

**^{13}C e a Dinâmica do Carbono Orgânico do Solo em
Pastagem Cultivada no Pantanal Sul-mato-grossense**





*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Centro de Pesquisa Agropecuária do Pantanal
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

*ISSN 1981-7215
Setembro, 2007*

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 74

^{13}C e a Dinâmica do Carbono Orgânico do Solo em Pastagem Cultivada no Pantanal Sul-mato-grossense

Fernando Antonio Fernandes
Carlos Clementi Cerri
Ana Helena Bergamin Marozzi Fernandes

Corumbá, MS
2007

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Pantanal

Rua 21 de Setembro, 1880, CEP 79320-900, Corumbá, MS
Caixa Postal 109
Fone: (67) 3233-2430
Fax: (67) 3233-1011
Home page: www.cpap.embrapa.br
Email: sac@cpap.embrapa.br

Comitê de Publicações:

Presidente: *Thierry Ribeiro Tomich*
Secretária-Executiva: *Suzana Maria de Salis*
Membros: *Débora Fernandes Calheiros*
Marçal Henrique Amici Jorge
Jorge Antônio Ferreira de Lara
Secretária: *Regina Célia Rachel dos Santos*
Supervisora editorial: *Suzana Maria de Salis*
Normalização bibliográfica: *Viviane de Oliveira Solano*
Tratamento de ilustrações: *Regina Célia Rachel dos Santos*
Foto da capa: *Sandra Aparecida Santos*
Edição eletrônica: *Regina Célia R. dos Santos*

1ª edição

1ª impressão (2007): formato digital

Todos os direitos reservados.

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Pantanal

Fernandes, Fernando Antonio

¹³C e a Dinâmica do Carbono Orgânico do Solo em Pastagem Cultivada no Pantanal Sul-mato-grossense./
Fernando Antonio Fernandes, Carlos Clemente Cerri, Ana Helena Bergamin Marozzi Fernandes. – Corumbá:
Embrapa Pantanal, 2007.

(Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 74)

Sistema requerido: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: <<http://www.cpap.embrapa.br/publicacoes/ficha.php?topicoBusca=BP&titulo=BP-Boletim+de+Pesquisa+%74+Desenvolvimento>>

Título da página da Web (acesso em 30 de outubro 2007)

ISSN 1981-7215

1. Solo 2. Matéria orgânica 3. Pastagem cultivada. I. CERRI, C.C. II. FERNANDES, A. H. B. M. III. Título. IV. Série.

CDD: 631.4 (21.ed.)

© Embrapa 2007

Sumário

| | |
|---|----|
| Resumo | 5 |
| Abstract | 7 |
| Introdução | 9 |
| Material e Métodos | 10 |
| Descrição da região..... | 10 |
| Localização e descrição da área de estudo | 11 |
| Amostragem de solo | 11 |
| Resultados e Discussão..... | 12 |
| Alterações do Conteúdo de Carbono | 12 |
| Evolução da Matéria Orgânica sob Pastagem Cultivada – $\delta^{13}\text{C}$ | 14 |
| Conclusões | 18 |
| Referências Bibliográficas | 19 |

¹³C e a Dinâmica do Carbono Orgânico do Solo em Pastagem Cultivada no Pantanal Sul-mato-grossense

Fernando Antonio Fernandes¹

Carlos Clementi Cerri²

Ana Helena Bergamin Marozzi Fernandes³

Resumo

O regime cíclico de cheias do Pantanal ocasiona épocas críticas de disponibilidade de forragens nativas, base alimentar do rebanho bovino de corte, principal atividade econômica da região. Isso tem levado a alterações no sistema de produção tradicional, através da introdução de pastagens cultivadas, principalmente em "cordilheiras". A substituição da vegetação nativa por sistemas cultivados pode modificar as características físicas e químicas do solo, bem como da matéria orgânica, tanto do ponto de vista quantitativo como qualitativo. O objetivo deste trabalho foi avaliar as alterações na matéria orgânica de um solo ESPODOSSOLO FERROCÁRBICO Hidromórfico decorrentes da introdução de *Brachiaria decumbens*, em área de cerrado não inundável na sub-região da Nhecolândia, Pantanal Mato-Grossense, através da técnica do ¹³C. As amostragens foram realizadas numa fazenda da sub-região da Nhecolândia (porção sul do cone aluvial do rio Taquari) MS, em áreas de pastagem cultivada com 10 e 20 anos de implantação e de vegetação nativa, constituída por cerrado, sobre solos ESPODOSSOLO FERROCÁRBICO Hidromórfico. Foram abertas trincheiras no topo do terreno de cada área, com 1,5 m de profundidade, e coletadas amostras de solo até 1 m de profundidade (0-10, 10-20 cm e a partir daí, de 20 em 20 cm). Foram feitas as seguintes determinações: carbono orgânico para todas as amostras; densidade aparente para amostras até 40 cm de profundidade; e ¹³C para amostras das camadas 0-10 e 10-20 cm. Foi observado que o conteúdo da matéria orgânica do solo, expresso em tC/ha, com a introdução da pastagem aumentou 55% para a camada de 0-40 cm, após 20 anos de cultivo, sendo que 29% do carbono do solo, na camada 0-20 cm, foi originário da vegetação nativa. A incorporação anual de carbono no solo pela pastagem foi estimada em 1,0 t/ha.

