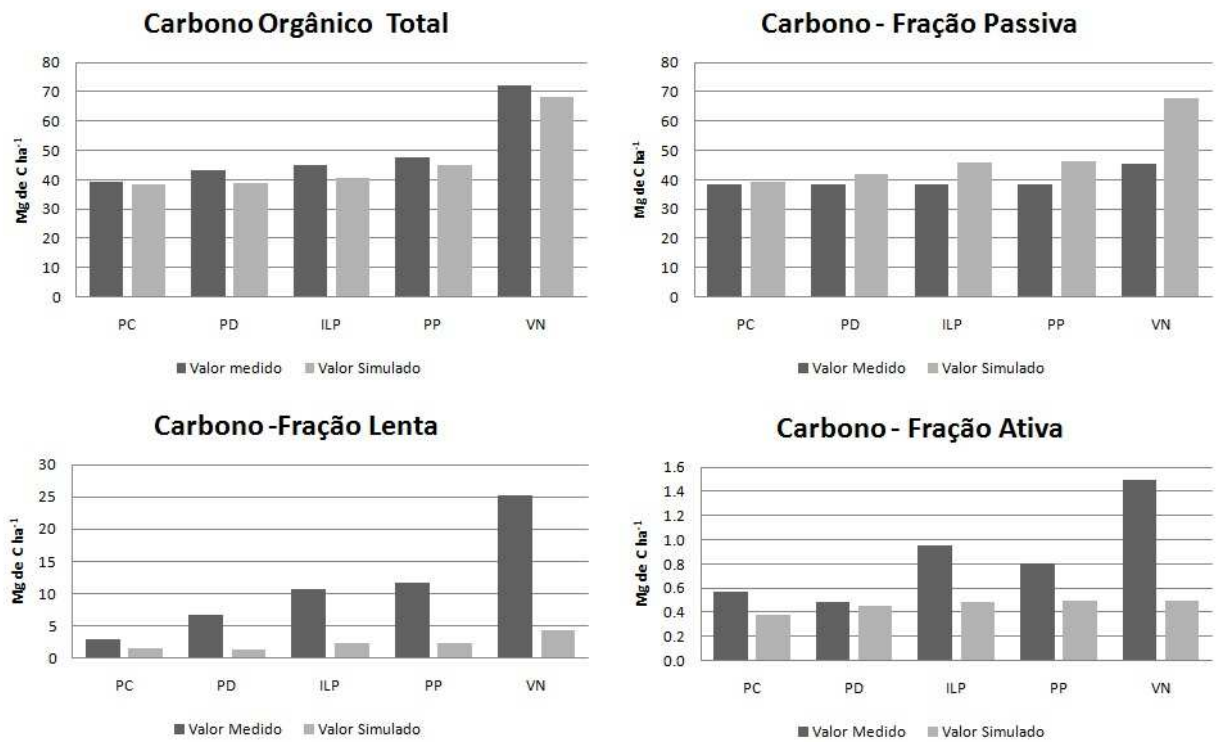


Figura 12. Comparação dos estoques de carbono orgânico total (COT), dos compartimentos de carbono ativo, lento e passivo e medidos e simulados pelo modelo Century nos sistemas de plantio convencional (PC), plantio direto (PD), integração lavoura-pecuária (ILP), pastagem permanente (PP) e mata nativa (VN).

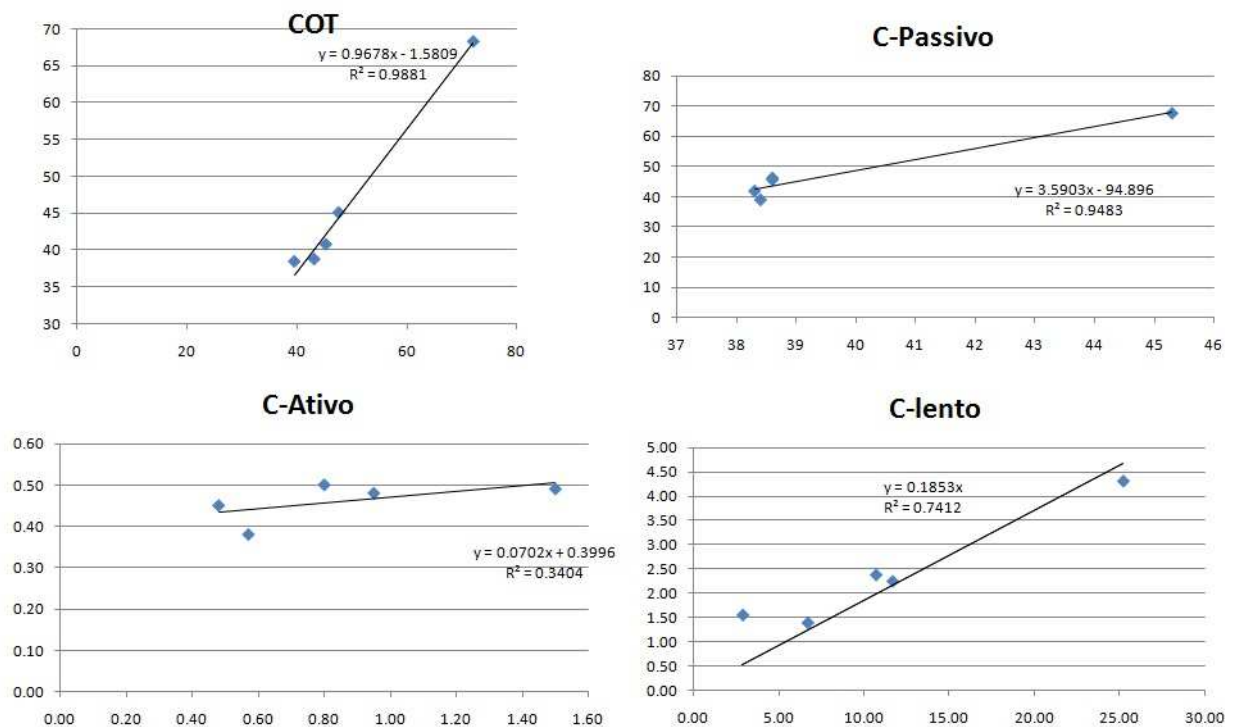


Figura 13. Correlação entre estoques medidos e simulados para carbono orgânico total (COT) e o carbono ligado aos compartimentos ativo, lento e passivo.

A fração ativa representou entre 1,1 e 1,9% do C total simulado pelo CENTURY, tendendo a menores valores nos sistemas SC e SPD (Figura X). A fração ativa simulada pelo CENTURY corresponde à matéria orgânica mais dinâmica do solo, sendo que muitos autores sugerem que a mesma seja representada pela biomassa microbiana. Os valores observados para BMS foram sempre inferiores aos da fração ativa, com valores entre 6 e 49% menores. O reservatório lento representou entre 7 e 23% do carbono total simulado, sendo, também, superestimado em relação à MOP (Figura 13). O reservatório passivo representou a maior parte do C simulado, registrando entre 76 e 92% do total. De forma contrastante, a fração lenta foi inferior aos COM para todos os tratamentos, sendo entre 2 e 20% menor. Observações semelhantes foram reportadas por Leite et al. (2003) para solos brasileiros. Tais resultados sugerem que a fração ativa do CENTURY engloba outras formas de carbono, além da biomassa microbiana. Ácidos orgânicos de baixo peso molecular e polissacarídeos, dentre outros compostos de fácil decomposição, podem compor essa fração.

A fração lenta também foi superestimada pela MOP, principalmente em ambientes com maior aporte de resíduos como o PP e ILP. Provavelmente, formas de carbono com tempo intermediário de ciclagem podem se aderir na superfície dos COM, sem, contudo, criar ligações fortes o bastante para torná-los indisponíveis. Com isso, parte da fração tida como a mais recalcitrante no ambiente estaria reciclando em períodos de tempo intermediários, pertencendo ao reservatório lento do CENTURY. Evidências para tal fato foram relatadas por Roscoe & Buurman (2003) para um Latossolo Vermelho distrófico, muito argiloso de Sete Lagoas, MG. Os autores observaram através de técnicas isotópicas que, após trinta anos de cultivo, 30% na camada de 0 a 7,5cm e 20% na camada de 7,5 a 15 cm do C presente na fração pesada da MOS havia sido substituído por material orgânico recente. Tal observação sugere que a fração pesada, análoga aos COM, apresenta uma porção mais ativa, que tem tempo de reciclagem de poucas décadas, assemelhando-se muito mais à fração lenta como definida no CENTURY.