Termos de indexação: *Brachiaria decumbens* – ESPODOSSOLO FERROCÁRBICO Hidromórfico – matéria orgânica do solo

¹ Eng. Agron., MSc., Pesquisador – Embrapa Pantanal, Caixa Postal 109, 79320-900 - Corumbá, MS, e-mail fafernan@cpap.embrapa.br

² Pesquisador - CENA/USP, Caixa Postal 96, 13400-000, Piracicaba-SP, e-mail cerri@cena.usp.br

³ Eng. Agron., MSc., Pesquisadora – Embrapa Pantanal, Caixa Postal 109, 79320-900 - Corumbá, MS, e-mail amarozzi@cpap.embrapa.br

¹³C and the Soil Organic Carbon Dynamics in Cultivated Pasture in the Pantanal Sul-mato-grossense

Abstract

*The seasonal flooding regime of the Pantanal limits the availability of the native forage to the bovine cattle. Cattle ranching is the main economic activity in the region. The limited availability of native forage has led to changes in the traditional production system by the introduction of cultivated pasture, mainly in the "cordilheiras" (slightly elevated patches of forest). The replacement of native vegetation by cultivated systems can modify, qualitatively and quantitatively, the physical-chemical characteristics and organic matter of soil. The purpose of this work was to evaluate the changes in organic matter in a Hydromorphic Podzol soil after introduction of *Brachiaria decumbens* by the use of soil ¹³C. The study site is a non-floodable savanna in the Nhecolândia sub-region of the Pantanal (at southern part of the alluvial cone of Taquari river) and includes cultivated pastures 10 and 20 years old as well as native vegetation, all growing on Hydromorphic Podzol. In each area, at the highest point, trenches were dug to 1.5 m depth, and soils samples were collected at depths of 0-10 cm, 10-20 cm and at 20 cm intervals to 1.0 m. All samples were analyzed for organic carbon. Bulk density was measured in samples from 40 cm depth; $\delta^{13}\text{C}$ was measured in samples from 0-10 and 10-20 cm. After 20 years of introduced pasture the soil organic matter had increased 55% in the 0-40 cm layer, with 29% of the soil carbon in the 0-20 cm layer originating from the native vegetation. The annual incorporation of soil carbon by the pasture was estimated at 1.0 tC/ha.*

Index terms: *Brachiaria decumbens*- Hydromorphic Podzol- soil organic carbon

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 (Post et al., 1982; Schlesinger, 1986; Sombroek et al., 1993; Batjes, 1996), sendo que quase um terço desse carbono é constituído de formas lábeis com ciclagem bastante rápida (Schimel, 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.

Além dos aspectos de mudanças globais, a matéria orgânica do solo desempenha um papel central na regulação da produtividade vegetal nas regiões tropicais. Os processos de decomposição e mineralização dos resíduos vegetais são responsáveis pela principal fonte de nutrientes para as plantas nos ecossistemas naturais e nos agroecossistemas introduzidos e raramente fertilizados (Sanchez et al., 1989). Um exemplo dessa situação é a região do Pantanal. A principal atividade econômica é a pecuária de corte, conduzida em sistema extensivo e com a alimentação do rebanho baseada em sua maior parte nas pastagens nativas. Para amenizar problemas de estacionalidade na oferta e qualidade das pastagens nativas durante o ano, produtores vêm formando pastagens cultivadas, ainda sem informações científicas sobre o impacto no sistema produtivo e no ambiente (Embrapa, 1993).

Marcada por insucessos no passado, devido principalmente à falta de conhecimentos sobre a dinâmica do ecossistema, a introdução de pastagens cultivadas no Pantanal tem se intensificado nos últimos anos, constituindo a principal alteração no sistema tradicional de produção pecuária da região. Através da interpretação de imagens de satélite, Silva et al. (1998) encontraram, para o período de 1990/91, uma área desmatada de 5.437,73 km² para essa região. Essa prática tem sido adotada sobretudo na região da Nhecolândia, que concentra o maior rebanho do Pantanal e a maior extensão de áreas de cerrado não inundáveis, regionalmente conhecidas por "cordilheiras".

O nível tecnológico da atividade pecuária do Pantanal é baixo, sendo o sistema caracterizado pela entrada quase nula de insumos e energia externos. Tanto as pastagens nativas como as pastagens cultivadas não recebem nenhum tipo de adubação, sendo que a manutenção de níveis satisfatórios de produção depende dos nutrientes naturalmente liberados no solo pelos processos de decomposição e mineralização da matéria orgânica do solo. Nessa situação, a manutenção de níveis satisfatórios de produção depende da produtividade primária do ecossistema, a qual está intimamente relacionada com a dinâmica dos ciclos biogeoquímicos, principalmente os ciclos do carbono e nitrogênio. Informações básicas sobre essa dinâmica são essenciais para a avaliação do impacto da remoção da vegetação nativa e a perda de matéria orgânica lábil, de ciclagem mais rápida, o que pode afetar a fertilidade do solo e a produtividade primária do sistema (Tiessen et al., 1994)

Mudanças marcantes são observadas na matéria orgânica do solo como consequência da alteração no uso do solo, tanto do ponto de vista quantitativo como do ponto de vista qualitativo (Campbell, 1978; Andreux e Cerri, 1989). De modo geral, os níveis de matéria orgânica do solo diminuem quando sistemas nativos são utilizados para cultivo. Alterações na temperatura, umidade, aeração, absorção e lixiviação, observadas no solo como consequência do cultivo (Sanchez, 1976), além da destruição completa da liteira original, modificam a distribuição e a atividade da fauna e microbiota do solo (Cerri et al., 1985), influenciando assim o tempo de residência do carbono orgânico armazenado no solo. A diminuição dos valores de adição anual de carbono orgânico devido ao cultivo combinada com as altas taxas de decomposição, características das regiões tropicais, ocasionam um declínio do seu teor, antes em equilíbrio com a vegetação nativa. Detwiller (1986) estimou uma perda no conteúdo de carbono de 40% no caso do uso do solo com culturas, e uma perda de 20% no caso de uso com pastagens. Alguns estudos em solos tropicais mostram que, entre diversas áreas desmatadas e cultivadas com pastagens, algumas apresentaram aumento (Teixeira e Bastos, 1989; Chone et al., 1991; Lugo e Brown, 1993; Fisher et al., 1994) e outras diminuição nos estoques de carbono do solo (Moraes, 1991; Veldkamp, 1994). Um fator que contribui para essas diferenças é a textura do solo, sendo que solos arenosos apresentam índices menores de perda de carbono orgânico (Mann, 1986) ou até mesmo algum ganho em relação aos valores iniciais, após algum tempo de cultivo (Moraes, 1991).

O isótopo ¹³C perfaz aproximadamente 1% do carbono na natureza, entretanto, sua distribuição pode ser influenciada por processos naturais. Os processos fotossintéticos, por exemplo, discriminam o ¹³C em favor do isótopo ¹²C no processo de descarboxilação. Conseqüentemente, as plantas podem ser divididas em C₃ (ciclo de Calvin), C₄ (Hatch-Slack) ou CAM (metabolismo ácido crassuláceo) dependendo de sua via fotossintética. As

plantas C₃ discriminam o ¹³C mais do que as plantas C₄, enquanto que as plantas CAM mostram abundâncias isotópicas variáveis. A maioria das plantas superiores utilizam exclusivamente a via C₃, sendo que as plantas C₄ são essencialmente gramíneas tropicais (Cerri, 1986).

A relação ¹³C/¹²C é calculada pela fórmula abaixo:

$$\delta^{13}\text{C} = \left(\frac{R_{\text{amostra}} - R_{\text{padrão}}}{R_{\text{padrão}}} \right) \times 1000$$

Onde: R_{amostra} é a razão isotópica ¹³C/¹²C da amostra e $R_{\text{padrão}}$ é a razão isotópica ¹³C/¹²C do padrão.

A relação ¹³C/¹²C é usualmente referida como $\delta^{13}\text{C}$, sendo medida em relação a um padrão e expressa em partes por milhão (‰). O padrão (PDB - Pee Dee Belemnite) é uma belemnite de uma formação do Cretáceo localizada na Carolina do Sul. Os valores de ¹³C das plantas C₃ e C₄ são em média -28‰ e -12‰, respectivamente. A partir dessa diferença, mudanças na dominância de ecossistemas por esse dois grupos de plantas podem ser usadas em estudos sobre a dinâmica da matéria orgânica em períodos relativamente longos (Cerri, 1986; Andreux et al., 1990) e em estudos sobre a história ecológica de paisagens (Dzurec et al., 1985), visto que a matéria orgânica do solo, na maioria dos casos, reflete a composição isotópica da vegetação, supondo-se uma pequena variação nos valores de ¹³C por processos diagenéticos.