De modo geral os diferentes compartimentos de carbono no modelos atuais são definidos empiricamente, constituindo reservatórios conceituais (FALLOON; SMITH, 2000; PAUSTIAN, 2001; ARAH; GAUNT, 2001). O Century desde a sua concepção, trás também esse problema. Apesar dos diversos trabalhos

tentando correlacionar diferentes reservatórios medidos com os reservatórios teóricos, na maior parte das vezes o tamanho destes reservatórios é estimado a partir do ajuste aos estoques totais observados. As observações desse trabalho atestam esse mesmo problema, onde só conseguimos uma alta correlação entre o valor medido e simulado para o compartimento c-passivo, o qual está intimamente relacionado ao conteúdo de argila, em nosso caso bastante elevado. Apesar de alguns resultados promissores já obtidos na tentativa de se relacionarem os reservatórios conceituais a frações da MOS separadas por processos físicos (BALESDENT, 1996), existe a necessidade de se repensar a estrutura desses modelos para que seja possível para a pesquisa fugir do dilema entre “modelar o mensurável” ou “medir o modelável”.

5. Conclusões

O modelo Century apresentou uma boa adaptabilidade às condições de um Latossolo Vermelho distroférico, sob diferentes sistemas de manejo, desde que seja feita a adequação dos coeficientes de partição do reservatório de carbono ativo para os reservatórios lento e passivo. Após sua adequada parametrização, o simulador obteve sucesso em estimar o carbono orgânico total do solo. Apesar disso existe a necessidade de modificações em sua estrutura, para que o modelo reflita as condições de proteção física da matéria orgânica do solo, inerentes a mineralogia dos solos tropicais.

Quanto à combinação do fracionamento granulométrico e a determinação da biomassa microbiana, como estratégia para medir os reservatórios teóricos do Century, ficou evidente que não representa uma estratégia satisfatória, pois somente o reservatório C-passivo apresentou correlação com valores medidos.

Para a região do Cerrado, nas condições estudadas, os sistemas de pastagem e integração lavoura-pecuária são os que apresentam maior potencial de recomposição e manutenção dos estoques de carbono do solo.

Referências

- ADDISCOTT, T. M. Simulation modeling and soil behaviour. **Geoderma**, Amsterdam, v. 60, p. 15-40, 1993.
- ADUAN, R.E.; VILELA, M.F.; KLINK, C.A. **Ciclagem de carbono em ecossistemas terrestres – O caso do cerrado brasileiro**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2003. 30p. (Embrapa Cerrados. Documentos, 105). Disponível em : http://bbeletronica.cpac.embrapa.br/2003/doc/doc_105.pdf. Acesso em 01.jun. 2009
- AMUNDSON, R.. The carbon budget in soils. **Annual Review of Earth Planet Science**, Palo Alto, v. 29, p. 535–562, 2001.
- ANDREUX, F. Humus in world soils. In: Piccolo, A., (Ed.). **Humic substances in terrestrial ecosystems**. Amsterdam: Elsevier, 1996. p. 45-100.
- ARAH, J.R.M.; GAUNT, J.L. Questionable assumptions in current soil organic matter transformation models. In: REES, R.M. CAMPBELL, C.D. & WATSON, C.A. (Eds.) **Sustainable Management of Soil Organic Matter**. Wallingford: CAB International, 2001. p. 83-89.
- BALDOCK, J.A.; SKJEMSTAD, J.O. Role of the soil matrix and minerals in protecting natural organic materials against biological attack. **Organic Geochemistry**, Amsterdam, v. 31, p. 697-710, 2000.
- BALESDENT, J. The significance of organic separates to carbon dynamics and its modeling in some cultivated soils. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 47, p. 485-493, 1996.
- 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. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, p. 641-649, 1998.
- BATJES, N.H. Management options for reducing CO₂ concentrations in the atmosphere by increasing carbon sequestration in the soil. **ISRIC Technical Paper 30**, Wageningen: ISRIC, 1999. 114p.
- BATJES, N. H.; SOMBROEK, W. G. Possibilities for carbon sequestration in tropical and subtropical soils. **Global Change Biology**, Oxford, v. 3, p. 161-173, 1997.

BAYER, C.; AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J.; MARTIN-NETO, L.; FERNANDES, S.V. Tillage and cropping system effects on organic matter storage in Acrisol soil in southern Brasil. **Soil Tillage and Research**, Amsterdam, v. 54, p. 101-109, 2000b.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; CERETTA, C.A. Effect of no till cropping systems on soil organic matter in an sandy clay loam Acrisol form southern Brazil monitored by electron spin resonance and nuclear magnetic resonance of ¹³C. **Soil Tillage and Research**, Amsterdam, v. 53, p. 95-104, 2000a.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, p.105-112, 1997a.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Genesis, 1999. p. 9-26.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Nitrogênio total de um solo submetido a diferentes métodos de preparo e sistema de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, p. 235-239, 1997b.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; LOVATO, T. Potencial de acúmulo de matéria orgânica no solo em sistemas conservacionistas de manejo na Região Sul do Brasil. In : SIMPÓSIO ROTAÇÃO SOJA/MILHO NO PLANTIO DIRETO, 2000, Piracicaba, 2000. **Anais...**, PO. Piracicaba: POTAFOS, 2001. 1 CD-ROM.

BODDEY, R. M. et al. Nitrogen cycling in brachiaria pastures: The key to understanding the process of pasture decline. **Agriculture, Ecosystems & Environment**

BODDEY, R. M.; MACEDO, R.; TARRÉ, R. M.; FERREIRA, E.; OLIVEIRA, O. C. de; REZENDE, C. de P.; CANTARUTTI, R. B.; PEREIRA, J. M.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S. Nitrogen cycling in *Brachiaria* pastures: the key to understand the process of pasture decline. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v.103, p.389-403, 2004.

BORTOLON, E. S. O. et al. Simulação da dinâmica do carbono e nitrogênio em um argissolo do rio grande do sul usando modelo century. **Revista Brasileira De Ciência Do Solo**, v. 33, p. 1635-1646, 2009.

BROCH, D. L.; PITOL, C.; BORGES, E. P. **Integração agricultura – Pecuária**: plantio de soja sobre pastagem na integração agropecuária. Maracaju: Fundação MS para Pesquisa e Difusão de Tecnologias Agropecuárias, 1997. 24 p. (Informativo Técnico, 01/97)

CANNELL, M.G.R.; MILNE, R.; HARGEAVES, R.; BROWN, T.A.W.; CRUICKSHANK, M.M.; BRADLEY, R.I.; SPENCER, T.; HOPE, D.; BILLET, M.F.; ADGER, W.N.; SUBAK, S.

National inventories of terrestrial carbon sources and sinks: the UK Experience. **Climatic Change**, Dordrecht, v. 42, p. 505-530, 1999.

CARTER, M. R.; PARTON, W. J.; ROWLAND, I. C.; SCHULTZ, J. E.; STEED, G. R. Simulation of Soil Organic-Carbon and Nitrogen Changes in Cereal and Pasture Systems of Southern Australia. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v. 31, p. 481-491, 1993.

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

CERRI, C. E. P.; PAUSTIAN, K.; BERNOUX, M.; VICTORIA, R. L.; MELILLO, J. M.; CERRI, C. C. Modeling changes in soil organic matter in Amazon forest to pasture conversion with the Century model. **Global Change Biology**, Oxford, v. 10, p. 815-832, 2004.

CHRISTENSEN, B.T. Matching measurable soil organic matter fractions with conceptual pools in simulation models of carbon turnover: revision of model structure. In: POWLSON, D.S. ; SMITH, P.; SMITH, J.V., (Eds.) **Evaluation of soil organic matter models**. Berlin: Springer-Verlag. NATO ASI Series n. 38, 1996. p. 143-159.

CHRISTENSEN, B.T. **Organic matter in soil – structure, function and turnover**. Tjele: DIAS Report, 30- Plant Production, 2000. 95 p.

COLEMAN, K.; JENKINSON, D.S. RothC-26.3: A model for the turnover of carbon in soil. In: POWLSON, D.S. ; SMITH, P.; SMITH, J.V., (Eds.) **Evaluation of soil organic matter models**. Berlin : Springer-Verlag. NATO ASI Series n. 38, 1996. p. 237-246.

CORAZZA, E. J. et al. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação de cerrado. **Revista Brasileira De Ciência Do Solo**, v. 23, p. 425-432, 1999.

DÍAZ-ROSELLO, R. Evolución de la materia orgánica en rotaciones de cultivos con pasturas. In: MORÓN, A.; BAETHGEN, W. (Eds.) **Revista INIA de investigaciones agronomicas**. Montevideo: INIA, 1992. nº 1, Tomo 1, p. 103-110.