A composição isotópica do carbono (razão ¹³C/¹²C) como traçadora da MOS foi utilizada em diferentes estudos (Cerri et al., 1985; Cerri, 1986; Balesdent et al., 1987; Volkoff e Cerri, 1987; Martins et al., 1990; Victoria et al., 1992; Desjardins et al., 1996; Martinelli et al., 1996; Bernoux et al., 1998; Camargo et al., 1999)

Em agroecossistemas podem ser observados dois processos simultâneos de evolução do carbono orgânico do solo: a contínua mineralização do carbono derivado da vegetação nativa (CdVN) e a progressiva incorporação do carbono derivado dos restos da cultura introduzida (CdP). Para a quantificação dessas duas fontes de carbono tem sido utilizada a variação da relação isotópica ¹²C/¹³C ($\delta^{13}\text{C}$). Esse método baseia-se na existência de mudanças na composição isotópica do carbono do solo quando a vegetação nativa, constituída predominantemente por plantas de metabolismo C₃, é substituída por plantas de metabolismo C₄, como é o caso da introdução de pastagens nas "cordilheiras".

O objetivo do presente trabalho foi avaliar as alterações na matéria orgânica de um solo ESPODOSSOLO FERROCÁRBICO Hidromórfico decorrentes da introdução de *Brachiaria decumbens*, em área de cerrado não inundável na sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul-mato-grossense. Para atingir esses objetivos foi estudada a dinâmica da evolução do carbono orgânico (C), utilizando-se a técnica isotópica da variação natural do ¹³C ($\delta^{13}\text{C}$) em uma cronoseqüência de introdução de pastagem, com a área mais antiga contando com 20 anos de idade.

Material e Métodos

Descrição da região

A sub-região da Nhecolândia corresponde a cerca de 20% da área total do Pantanal e cerca de 30% da área do Pantanal no estado de Mato Grosso do Sul (Silva e Abdon, 1998), ocupando a porção central da região. Constitui uma planície sedimentar arenosa, formada pelo rio Taquari, com solos de textura francamente arenosa, pertencentes predominantemente ao grupo dos podzóis hidromórficos e areias quartzozas, correlacionadas com os sub-grupos Spodic Quartzipsament, Spodic Psammaquent e Aeric Entic Sideraquod (Orioli et al., 1982), atualmente ESPODOSSOLO FERROCÁRBICO Hidromórfico e NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Hidromórfico, respectivamente (Embrapa, 1999). O seu mesorelevo caracteriza-se por pequenas extensões sucessivas de contrastes altimétricos, que variam de 2 a 5 m. As partes mais elevadas possuem o aspecto de cordões arenosos e constituem depósitos fluviais da borda de paleoleitos de rios, sendo regionalmente conhecida por "cordilheiras". São áreas não inundáveis, cobertas por vegetação arbórea e arbustiva, onde predominam espécies que ocorrem nos cerrados do planalto. As áreas de cotas médias são representadas por campos gramíneos, cerrados ou limpos, que sofrem alagamento ocasional; as áreas mais baixas possuem alagamento desde ocasional até permanente, sendo conhecidas por "vazantes". Do outro lado das "cordilheiras", em quotas mais baixas, estão presentes corpos d'água, perenes ou não, regionalmente denominados "baías" (Cunha, 1980).

Localização e descrição da área de estudo

Estudou-se uma cronosseqüência de introdução de pastagens exóticas em áreas com diferentes idades de implantação, utilizando uma área de cerrado nativo como referencial. Todas as áreas encontravam-se sobre solos do tipo ESPODOSSOLO FERROCÁRBICO Hidromórfico.

A área experimental localiza-se na fazenda Rancharia, município de Corumbá, MS, nas coordenadas 18°34' de latitude Sul e 55°48' de longitude Oeste. Foram definidas três áreas de amostragem, sendo uma sob cerrado nativo (VN) e duas áreas sob pastagem de *Brachiaria decumbens*, com 10 (P10) e 20 (P20) anos de implantação. Todas as áreas de pastagem não sofreram nenhum trato cultural, a exceção da área de 20 anos, onde inicialmente foi implantado capim pangola (*Digitaria decumbens* Stent., cv. Pangola) e, após 7 anos, foi feito o plantio da *Brachiaria decumbens*, que permanece. A área de cerrado nativo possuía com maior freqüência as seguintes espécies arbóreas: *Caryocar brasiliense* (pequi), *Qualea grandiflora* (pau-terra-macho), *Vatairea macrocarpa* (angelim), *Lafoensia pacari* (mangaba-brava), *Magonia pubescens* (timbó), *Astronium fraxinifolium*. (gonçalo), *Terminalia argentea* (capitão) e *Tabebuia aurea* (paratudo).

O clima local pode ser definido como Aw, segundo a classificação de Köpen, com temperatura média anual de 25°C (média mínima de 20°C, em julho e máxima de 27°C, em novembro), e precipitação média anual de 1.280 mm, concentrada nos meses de novembro a fevereiro. Esses dados foram obtidos junto à estação meteorológica da fazenda Nhumirim (18°59' de latitude Sul e 56°39' de longitude Oeste), da Embrapa Pantanal (Embrapa, 1996).

Amostragem de solo

Foram definidas três áreas de amostragem, para compor uma cronosseqüência, sendo uma sob vegetação nativa (VN), caracterizado como cerrado, e as duas áreas restantes sob pastagem cultivada de *Brachiaria decumbens*, com 10 e 20 anos de implantação (respectivamente P10 e P20).

Em cada uma das áreas da cronosseqüência foram abertas trincheiras no topo do terreno com 1,5 m de profundidade, para estudo da variação nos conteúdos de C-orgânico ao longo do perfil. Foram retiradas amostras nas profundidades de 0-10 cm, 10-20 cm e, a partir desse ponto, de 20 em 20 cm até 1,0 m de profundidade, com três repetições, correspondentes às três faces das trincheiras. Foram retiradas também 10 amostras compostas por três sub-amostras, ao longo de dois transectos nas áreas no centro do terreno de cada uma das áreas, em três profundidades: 0-10 cm, 10-20 cm e 20-40 cm. Essas amostras foram utilizadas para o cálculo dos estoques de C nas áreas. Todas as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e levadas para o laboratório da Embrapa Pantanal, onde foram secas ao ar, peneiradas a 2 mm e encaminhadas para análise.

O C orgânico foi analisado pelo método de Mebius modificado por Yeomans e Bremner (1989) que constou da digestão de uma amostra de 1 ml de solo, 5 ml de K₂Cr₂O₇ e 7,5 ml de H₂SO₄ p.a., por 30 minutos a 170°C, sendo a digestão conduzida no bloco digestor de 40 provas, utilizado na análise de nitrogênio. Os extratos obtidos foram então transferidos para erlenmeyer de 125 ml de capacidade com água deionizada, sendo então titulados com uma solução de Fe(NH₄)₂ (SO₄)₂.6H₂O 0,5N (sal de Mohr), utilizando-se uma solução aquosa de fenantrolina como indicador.

A análise da relação ¹³C/¹²C (δ¹³C) foi feita apenas para as profundidades de 0-10 e 10-20 cm, e para as amostras de material vegetal. Foi utilizado o método dinâmico para transformação do carbono orgânico em CO₂, que consiste na combustão da amostra em fluxo contínuo de O₂ puro sob pressão positiva, com a amostra gasosa sendo analisada em espectrômetro de massa, marca Micromass 602 E. A relação ¹³C/¹²C da amostra foi expressa na forma δ por mil (‰), com relação ao padrão internacional PDB, assim definido:

$$\delta^{13}\text{C} = (\text{R}_{\text{amostra}} - \text{R}_{\text{padrão}}) / \text{R}_{\text{padrão}}$$

Sendo:

R_{amostra} = relação ¹³C/¹²C da amostra

R_{padrão} = relação ¹³C/¹²C do padrão

As porcentagens de carbono derivado da vegetação nativa (C_t) e da pastagem (C_p) foram obtidas através das equações:

$$C_p = \frac{\delta - \delta_0}{\delta_c - \delta_0} \times \% C_t \quad C_t = \% C_t - C_p$$

onde: δ = $\delta^{13}\text{C}$ do solo sob pastagem

δ_0 = $\delta^{13}\text{C}$ do solo sob floresta

δ_c = $\delta^{13}\text{C}$ do material vegetal (gramínea)

$\%C_t$ = % do carbono total do solo sob pastagem

Nas áreas de pastagem foram colhidas amostras de folhas da braquiária, para análise do $\delta^{13}\text{C}$, a ser utilizado como referência nos cálculos. O material vegetal foi seco em estufa a 40°C , até peso constante, quando então foram moídas em moinho do tipo Willey, a 50 mesh.

Resultados e Discussão

Alterações do Conteúdo de Carbono

A Figura 1 apresenta as curvas de distribuição de carbono nas áreas estudadas. Observa-se que nos primeiros 20 cm no solo sob pastagem de 10 anos houve um aumento nos teores de carbono em relação àqueles observados no solo sob vegetação nativa. Esses aumentos foram de 48%, para a camada de 0-10 cm, passando de 0,47 para 0,70%, e de 20%, para a camada de 10-20 cm, passando de 0,30 para 0,36%. Nas demais profundidades, observa-se que os teores são inferiores àqueles encontrados para a área sob vegetação nativa.