DIEKOW, J. **Estoque e qualidade da matéria orgânica do solo em função de sistemas de culturas e adubação nitrogenada no sistema plantio direto**. 2003. 164 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

DIEKOW, J. et al. Carbon and nitrogen stocks in physical fractions of a subtropical Acrisol as influenced by long-term no-till cropping systems and N fertilisation. **Plant and Soil**, v. 268, n. 1-2, p. 319-328, Jan 2005.

DUMANSKI, J.; DES JARDINS, R.L.; TARNOCAI, C.; MONREAL, C.; GREGORICH, E.G.; KIRKWOOD, V.; CAMPBELL, C.A. Possibilities for future carbon sequestration in Canadian agriculture in relation to land use changes. **Climatic Change**, Dordrecht, v. 40, p. 81-103, 1998.

ELLERT, B. H.; JANZEN, H. H.; ENTZ, T. Assessment of a method to measure temporal change in soil carbon storage. **Soil Science Society of America Journal**, v. 66, n. 5, p. 1687-1695, Sep-Oct 2002.

ELLIOTT, E. T.; PAUSTIAN, K.; FREY, S. D. Modeling the measurable or measuring the modelable: A hierarchical approach to isolating meaningful soil organic matter fractions. In: SMITH, J.U. (ED.) **Evaluation of Soil Organic Matter Models Using Existing Long-term Datasets**.: Berlin: Springer-Verlag, 1996. p. 161-179.

EVE, M.D.; PAUSTIAN, K.; FOLLETT, R.; ELLIOTT, E.T. A national inventory of changes in soil carbon from National Resources Inventory data. In: LAL, R.; KIMBLE, J.M.; FOLLETT, R.F.; STEWART, B.A. (Eds.), **Methods of assessment of soil carbon**. Boca Raton: CRC Press, 2000. p. 593-612.

FABRÍCIO, A. C.; SALTON, J. C. **Alterações no teor de matéria orgânica do solo em diferentes sistemas de produção**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 1999. 4 p. (Comunicado Técnico, 7)

FALLOON, P.; SMITH, P. Modeling refractory soil organic matter. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 30, p. 388-398, 2000.

FALLOON, P.; SMITH, P. Simulating SOC changes in long-term experiments with RothC and CENTURY: model evaluation for a regional scale application. **Soil Use and Management**, v. 18, p. 101-111, 2002.

FALLOON, P.D.; SMITH, J.U.; SZABO, J.; COLEMAN, K.; MARSHALL, S. Linking GIS and dynamic SOM models: estimating the regional C sequestration potential of agricultural management options. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 133, p. 341-342, 1999.

FALLOON, P.D.; SMITH, P.; SMITH, J.U.; SZABO, J.; COLEMAN, K.; MARSHALL, S. Regional estimates of carbon sequestration potential: linking the Rothamsted carbon turnover model to GIS databases. **Biology and Fertility of Soils**, v. 27, p. 236-241, 1998.

FALLOON, P.D.; SMITH, P.; SZABO, J.; PASZTOR, L.; SMITH, J.U.; COLEMAN, K.; MARSHALL, S. Soil organic matter sustainability and agricultural management – Predictions at regional level. REES, R.M.; BALL, B.C.; CAMPBELL, C.D.; WATSON, C.A., (Eds.). **Sustainable management of soil organic matter**. New York: CABI Publishing, 2001. p. 54-59.

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

FOLEY, J. A.; RAMANKUTTY, N. A primer on the terrestrial Carbon Cycle: What we don't know but should. In: FIELD, C. B.; PAUPACH, M. R. (ed.). **The Global Carbon Cycle. Integrating Humans, Climate and the Natural World**. Washington: Island Press, 2004. p. 279-294.

FREITAS, P.L.; BLANCANEUX, P.; GAVINELLI, E.; LARRE-LARROUY, M.C.; FELLER, C. Nível e natureza do estoque orgânico de latossolos sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, p. 157-170, 2000.

FUJISAKA, S. et al. The effects of forest conversion on annual crops and pastures: Estimates of carbon emissions and plant species loss in a Brazilian Amazon colony. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 69, p. 17-26, 1998.

GALDOS, M. V. et al. Simulation of soil carbon dynamics under sugarcane with the century model. **Soil Sci Soc Am J**, v. 73, n. 3, p. 802-811, 2009.

GAUNT, J. L.; SOHI, S. P.; YANG, H.; MAHIEU, N.; ARAH, J. R. M. A procedure for isolating soil organic matter fractions suitable for modelling. In: REES, R.M.; BALL, B.C.; CAMPBELL, C.D.; WATSON, C.A., (Eds.). **Sustainable management of soil organic matter**. New York: CABI Publishing, 2001. p. 90-96.

GILMANOV, T. G.; PARTON, W. J.; OJIMA, D. S. Testing the 'CENTURY' ecosystem level model on data sets from eight grassland sites in the former USSR representing a wide climatic/soil gradient. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v. 96, p. 191-210, 1997.

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

GREGORICH, E.G.; ELLERT, B.H. **Light fraction and macroorganic matter in mineral soils**. In: **Soil sampling and methods of analysis**. Boca Raton: Lewis Publ., 1993. p. 379-408.

HERNANI, L. C. et al. **Adubos verdes de outono/inverno no Mato Grosso do Sul.**,
Dourados: Embrapa-CPAO , 1995. 93p.

HOUGHTON, J.T.; DING, Y.; GRIGGS, D.J.; NOGUER, M.; van der LINDEN, P.J.; DAI, X.;
MASKELL, K.; JOHNSON, C.A. (eds.). **Climate Change 2001: The Scientific Basis.
Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the
Intergovernmental Panel on Climate Change.** Cambridge-IPCC: Cambridge University
Press, 2001. 881p.

IPCC. Summary for policymakers. In: PARRY, M.L.; CANZIANI, O.F.; PALUTIKOF, J.P.;
LINDEN, P.J. van der; HANSON, C.E.(eds.). **Climate Change 2007: Impacts, Adaptation
and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report
of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** Cambridge-IPCC: Cambridge
University Press, 2007. p. 7-22.

IPCC. Summary for policymakers. In: PARRY, M.L.; CANZIANI, O.F.; PALUTIKOF, J.P.;
LINDEN, P.J. van der; HANSON, C.E.(eds.). **Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and
Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the
Intergovernmental Panel on Climate Change.** Cambridge-IPCC: Cambridge University Press,
007. p. 7-22. UNFCCC. Kyoto protocol. Disponível em: [_http://unfccc.int/kyoto_protocol/items/2830.php_](http://unfccc.int/kyoto_protocol/items/2830.php)
Acesso em: 05/02/2008.

JANZEN, H.H. Carbon cycling in earth systems—a soil science perspective. **Agriculture,
Ecosystems and Environmet**, Amsterdam, v. 104, p. 399-417, 2004.

JANZEN, H.H.; CAMPBELL, C.A.; IZAURRALDE, R.C.; ELLERT, B.H.; JUMA, N.; MCGILL,
W.B.; ZINTNER, R.P. Management effects on soil C storage on the Canadian prairies. **Soil
and Tillage Research**, Amsterdam, v. 47, p. 181-195, 1998.

JENKINSON, D. S. The turnover of organic carbon and nitrogen. **Philosophical
Transactions of the Royal Society**, v. 329, p. 361-368, 1990.

JOBÁGGY, E. G.; JACKSON, R. B. The vertical distribution of soil organic carbon and its
relation to climate and vegetation. **Ecological Applications**, Washington, v. 10, p. 423-436,
2000.

LAL, R. Soil carbon dynamic in cropland and rangeland. **Environmental Pollution**, London,
v. 116, p. 353-362, 2002.

LAL, R. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. **Geoderma**, Amsterdam, v. 12,
p. 31-22, 2004.

LAL, R.; KIMBLE, J.M.; FOLLETT, R.F.; COLE, C.V. **The potential of US croplands to sequester carbon and mitigate the greenhouse effect**. Ann Arbor: Sleeping Bear Press, 1998. 128p.

LEAL, M. A. A.; DE-POLLI, H. Aplicação de modelos ao estudo da matéria orgânica. In : SANTOS, G. A. ; CAMARGO, F. A. O. (Eds). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999. p. 245-263.

LEITE, L. F. C.; MENDONÇA, E. D. S. Modelo century de dinâmica da matéria orgânica do solo: Equações e pressupostos. **Ciência Rural**, v. 33, p. 679-686, 2003.

LEITE, L. F. C.; MENDONÇA, E. D.; MACHADO, P.; FERNANDES, E. I.; NEVES, H. C. L. Simulating trends in soil organic carbon of an Acrisol under no-tillage and disc-plow systems using the Century model. **Geoderma**, Amsterdam, v. 120, p. 283-295, 2004a.

LEITE, L. F. C.; MENDONÇA, E. S.; MACHADO, P. Simulation of organic matter dynamics in an argisol under mineral and organic fertilization with the century model. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 347-358, 2004b.

MACEDO, M. C. M. et al. Preliminary results of agro pastoral systems in the cerrados of Mato Grosso do Sul – Brazil. In.: KANNO, T.; MACEDO, M. C. M. (Eds.) **International joint workshop on agro pastoral system in South America**. Tsukuba: JIRCAS, 2001. p. 35-42. (Working Report, 19)

MACHADO, L. A. Z.; FABRICIO, A. C.; SALTON, J. C. **Desempenho de novilhos em pastagem de braquiária decumbens permanente e após soja**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 1999. 5 p. (Comunicado Técnico, 8)

MACHADO, P. L. O. A. Carbono do solo e a mitigação da mudança climática. **Química Nova**, São Paulo, v. 28, p. 329-334, 2005.

MAGID, J.; GORISSEN, A.; GILLER, K. E. In search of the elusive active fraction of soil organic matter - three size-density fractionation methods for tracing the fate of homogeneously c-14-labelled plant materials. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 28, p. 89-99, 1995.

MARIA, I.C.; CASTRO, O.M. Fósforo, potássio e matéria orgânica em um latossolo roxo, sob sistemas de manejo com milho e soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 17, p. 465-470, 1993a.

MARIA, I.C.; CASTRO, O.M. Potássio e matéria orgânica em um latossolo roxo, sob sistemas de manejo com milho e sorgo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 17, p. 471-477, 1993b.

- MARTEL, Y. A.; PAUL, E. A. Effects of cultivation on the organic matter of grassland soils as determined by fractionation and radiocarbon dating. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 54, p. 419-426, 1974.
- MERCANTE, F.M.; FABRICIO, A.C.; GUIMARÃES, J.B.R. **Biomassa microbiana como parâmetro indicador da qualidade do solo sob diferentes sistemas de manejo**. Dourados: Embrapa-CPAO, 2003. 25p. (Comunicado Técnico, 27).
- METHERELL, A. K. et al. **Century soil organic matter: Agroecosystem version 4.0**. Fort Collins: Colorado State University, 1993. p. (Gpsr technical report).
- MOTAVALLI, P. P. et al. Comparison of laboratory and modeling simulation methods for estimating soil carbon pools in tropical forest soils. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 26, n. 8, p. 935-944, Aug 1994.
- PARFITT, R.L.; THENG, J.S.; 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.; OJIMA, D. S.; SCHIMEL, D. S. Environmental-Change in Grasslands - Assessment Using Models. **Climatic Change**, Dordrecht, v. 28, p. 111-141, 1994.
- PARTON, W. J.; RASMUSSEN, P. E. Long-Term Effects of Crop Management in Wheat-Fallow .2. Century Model Simulations. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 58, p. 530-536, 1994.
- PARTON, W. J.; SANFORD, R. L.; SANCHEZ, P. A.; STEWART, J. W. B. Modelling soil organic matter dynamics in tropical soils. In: UEHARA, G. (Ed.) **Dynamics of Soil Organic Matter in Tropical Ecosystems** Honolulu: University of Hawaii Press, 1989. p. 59-85.
- PARTON, W. J.; SCHIMEL, D. S.; OJIMA, D. S.; COLE, C. V. A general model for soil organic matter dynamics: sensitivity to litter chemistry, texture and management. In: BRYNAT, R. B.; ARNOLD, R. W. (Eds.) **Quantitative modeling of soil forming processes**. Madison: SSSA: Madison. 1994. p. 147-167.
- PARTON, W. J.; SCURLOCK, J. M. O.; OJIMA, D. S.; GILMANOV, T. G.; SCHOLLES, R. J.; SCHIMEL, D. S.; KIRCHNER, T.; MENAUT, J. C.; SEASTEDT, T.; MOYA, E. G.; KAMNLRUT, A.; KINYAMARIO, J. I. Observations and Modeling of Biomass and Soil Organic-Matter Dynamics for the Grassland Biome Worldwide. **Global Biogeochemical Cycles**, Washington, v. 7, p. 785-809, 1993.
- PARTON, W.J.; SCHIMEL, D.S.; COLE, C.V.; OJIMA, D. Analysis of factors controlling soil organic levels of grasslands in the Great Plains. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 58, p. 530-536, 1987.

PAUSTIAN, K. Modelling soil organic matter dynamics – Global challenges. In: REES, R.M.; BALL, B.C.; CAMPBELL, C.D.; WATSON, C.A., (Eds.). **Sustainable management of soil organic matter**. New York: CABI Publishing, 2001. p. 43-53.

PAUSTIAN, K.; PARTON, W. J.; PERSSON, J. Modeling Soil Organic-Matter in Organic-Amended and Nitrogen-Fertilized Long-Term Plots. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 56, p. 476-488, 1992.

PRENTICE, I.C.; FARQUHAR, G.D.; FASHAM, M.J.R.; GOULDEN, M.L., HEIMANN, M.; JAMARILLO, V.J.; KHESHGI, H.S.; Le QUERE, C.; SCHOLLES, R.J.; WALLACE, D.W.R. The Carbon Cycle and Atmospheric Carbon Dioxide. In: HOUGHTON, J.T.; DING, Y.; GRIGGS, D.J.; NOGUER, M.; van der LINDEN, P.J.; DAI, X.; MASKELL, K.; JOHNSON, C.A. (eds.). **Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge-IPCC: Cambridge University Press, 2001. pp. 184-237.

RESCK, D.V.S.; VASCONCELLOS, C.A.; VILELA, L.; MACEDO, M.C.M. Impact of conversion of Brazilian Cerrados to cropland and pasture land on soil carbon pool and dynamics. In: LAL, R. KIMBLE, J.M.; STEWART, B.A., eds. **Global climate change and tropical ecosystems**. Boca Raton: CRC Press, 1999. p. 169-196.

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S.B.; CORRÊA, G.F. **Pedologia: base para distinção de ambientes**. Viçosa: NEPUT, 1997. 367p.

ROSCOE, R. Rediscutindo o papel dos ecossistemas no sequestro de carbono. **Cadernos de Ciência e Tecnologia**, Brasília, v. 20, p. 209-230, 2003.

ROSCOE, R.; BUURMAN, P. Tillage effects on soil organic matter in density fractions of a Cerrado Oxisol. **Soil Tillage and Research**, Amsterdam, v. 34, p. 304-315, 2003.

ROSCOE, R.; BUURMAN, P.; VELTHORST, E.J. Disruption of soil aggregates by varied amounts of ultrasonic energy in fractionation of organic matter of a clay Latosol: carbon, nitrogen, and $\delta^{13}\text{C}$ distribution in particle-size fractions. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 51, p. 445-454, 2000.

ROSCOE, R.; BUURMAN, P.; VELTHORST, E.J.; VASCONCELLOS, C.A. Soil organic matter dynamics in density and particle size fractions as revealed by the $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ isotopic ratio in a Cerrado's Oxisol. **Geoderma**, Amsterdam, v. 104, p. 185-202, 2001.

ROSCOE, R.; MACHADO, P. **Fracionamento físico do solo em estudos da matéria orgânica**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. 88 p.

ROSCOE, R.; VASCONCELLOS, C.A.; FURTINI-NETO, A.E.; GUEDES, G.A.A.; FERNANDES, L.A. Urease activity and its relation to soil organic matter, microbial biomass nitrogen and urea-nitrogen assimilation by maize in a Brazilian Oxisol under no-tillage and tillage systems. **Biology and Fertility of Soils**, Oxford, v. 32, p. 52-59, 2000.

RUDDIMAN, W. **Plows, plagues and petroleum**. How humans took control of the climate. Princeton: University Press, 2005. 202p.

SALTON, J. C. et al. Avaliação de atributos físicos e químicos do solo e rendimento de grãos na rotação lavoura-pastagem no Sistema Plantio Direto. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO DE LA CIENCIA DEL SUELO, 14., 1999, Temuco. **Resúmenes...** Temuco: Universidad de La Frontera: Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo, 1999. 1 CD ROM.

SALTON, J. C. et al. Impacto ambiental de sistemas intensivos de produção de grãos e de carne bovina na região oeste do Brasil. In.: ROSELLO, R. D. (Coord.) **Siembra directa en el cono sur**. Montevideo: Procisur, 2001. p 43-53.

SANFORD, R. L.; PARTON, W. J.; OJIMA, D. S.; LODGE, D. J. Hurricane Effects on Soil Organic-Matter Dynamics and Forest Production in the Luquillo Experimental Forest, Puerto-Rico - Results of Simulation Modeling. **Biotropica**, Washington, v. 23, n. 4, p. 364-372, 1991.