Para a área sob pastagem de 20 anos observa-se que os teores de carbono são maiores em todo o solo, em relação àqueles obtidos na área sob vegetação nativa. Em relação à área sob pastagem de 10 anos, esses teores são maiores nas camadas abaixo de 10 cm, sendo que até essa profundidade os teores observados são semelhantes.

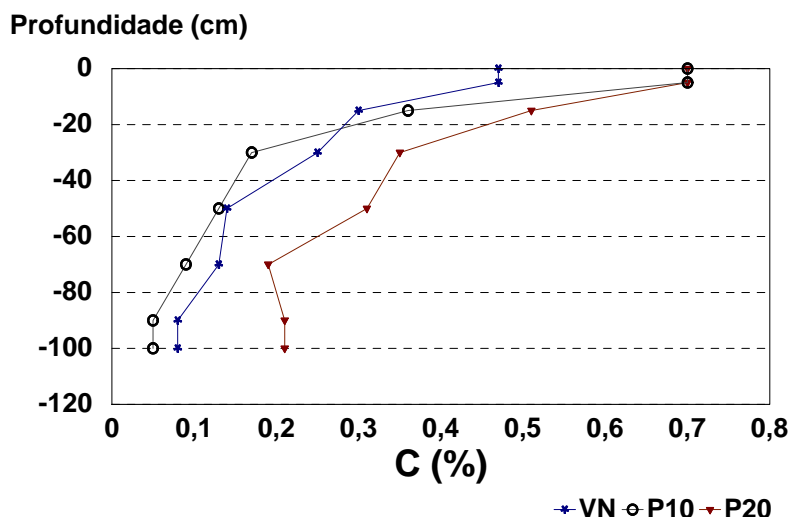


Figura 1. Teores de carbono (C) em perfis de solo ESPODOSSOLO FERROCÁRBICO Hidromórfico, sob vegetação nativa (VN) e pastagem de *Brachiaria decumbens* com 10 (P10) e 20 (P20) anos de implantação, Pantanal sul-mato-grossense.

Em termos de estoque de carbono, a Figura 2 apresenta-os calculados para as profundidades de 10, 20 e 40 cm. Observa-se que a incorporação de carbono pela pastagem vai ocorrendo paulatinamente em profundidades cada vez maiores ao longo do tempo, sendo que a camada de 0-10 cm aparentemente já atingiu um estado de equilíbrio após 10 anos de cultivo (cerca de 9,8 t/ha). Para as outras camadas pode ser observado que ainda existem diferenças nos estoques entre as áreas de 10 e 20 anos, sendo essa diferença maior na camada de 40 cm. Na camada de 0-20 cm o estoque é de 10,8 t/ha no solo sob vegetação nativa, e 15,1 e 17,3 t/ha respectivamente nas pastagens de 10 e 20 anos. Esses valores representam, respectivamente, um aumento de 40 e 60% em relação ao solo sob vegetação nativa.

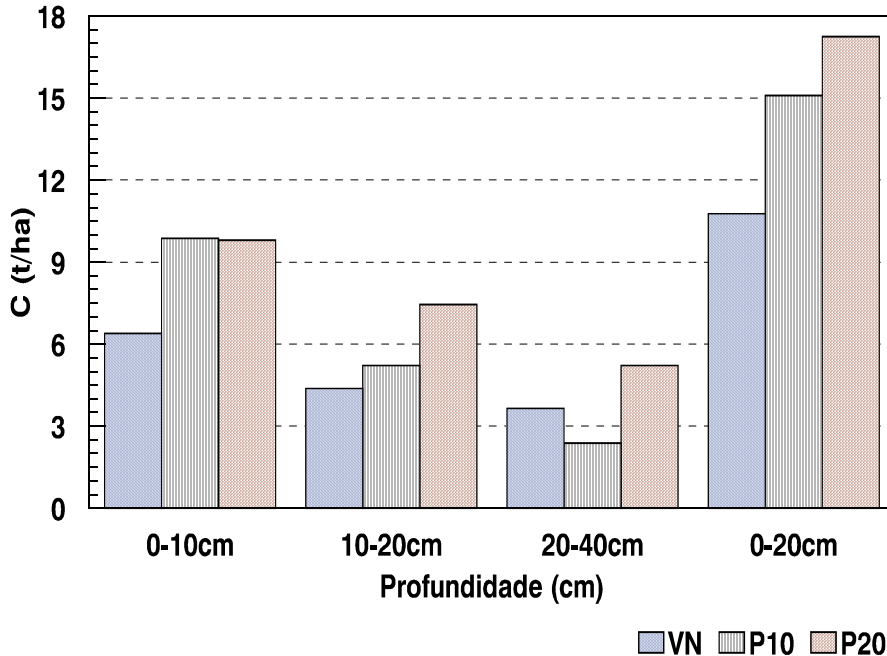


Figura 2. Estoque de carbono (C) em perfis de solo ESPODOSSOLO FERROCÁRBICO Hidromórfico, sob vegetação nativa (VN) e pastagem de *Brachiaria decumbens* com 10 (P10) e 20 (P20) anos de implantação, Pantanal sul-mato-grossense.