SCHIMEL, D. S.; BRASWELL, B. H.; HOLLAND, E. A.; MCKEOWN, R.; OJIMA, D. S.; PAINTER, T. H.; PARTON, W. J.; TOWNSEND, A. R. Climatic, Edaphic, and Biotic Controls over Storage and Turnover of Carbon in Soils. **Global Biogeochemical Cycles**, Washington, v. 8, p. 279-293, 1994.

SCHIMEL, D. Terrestrial ecosystems and the carbon cycle. **Global Change Biology**, Oxford, v. 1, p. 77-91, 1995.

SHUNKE, R. M. Alternativas de manejo de pastagem para melhor aproveitamento do nitrogênio do solo. In.: MERCANTE, F. M. (Ed.) **Workshop nitrogênio na sustentabilidade de sistemas intensivos de produção agropecuária**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2000. p.125-140. (Documentos, 26)

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

SILVA, R. F. D. et al. Atributos físicos e teor de matéria orgânica na camada superficial de um argissolo vermelho cultivado com mandioca sob diferentes manejos. **Revista Brasileira De Ciência Do Solo**, v. 32, p. 2435-2441, 2008.

SILVEIRA, A. M.; VICTORIA, R. L.; BALLESTER, M. V.; DE CAMARGO, P. B.; MARTINELLI, L. A.; PICCOLO, M. D. Simulation of the effects of land use changes in soil carbon dynamics in the Piracicaba river basin, Sao Paulo State, Brazil. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, Brasília, v. 35, p. 389-399, 2000.

SISTI, C. P. J.; SANTOS, H. P.; KOCHANN, R.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 76, p. 39-58, 2004.

SMITH, J. U.; SMITH, P.; ADDISCOTT, T. M. Quantitative methods to evaluate and compare soil organic matter models. In: POWLSON, D. S. *et al* (Ed.). *Evaluation of soilorganic matter models using existing long-term datasets*. Berlin: Springer-Verlag, 1996. p. 181-200.

SMITH, P. Engineered Biological Sinks on Land. In: FIELD, C. B.; PAUPACH, M. R. (ed.). **The Carbon Cycle. Integrating Humans, Climate, and the Natural World**. Washington: Island Press, 2004. p. 479-492

SMITH, P.; POWLSON, D.S.; GLENDINING, M.J.; SMITH, J.U. Opportunities and limitations for C sequestration in European agricultural soils through changes in management. In: LAL, R., KIMBLE, J.M., FOLLETT, R.M.; STEWART, B.A. (Eds.) **Management of carbon sequestration in soils**. Boca Raton: CRC-Press, 1998a. p. 143-152.

SMITH, P.; POWLSON, D.S.; GLENDINING, M.J.; SMITH, J.U. Preliminary estimates of the potential for carbon mitigation in European soils through no-till farming. **Global Change Biology**, Oxford, v. 4, p. 679-685, 1997b.

SMITH, P.; POWLSON, D.S.; SMITH, J.U.; FALLOON, P.; COLEMAN, K. Meeting the UK's climate change commitments: options for carbon mitigation on agricultural land. **Soil Use and Management**, oxford, v. 16, p. 1-11, 2000a

SMITH, P.; POWLSON, D.S.; SMITH, J.U.; FALLOON, P.; COLEMAN, K. Meeting Europe's climate commitments: quantitative estimates of the potential for carbon mitigation by agriculture. **Global Change Biology**, Oxford, v. 6, p. 525-539, 2000b

Soil Processes under Pastures in Intertropical Areas, v. 103, n. 2, p. 389-403, 2004/7 2004.

SOMBROEK, W. G.; NACHTERGAELE, F. O.; HEBEL, A. Amounts, dynamics and sequestring of carbon in tropical and subtropical soils. **Ambio**, Estocolmo, v. 22, p. 417-426, 1993.

STALLARD, R.F. Terrestrial sedimentation and the carbon cycle: Coupling weathering and erosion to carbon burial. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 12, p. 231-257, 1998.

STEVENSON, F.J.; COLE, M.A. **Cycles of soils: carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients**. New York: Wiley, 1999. 427p.

SUBAK, S. Agricultural soil carbon accumulation in North America: considerations for climate policy. **Global Environmental Change**, Amsterdam, v. 10, p. 185-195, 2000.

TOGNON, A.A.; DEMATTÊ, J.A.M.; MAZZA, J.A. Alterações nas propriedades químicas de Latossolos Roxos em sistemas de manejo intensivos e de longa duração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, p. 271-278, 1997.

TORNELO, V.M.M. **Principais aspectos do ciclo biogeoquímico do elemento carbono e seu contexto na atualidade**. 2007. 133p. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aplicada) - Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Piracicaba, SP.

TORNQUIST, C. G.; MIELNICZUK, J.; CERRI, C. E. P. Modeling soil organic carbon dynamics in oxisols of ibirubá (brazil) with the century model. **Soil and Tillage Research**, v. 105, n. 1, p. 33-43, 2009.

VAN VEEN, J.; PAUL, E. A. Organic c dynamics in grassland soil:1. Background information and computer simulation. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 62, p. 185-201, 1981.

WATSON, R. T.; NOBLE.R.; BOLIN, B.; RAVINDRANATH, N. H.; VERARDO, D. J.; DOKKEN, D. J. **Land use, land-use change, and forestry: a special report of IPCC**. Cambridge-IPCC: Cambridge University Press, 2000. 397 p.

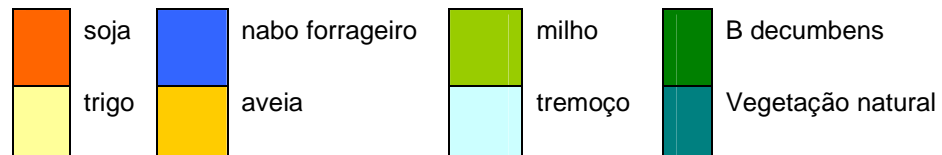
WOOMER, P. L. The impact of cultivation on carbon fluxes in woody savannas of Southern Africa. **Water, Air and Soil Pollution**, Orebo, v. 70, p. 403-421, 1993.

Apêndices

Apêndice A – Esquema de condução área experimental – Embrapa Agropecuária Oeste

Dourados

	95	95/96	96	96/97	97	97/98	98	98/99	99	99/00	00	00/01	01	01/02	02	02/03	03	03/04	04	04/05	05	
L-PC	milho	soja	aveia	soja	aveia	soja	aveia	soja	aveia	soja	aveia	soja	aveia	soja	aveia	soja	aveia	soja	aveia	soja	aveia	
L-PD	milho	soja	nabo forrageiro	milho	aveia	soja	trigo	soja	nabo forrageiro	milho	aveia	soja	trigo	soja	nabo forrageiro	milho	aveia	soja	trigo	soja	nabo forrageiro	
ILP	milho	soja	aveia	soja	aveia	B decumbens	B decumbens	B decumbens	B decumbens	soja	aveia	soja	aveia	B decumbens	B decumbens	B decumbens	B decumbens	soja	aveia	soja	aveia	
PP	B decumbens	B decumbens	B decumbens	B decumbens	B decumbens	B decumbens	B decumbens	B decumbens	B decumbens	B decumbens	B decumbens	B decumbens	B decumbens	B decumbens	B decumbens	B decumbens	B decumbens	B decumbens	B decumbens	B decumbens	B decumbens	B decumbens
VN	Vegetação natural	Vegetação natural	Vegetação natural	Vegetação natural	Vegetação natural	Vegetação natural	Vegetação natural	Vegetação natural	Vegetação natural	Vegetação natural	Vegetação natural	Vegetação natural	Vegetação natural	Vegetação natural	Vegetação natural	Vegetação natural	Vegetação natural	Vegetação natural	Vegetação natural	Vegetação natural	Vegetação natural	



Apêndice B – Arquivo de configuração do modelo Century para a simulação de equilíbrio da vegetação nativa

DOU	SIMULAÇÃO	-22.23	'SITLAT'	0	'CLITTR(1,2)'
***	Climate parameters	-54.82	'SITLNG'	36	'CLITTR(2,1)'
15.63	'PRECIP(1)'	0.09	'SAND'	0	'CLITTR(2,2)'
12.54	'PRECIP(2)'	0.17	'SILT'	120	'RCELIT(1,1)'
14.1	'PRECIP(3)'	0.74	'CLAY'	0	'RCELIT(1,2)'
11.74	'PRECIP(4)'	1.17	'BULKD'	0	'RCELIT(1,3)'
11.84	'PRECIP(5)'	5.00000	'NLAYER'	120	'RCELIT(2,1)'
7.46	'PRECIP(6)'	2	'NLAYPG'	0	'RCELIT(2,2)'
3.79	'PRECIP(7)'	1	'DRAIN'	0	'RCELIT(2,3)'
4.73	'PRECIP(8)'	0.00000	'BASEF'	0	'AGLCIS(1)'
10.36	'PRECIP(9)'	0.00000	'STORMF'	0	'AGLCIS(2)'
14.06	'PRECIP(10)'	1.00000	'SWFLAG'	0	'AGLIVE(1)'
15.44	'PRECIP(11)'	0.342	'AWILT(1)'	0	'AGLIVE(2)'
17.77	'PRECIP(12)'	0.354	'AWILT(2)'	0	'AGLIVE(3)'
7.1888	'PRCSTD(1)'	0.348	'AWILT(3)'	0	'BGLCIS(1)'
6.5973	'PRCSTD(2)'	0.345	'AWILT(4)'	0	'BGLCIS(2)'
9.4832	'PRCSTD(3)'	0.350	'AWILT(5)'	0	'BGLIVE(1)'
6.5295	'PRCSTD(4)'	0.350	'AWILT(6)'	0	'BGLIVE(2)'
8.9195	'PRCSTD(5)'	0.350	'AWILT(7)'	0	'BGLIVE(3)'
6.8216	'PRCSTD(6)'	0.350	'AWILT(8)'	0	'STDCIS(1)'
3.1540	'PRCSTD(7)'	0.350	'AWILT(9)'	0	'STDCIS(2)'
5.8045	'PRCSTD(8)'	0.350	'AWILT(10)'	0	'STDEDE(1)'
7.358	'PRCSTD(9)'	0.402	'AFIEL(1)'	0	'STDEDE(2)'
7.1732	'PRCSTD(10)'	0.414	'AFIEL(2)'	0	'STDEDE(3)'
7.2263	'PRCSTD(11)'	0.407	'AFIEL(3)'	***	Forest organic matter initial parameters
7.5955	'PRCSTD(12)'	0.414	'AFIEL(4)'	50	'RLVCIS(1)'
-0.0096	'PRCSKW(1)'	0.420	'AFIEL(5)'	0	'RLVCIS(2)'
0.6343	'PRCSKW(2)'	0.420	'AFIEL(6)'	10	'RLEAVE(1)'
1.4385	'PRCSKW(3)'	0.420	'AFIEL(7)'	0	'RLEAVE(2)'
0.4380	'PRCSKW(4)'	0.420	'AFIEL(8)'	0	'RLEAVE(3)'
1.1485	'PRCSKW(5)'	0.420	'AFIEL(9)'	5	'FBRCIS(1)'
1.8424	'PRCSKW(6)'	0.420	'AFIEL(10)'	0	'FBRCIS(2)'
0.749	'PRCSKW(7)'	5.4	'PH'	3	'FBRCHE(1)'
1.9308	'PRCSKW(8)'	0.9	'PSLSRB'	0	'FBRCHE(2)'
0.7128	'PRCSKW(9)'	15	'SORPMX'	0	'FBRCHE(3)'
0.2958	'PRCSKW(10)'	***	External nutrient input parameters	2.5	'RLWCIS(1)'
0.6225	'PRCSKW(11)'	0.73	'EPNFA(1)'	0	'RLWCIS(2)'
0.3413	'PRCSKW(12)'	0	'EPNFA(2)'	1	'RLWODE(1)'
20.99	'TMN2M(1)'	0.26	'EPNFS(1)'	0	'RLWODE(2)'
20.57	'TMN2M(2)'	0	'EPNFS(2)'	0	'RLWODE(3)'
19.86	'TMN2M(3)'	0	'SATMOS(1)'	15	'FRTCIS(1)'
18.11	'TMN2M(4)'	0	'SATMOS(2)'	0	'FRTCIS(2)'
15.15	'TMN2M(5)'	0	'SIRRI'	5	'FROOTE(1)'
12.83	'TMN2M(6)'	***	Organic matter initial values	0	'FROOTE(2)'
12.06	'TMN2M(7)'	27	'SOM1CI(1,1)'	0	'FROOTE(3)'
13.70	'TMN2M(8)'	0	'SOM1CI(1,2)'	5	'CRTGIS(1)'
15.65	'TMN2M(9)'	194	'SOM1CI(2,1)'	0	'CRTGIS(2)'
18.14	'TMN2M(10)'	0	'SOM1CI(2,2)'	3	'CROOTE(1)'
19.36	'TMN2M(11)'	4145	'SOM2CI(1)'	0	'CROOTE(2)'
20.43	'TMN2M(12)'	0	'SOM2CI(2)'	0	'CROOTE(3)'
29.94	'TMX2M(1)'	2001	'SOM3CI(1)'	0	'WD1CIS(1)'
29.51	'TMX2M(2)'	0	'SOM3CI(2)'	0	'WD1CIS(2)'
30.98	'TMX2M(3)'	20	'RCES1(1,1)'	0	'WD2CIS(1)'
29.29	'TMX2M(4)'	0	'RCES1(1,2)'	0	'WD2CIS(2)'
26.03	'TMX2M(5)'	0	'RCES1(1,3)'	0	'WD3CIS(1)'
23.74	'TMX2M(6)'	10	'RCES1(2,1)'	0	'WD3CIS(2)'
25.55	'TMX2M(7)'	0	'RCES1(2,2)'	0.35	'W1LIG'
27.70	'TMX2M(8)'	0	'RCES1(2,3)'	0.35	'W2LIG'
28.36	'TMX2M(9)'	19	'RCES2(1)'	0.35	'W3LIG'
30.36	'TMX2M(10)'	0	'RCES2(2)'	***	Mineral initial parameters
30.63	'TMX2M(11)'	0	'RCES2(3)'	0	'MINERL(1,1)'
31.45	'TMX2M(12)'	10	'RCES3(1)'	0	'MINERL(2,1)'
***	Site and control parameters	0	'RCES3(2)'	0	'MINERL(3,1)'
0	'IVAUTO'	0	'RCES3(3)'	0	'MINERL(4,1)'
1	'NELEM'	119	'CLITTR(1,1)'	0	

0	'MINERL(5,1)'	0	'MINERL(1,3)'	0	'OCCLUD'
0	'MINERL(6,1)'	0	'MINERL(2,3)'	***	Water initial parameters
0	'MINERL(7,1)'	0	'MINERL(3,3)'	0	'RWCF(1)'
0	'MINERL(8,1)'	0	'MINERL(4,3)'	0	'RWCF(2)'
0	'MINERL(9,1)'	0	'MINERL(5,3)'	0	'RWCF(3)'
0	'MINERL(10,1)'	0	'MINERL(6,3)'	0	'RWCF(4)'
0	'MINERL(1,2)'	0	'MINERL(7,3)'	0	'RWCF(5)'
0	'MINERL(2,2)'	0	'MINERL(8,3)'	0	'RWCF(6)'
0	'MINERL(3,2)'	0	'MINERL(9,3)'	0	'RWCF(7)'
0	'MINERL(4,2)'	0	'MINERL(10,3)'	0	'RWCF(8)'
0	'MINERL(5,2)'	0	'PARENT(1)'	0	'RWCF(9)'
0	'MINERL(6,2)'	0	'PARENT(2)'	0	'RWCF(10)'
0	'MINERL(7,2)'	0	'PARENT(3)'	0	'SNLQ'
0	'MINERL(8,2)'	0	'SECNDY(1)'	0	'SNOW'
0	'MINERL(9,2)'	0	'SECNDY(2)'		
0	'MINERL(10,2)'	0	'SECNDY(3)'		

Apêndice C - Arquivo de configuração de eventos do modelo Century para a simulação de equilíbrio da vegetação nativa