Vários autores têm observado que a substituição da vegetação nativa por sistemas cultivados provoca diminuição nos teores de carbono do solo. Em áreas tropicais Cerri et al. (1991) estudando uma cronoseqüência de introdução de cana-de-açúcar em solo do tipo LVE (Latosolo Vermelho Escuro) no Estado de São Paulo, observaram uma redução de 56% no estoque de carbono após 50 anos de cultivo. Sanchez et al. (1983) em trabalho conduzido sob um Ultisol na Amazônia colombiana, observaram uma diminuição de 27% do carbono no solo, após 8 anos de cultivo contínuo da seqüência arroz-milho-soja. Martins et al. (1990) observaram, no estado do Pará em solo do tipo Latossolo Podzolizado, um decréscimo de 40% nos teores de carbono do solo, após cinco anos de cultivo com culturas anuais e, em áreas sob pousio por três anos, com desenvolvimento de vegetação secundária, os teores de carbono representavam 80% daqueles encontrados no solo sob vegetação nativa.

Mann (1986), a partir de uma análise de 625 pares de solos de regiões temperadas e tropicais, observou uma perda máxima de carbono de 36%, quando consideradas todas as amostras. Quando consideradas somente as amostras de solos arenosos (Inceptisols e Psamments), com menores teores iniciais de carbono, as perdas foram de 13%. Segundo o autor, essa diferença de comportamento foi determinada pelas diferentes quantidades de carbono inicialmente presentes nos solos. Assim, aumentos dos estoques ou menores taxas de perda de carbono observadas nos solos inicialmente pobres em carbono indicam que está havendo, relativamente, maior entrada do que perda, em relação aos solos com maiores quantidades iniciais de carbono. Também Wheating (1937) observou nas séries mais arenosas dos 73 pares de amostras de solo analisadas ganhos entre 41 e 53% nos conteúdos iniciais de carbono, contra 28% nas demais amostras. Moraes (1991), estudando duas cronoseqüências sob pastagem cultivada na Amazônia brasileira, observou para a camada de 0-30 cm uma redução inicial no conteúdo de carbono nas duas cronoseqüências. Após 20 anos de cultivo a área sob solo do tipo PVE (Podzólico Vermelho Escuro) apresentou uma perda de 25% em relação ao conteúdo inicial, e aquela sob solo do tipo PVA (Podzólico Vermelho Amarelo), mais arenoso, um ganho de 14%.

O uso agrícola de solos inicialmente pobres em carbono pode resultar em condições menos favoráveis para a mineralização quando comparados a solos com grandes quantidades iniciais de carbono, condições essas devidas aos mesmos não possuírem substrato adequado tanto qualitativa como quantitativamente para a manutenção da população de decompositores (Jenny, 1980; Mann, 1986). A implantação de um sistema de cultivo que recobre totalmente o solo, como é o caso da pastagem, leva o sistema a uma recuperação dos estoques de carbono, em um período de tempo que é variável em função das propriedades de cada tipo de solo (Moraes, 1991).

Acredita-se que a introdução de pastagens cultivadas na situação estudada parece ter provocado, inicialmente, uma redução nos teores de carbono do solo, uma vez que os teores de carbono observados no solo sob pastagem de 10 anos, nas profundidades inferiores a 20 cm, apresentaram valores menores do que aqueles sob vegetação nativa. Por ser a zona de maior concentração de biomassa radicular da gramínea, nos primeiros 20 cm essa redução inicial não foi evidenciada, devido à incorporação de carbono por parte da gramínea. No solo sob pastagem de 20 anos, há indícios de que o sistema já se estabilizou nos primeiros 10 cm de profundidade, mantendo os mesmos níveis de carbono observados para a área de 10 anos. Em profundidades maiores, a ocorrência de incorporação de carbono indica que o sistema ainda não se estabilizou, pois observam-se aumento do conteúdo de carbono, em relação ao solo sob pastagem de 10 anos.

Evolução da Matéria Orgânica sob Pastagem Cultivada - $\delta^{13}\text{C}$

Em agroecossistemas podem ser observados dois processos simultâneos de evolução do carbono orgânico do solo: a contínua mineralização do carbono derivado da vegetação nativa (CdVN) e a progressiva incorporação do carbono derivado dos restos da cultura introduzida (CdP). Para a quantificação dessas duas fontes de carbono tem sido utilizada a variação da relação isotópica $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ ($\delta^{13}\text{C}$). Esse método baseia-se na existência de mudanças na composição isotópica do carbono do solo quando a vegetação nativa constituída predominantemente por plantas de metabolismo C_3 é substituída por plantas de metabolismo C_4 , como é o caso da introdução de braquiárias nas "cordilheiras".