1	Starting year	42	1 TFST 12 TLST
6000	Last year	43	1 TFST 12 TLST
DOURADOS.100	Site file name	44	1 TFST 12 TLST
0	Labeling type	45	1 TFST 12 TLST
-1	Labeling year	46	1 TFST 12 TLST
-1.00	Microcosm	47	1 TFST 12 TLST
-1	CO2 Systems	48	1 TFST 12 TLST
2	Initial system	49	1 TFST 12 TLST
	Initial crop	50	1 TFST 12 TLST
PRT1	Initial tree	51	1 TFST 12 TLST
		52	1 TFST 12 TLST
		53	1 TFST 12 TLST
Year Month Option		54	1 TFST 12 TLST
1	Block # FLORESTA INICIAL	55	1 TFST 12 TLST
6000	Last year	56	1 TFST 12 TLST
100	Repeats # years	57	1 TFST 12 TLST
1	Output starting year	58	1 TFST 12 TLST
1	Output month	59	1 TFST 12 TLST
10.000	Output interval	60	1 TFST 12 TLST
S	Weather choice	61	1 TFST 12 TLST
1	1 TREE PRT1	62	1 TFST 12 TLST
1	1 TFST 12 TLST	63	1 TFST 12 TLST
2	1 TFST 12 TLST	64	1 TFST 12 TLST
3	1 TFST 12 TLST	65	1 TFST 12 TLST
4	1 TFST 12 TLST	66	1 TFST 12 TLST
5	1 TFST 12 TLST	67	1 TFST 12 TLST
6	1 TFST 12 TLST	68	1 TFST 12 TLST
7	1 TFST 12 TLST	69	1 TFST 12 TLST
8	1 TFST 12 TLST	70	1 TFST 12 TLST
9	1 TFST 12 TLST	71	1 TFST 12 TLST
10	1 TFST 12 TLST	72	1 TFST 12 TLST
11	1 TFST 12 TLST	73	1 TFST 12 TLST
12	1 TFST 12 TLST	74	1 TFST 12 TLST
13	1 TFST 12 TLST	75	1 TFST 12 TLST
14	1 TFST 12 TLST	76	1 TFST 12 TLST
15	1 TFST 12 TLST	77	1 TFST 12 TLST
16	1 TFST 12 TLST	78	1 TFST 12 TLST
17	1 TFST 12 TLST	79	1 TFST 12 TLST
18	1 TFST 12 TLST	80	1 TFST 12 TLST
19	1 TFST 12 TLST	81	1 TFST 12 TLST
20	1 TFST 12 TLST	82	1 TFST 12 TLST
21	1 TFST 12 TLST	83	1 TFST 12 TLST
22	1 TFST 12 TLST	84	1 TFST 12 TLST
23	1 TFST 12 TLST	85	1 TFST 12 TLST
24	1 TFST 12 TLST	86	1 TFST 12 TLST
25	1 TFST 12 TLST	87	1 TFST 12 TLST
26	1 TFST 12 TLST	88	1 TFST 12 TLST
27	1 TFST 12 TLST	89	1 TFST 12 TLST
28	1 TFST 12 TLST	90	1 TFST 12 TLST
29	1 TFST 12 TLST	91	1 TFST 12 TLST
30	1 TFST 12 TLST	92	1 TFST 12 TLST
31	1 TFST 12 TLST	93	1 TFST 12 TLST
32	1 TFST 12 TLST	94	1 TFST 12 TLST
33	1 TFST 12 TLST	95	1 TFST 12 TLST
34	1 TFST 12 TLST	96	1 TFST 12 TLST
35	1 TFST 12 TLST	97	1 TFST 12 TLST
36	1 TFST 12 TLST	98	1 TFST 12 TLST
37	1 TFST 12 TLST	99	1 TFST 12 TLST
38	1 TFST 12 TLST	100	1 TFST 8 TREM KILL 12 TLST
39	1 TFST 12 TLST	-999	-999 X
40	1 TFST 12 TLST		
41	1 TFST 12 TLST		

Apêndice D - Arquivo de configuração de eventos do modelo Century para a simulação da área sob pastagem permanente (PP)

```

1      Starting year
20     Last year
DOURADOS_pp.100 Site file name
0      Labeling type
-1     Labeling year
-1.00 Microcosm
-1     CO2 Systems
2      Initial system
TKNZ   Initial crop
       Initial tree

Year Month Option
1      Block # Simulacao ensaio pastagem permanente
20     Last year
1      Repeats # years
1      Output starting year
6      Output month
0.5    Output interval
S      Weather choice
1 CROP TKNZ
1 1 FRST
1 4 GRAZ GM 5 GRAZ GM 6 GRAZ GM 7 GRAZ GM 8 GRAZ GM 9 GRAZ GM
1 10 GRAZ GM 11 GRAZ GM 12 SENM
-999 -999 X

```

Apêndice E - Arquivo de configuração de eventos do modelo Century para a simulação da área sob integração lavoura-pecuária (ILP)

```

1      Starting year
20     Last year
DOURADOS_IP.100 Site file name
0      Labeling type
-1     Labeling year
-1.00  Microcosm
-1     CO2 Systems
2      Initial system
TKNZ   Initial crop
       Initial tree

Year Month Option
1      Block # Simulacao integracao lavoura pecuaria
20     Last year
5      Repeats # years
1      Output starting year
1      Output month
0.5    Output interval
S      Weather choice
1 CROP TKNZ
1 1 FRST
1 4 GRAZ GM 5 GRAZ GM 6 GRAZ GM 7 GRAZ GM 8 GRAZ GM 9 GRAZ GM
1 10 GRAZ GM 11 GRAZ GM 12 SENM
2 1 FRST
2 4 GRAZ GM 5 GRAZ GM 6 GRAZ GM 7 GRAZ GM 8 GRAZ GM 9 GRAZ GM
2 10 GRAZ GM 11 GRAZ GM 12 SENM
3 1 FRST 4 GRAZ GM 5 GRAZ GM 6 GRAZ GM 7 GRAZ GM 8 GRAZ GM 9 GRAZ GM 9 LAST
3 10 CULT HERB 11 PLTM 11 CROP SYBN
4 4 LAST 4 HARV G 4 CULT HERB 5 PLTM 5 CROP OAT2 10 LAST
4 10 CULT HERB 11 PLTM 11 CROP SYBN
5 4 LAST 4 HARV G 4 CULT HERB 5 PLTM 5 CROP TKNZ 5 FRST 12 SENM
-999 -999 X

```


Apêndice F – Dados climáticos coletados durante a condução do experimento (1995-2005), formatados para uso pelo modelo Century

	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	
prec	1980	87,9	130,9	63,9	39,3	206,5	30,3	11,5	47,9	177,8	97,4	146,0	196,7
tmin	1980	19,3	20,4	20,2	18,9	16,3	11,8	13	14,5	13,3	18,4	18,7	20
tmax	1980	31	30,7	32,6	29,8	28,1	25,7	26,3	28,1	25,6	30,9	30,4	31,7
prec	1981	257,7	98,4	61,5	42,6	1,6	108,6	11,6	13,9	23,3	233,5	158,7	386,5
tmin	1981	21,5	20,6	19	16,9	16,1	11,9	9,4	14,6	15,7	17,6	20,2	20,1
tmax	1981	31,1	31,8	32,2	30,3	29,8	23,9	24,3	29,8	30,5	29,2	31,3	29,5
prec	1982	77,7	188,7	173,2	100,7	110,8	229,7	63,9	34,7	93,4	275,7	227,7	240,8
tmin	1982	20,1	20,5	20	17,1	14,3	15,4	14,7	15,3	16,4	18,3	20,5	18,9
tmax	1982	31,8	30,3	28,3	28,9	25,9	23,2	26,2	26,8	28,3	30	30,8	29,2
prec	1983	128,9	108,6	101,2	161,0	232,4	130,9	25,5	0,0	210,7	181,6	147,2	122,7
tmin	1983	21,4	20,9	19	18,9	17,5	12,1	14,2	12,6	14,9	17,8	17,7	19,9
tmax	1983	31,7	31	29,8	29,1	26,3	23,5	24,8	27,4	24,7	28,4	29,9	31,2
prec	1984	137,4	67,1	191,2	106,6	45,1	10,6	0,0	54,7	134,5	60,9	222,9	241,5
tmin	1984	20,7	20,6	20,4	16,8	16,4	13,2	13,2	11,9	14,7	19,9	20,3	19,4
tmax	1984	31,2	32,1	31,5	27,8	27,3	20,6	28,3	25,4	28,8	32,5	30,4	29,7
prec	1985	44,5	114,3	430,9	104,4	69,6	10,7	36,6	21,6	27,2	83,4	118,7	23,4
tmin	1985	20,1	21,2	20,1	18,9	15,3	10,8	11	13	16,1	17,9	20,2	21,1
tmax	1985	31,4	32,1	30,1	28,9	27,2	26	24,4	27,7	29,8	32,2	33,5	35,4
prec	1986	199,2	185,5	129,0	57,4	152,3	16,5	97,1	110,0	71,2	80,5	208,7	189,6
tmin	1986	21,4	21	19,7	19,2	16,3	13,1	11,7	15,3	15	15,9	20,1	20,7
tmax	1986	32,3	30,4	30,9	30,3	26,6	25	24,8	26,4	27,1	29,7	32,5	30,9
prec	1987	211,3	96,5	168,9	164,8	165,2	91,1	20,0	26,9	73,8	208,0	238,9	166,1
tmin	1987	21,6	19	18,5	19,2	13,8	11,9	15,9	12,6	15,2	18,1	19,9	19,8
tmax	1987	31,1	29,6	30,5	29,5	23,5	26,4	28,6	26,3	27	29	32,2	31
prec	1988	129,9	200,4	114,6	199,4	99,1	8,6	0,0	0,2	19,2	145,8	62,6	130,9
tmin	1988	21,3	19,8	20,8	18,8	15,6	11,7	9,1	13,3	16,5	16,7	18,6	20,9
tmax	1988	31,8	30,3	31,4	29,4	24,8	23,7	24	31,1	31,6	30,4	31,5	32,6
prec	1989	255,1	88,1	140,3	74,1	4,8	90,4	90,5	230,2	126,9	90,6	182,7	204,1
tmin	1989	20,5	20,4	19,6	18,7	14	13,4	10,8	13,2	14,5	16,2	18,1	20,9
tmax	1989	28,8	29,8	30,5	29	25,7	24,3	24,6	26,3	26,8	30,3	30,7	31,2
prec	1990	189,6	50,9	128,4	186,8	144,5	81,9	47,4	65,0	199,4	132,2	251,2	36,7
tmin	1990	21,2	19,3	20,2	19,7	13,6	12,3	9,9	13,1	13,9	19,5	21	21,2
tmax	1990	30,8	31,2	33,1	30,8	24,1	24,2	21,5	26,4	26,6	31,6	31,9	32,3
prec	1991	157,0	41,4	40,3	87,5	162,3	79,3	5,9	30,3	100,9	80,0	106,2	171,5
tmin	1991	20,9	19,8	20,4	18,1	15,5	13,8	11,3	13,6	17,1	17,8	19	20,8
tmax	1991	32,1	31,9	31,5	30,6	26,5	23,4	25,8	28,3	29,2	30,3	31,9	31,9
prec	1992	37,4	131,4	205,6	272,0	340,0	53,3	49,4	52,0	193,3	160,2	152,9	77,8
tmin	1992	20,9	21	19,4	17,2	16,8	15,9	9,6	12,5	15,1	18,4	18,5	20,7
tmax	1992	33,4	32,4	29,7	27,6	25,7	25,1	22,4	25,3	25,6	29,4	30,4	32,3
prec	1993	53,1	149,5	215,6	79,0	87,6	104,1	97,6	29,1	69,4	109,0	66,0	234,9
tmin	1993	21,3	19,3	20	18,6	14,5	12,1	12	12,6	16,5	18,8	19,3	20,3
tmax	1993	33,1	30,3	32	29,8	26,9	26,5	24	26,4	28,3	30,8	32,2	30,9
prec	1994	165,4	151,6	60,0	63,0	191,5	67,6	97,8	15,3	81,0	179,7	138,5	155,3
tmin	1994	20,3	21,3	19,7	18,1	16	13,6	11,2	13	16,7	19,8	18,6	21,5
tmax	1994	31,9	31,9	30,3	29,4	27,4	24,3	24,9	26,3	29,4	31	31,6	31,3
prec	1995	212,8	123,7	88,3	106,2	11,5	48,1	29,8	7,0	24,5	285,3	170,4	153,5

tmin	1995	21,7	21	19,9	15,4	13,3	14,1	15	14,7	17,1	17,2	19,3	20,2
tmax	1995	31,5	30,9	30,9	31,4	28,4	25,6	27,5	28,4	30,9	31,3	29,5	31,5
prec	1996	208,2	141,8	151,9	172,5	97,4	11,0	6,2	19,8	88,9	115,1	70,2	216,0
tmin	1996	21,2	21,1	20,3	18,1	15,5	11,3	10,1	15,3	14,6	18,8	19,9	21,1
tmax	1996	31,1	31,3	31,3	30,6	29,5	25,6	23,6	25,9	30,2	28,2	30,7	31,2
prec	1997	299,7	85,2	76,2	116,7	66,8	299,9	12,2	21,4	25,4	196,6	269,3	191,7
tmin	1997	21,4	21,6	19,3	16,6	14,5	13,2	13,4	14	18,2	19,5	20,8	21,3
tmax	1997	30,9	31,8	31,8	31	28,6	25,6	22,6	27,4	27,9	32,2	31,4	30,8
prec	1998	117,2	202,6	166,0	207,7	85,4	19,3	22,1	174,0	205,2	126,8	58,8	237,9
tmin	1998	22,2	22	20,9	18,6	13,1	12	13,6	15,3	15,9	18,2	19,2	19,6
tmax	1998	33,6	31,2	31,2	31,3	28,7	24,7	24,9	27,6	26,3	26,4	29,1	31,7
prec	1999	151,7	121,1	315,4	61,5	25,4	106,1	61,6	0,0	82,7	22,7	50,5	155,4
tmin	1999	21	21,4	21,5	16,7	12,7	12,3	12,4	13,1	16,1	17,7	17,9	19,9
tmax	1999	31,8	32,1	32,1	31,7	29,3	25,5	22,6	25,3	28,9	31,2	31,3	31,2
prec	2000	200,6	89,8	138,7	71,8	90,7	58,8	56,3	148,4	286,9	35,2	125,4	220,7
tmin	2000	21,8	21,3	20,5	17,5	13,1	14,4	8	15,5	16,9	19	18,9	19,6
tmax	2000	32,9	31,3	31,3	30,3	30,1	25,1	25,1	21	26,3	25,2	31,3	30,4
prec	2001	152,0	270,0	275,5	49,0	81,7	54,6	23,9	24,4	132,2	40,6	314,5	189,4
tmin	2001	21,5	20,9	20,9	19,1	13,4	11,5	13,2	16	16,6	18,2	19,8	19,2
tmax	2001	31,4	30,6	30,6	31,3	30,6	24,6	23	26,7	30,7	30,2	31,3	31,1
prec	2002	52,2	251,0	59,6	3,4	118,1	0,3	36,8	24,5	19,1	245,0	228,6	299,8
tmin	2002	20,2	19,6	21,8	19,8	17	14,6	12,3	15,7	15,4	20,5	20	21,4
tmax	2002	31,8	30,5	30,5	33,6	33,8	28	27,9	25,5	30,2	30,6	33,7	32,6
prec	2003	339,8	338,1	116,9	383,3	209,2	152,2	21,5	190,0	278,5	371,9	310,7	270,1
tmin	2003	22,1	21,1	20,1	16,8	12,6	14,3	13,1	9,9	14,7	17,8	18,5	20,9
tmax	2003	32	31,4	31,4	32,2	29,2	26,2	27,5	27,6	25,3	28,7	30,9	31,7
prec	2004	68,4	70,4	76,6	197,6	331,2	111,5	53,4	4,8	43,2	235,9	167,9	121,7
tmin	2004	20,8	19,9	19,1	19,6	13,5	13,8	13,1	12,8	16,8	18,6	19,1	20,3
tmax	2004	33,1	33,6	33,6	33	30,5	22	24,4	23,9	29	33,1	29,9	30,8
prec	2005	197,1	18,0	34,8	151,8	46,6	41,0	15,2	0,2	140,8	188,0	156,0	283,0
tmin	2005	22	20,3	20,5	19,5	16,5	16,8	11,1	14,5	13,8	18,9	19,4	20,5
tmax	2005	30,6	33	33	34	31,3	28,4	27,3	24,3	29,3	25,2	29,7	30,8
prec	2006	137,8	122,0	160,0	116,2	17,0	45,8	33,8	16,6	57,6	69,6	111,2	276,6
tmin	2006	21,5	20,7	21,3	18,5	11,8	15	14,5	14,9	15,7	20,3	19,9	22,1
tmax	2006	33,4	32	32	32	29,3	25,2	26,8	28,4	29,1	28,6	31,5	32,2
prec	2007	187,2	222,6	125,6	46,2	54,2	7,2	123,6	35,0	8,6	97,6	207,8	139,8
tmin	2007	22	21,3	20,6	18,9	13,6	12,4	11	12,5	17,7	19,7	18,7	20,3
tmax	2007	31,2	31,9	31,9	33,5	31,2	25,9	27,9	24,8	27,5	33,1	32,3	31,5
prec	2008	214,6	251,2	99,8	104,8	40,4	14,0	30,6	98,8	36,6	103,8	123,8	17,8
tmin	2008	21,2	20,3	19,4	17,2	13,7	11,9	14,3	15	13	19,2	19,5	20,1
tmax	2008	30,3	31,5	31,5	31,5	29,6	25,3	24,4	29,5	29,4	28,6	31,7	31,5
prec	2009	196,2	80,4	56,0	0,0	56,4	53,4	124,8	140,4	49,7	241,7	239,9	338,5
tmin	2009	19,8	20,9	20,6	17,6	15,7	11,9	13,8	14,9	16,7	19,3	22,7	21,3
tmax	2009	30,6	32,4	32,4	32,7	32,3	28,6	23,9	24	27,1	28,2	31,2	33,7

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)