Os dados relativos à análise do $\delta^{13}\text{C}$, para as camadas de 0-10 cm e 10-20 cm estão apresentados na Tabela 1. Como podem ser observados os incrementos no conteúdo do carbono orgânico foram exclusivamente devidos à incorporação do CdP, com o $\delta^{13}\text{C}$ tendendo ao longo do tempo a valores maiores, próximos ao índice de -12,5‰, observado para a braquiária. Além disso, pode ser observado que a incorporação é diferenciada para as duas profundidades estudadas, sendo que a mesma ocorre mais rapidamente na camada mais superficial, com o seu $\delta^{13}\text{C}$ aumentando mais rapidamente.

Tabela 1. Carbono e $\delta^{13}\text{C}$ dos perfis de um solo ESPODOSSOLO FERROCÁRBICO Hidromórfico, sob vegetação nativa (VN) e pastagem de *Brachiaria decumbens* com 10 (P10) e 20 (P20) anos de implantação, Pantanal sul-mato-grossense.

| Profundidade (cm) | C (t/ha) | $\delta^{13}\text{C}$ (‰) | C derivado de Vegetação Nativa | | C derivado de Pastagem | |
|------------------------------|-------------|------------------------------|--------------------------------|-------|------------------------|------|
| | | | (t/ha) | (%) | (t/ha) | (%) |
| Solo sob Vegetação Nativa | | | | | | |
| 0-10 | 6,39 | -24,35 | 6,39 | 100,0 | 0 | 0 |
| 10-20 | 4,38 | -23,70 | 4,38 | 100,0 | 0 | 0 |
| Solo sob Pastagem de 10 Anos | | | | | | |
| 0-10 | 9,87 | -18,14 | 4,70 | 47,6 | 5,17 | 52,4 |
| 10-20 | 5,22 | -17,82 | 2,48 | 47,5 | 2,74 | 52,5 |
| Solo sob Pastagem de 20 Anos | | | | | | |
| 0-10 | 9,80 | -15,33 | 2,34 | 23,9 | 7,46 | 76,1 |
| 10-20 | 7,45 | -16,09 | 2,39 | 32,1 | 5,06 | 67,9 |

Nos primeiros 10 cm, o estoque de carbono, originalmente 6,39 t/ha sob vegetação nativa, atingiu 9,87 t/ha, na área de 10 anos, e 9,80 t/ha na área de 20 anos de introdução de pastagem. Desses totais, 45,3% e 20,5% são remanescentes da vegetação nativa, respectivamente para as áreas de 10 e 20 anos.

Já para a camada entre 10 e 20 cm, o estoque de carbono sob vegetação nativa era 4,38 t/ha, passando a 5,22 e 7,45 t/ha, respectivamente nas áreas com pastagem de 10 e 20 anos. Desses valores, observados sob a pastagem, 45,0 e 28,9%, são remanescentes da vegetação nativa.

Como pode ser visto a área estudada mostrou um padrão geral de aumento do CdP, e um declínio relativamente lento do CdVN, sendo que após 10 anos de cultivo restavam ainda 69% do conteúdo de carbono original, e após 20 anos, 31%, considerando-se a camada de 0-10 cm. Esse padrão de declínio coincide com as observações de Chone et al. (1991). Esses autores observaram em uma cronossequência sob Latossolo amarelo perto de Manaus, AM que, após 8 anos de pastagem, restavam no solo 56% do carbono originalmente presente, considerando-se a camada de 0-20 cm.

Tem sido proposto em diferentes modelos do ciclo do carbono que a matéria orgânica do solo é composta por duas fases, uma "estável", resistente à decomposição e mineralização, e outra "biodegradável", menos resistente (Van Veen e Paul, 1981; Balesdent et al., 1987). Então a decomposição da matéria derivada da vegetação nativa pode ser descrita em termos de uma equação exponencial de 1ª ordem, como por exemplo:

$$\text{CdVN} = \text{CdVN}_e + \text{CdVN}_b \exp(-k_f \times t)$$

onde:

- **CdVN** - carbono derivado da vegetação nativa
- **CdVN_e** - carbono derivado da vegetação nativa estável
- **CdVN_b** - carbono derivado da vegetação nativa biodegradável
- **k_f** - constante de decomposição do carbono derivado da vegetação nativa
- **t** - tempo

Do mesmo modo a entrada do carbono derivado da pastagem nesse solo, pode também ser descrita por uma equação exponencial de 1ª ordem, como segue

$$\text{CdP} = \text{CC} \infty (1 - \exp(-k_c \times t))$$

onde:

- **CdP** - carbono derivado da pastagem
- **CC** - quantidade máxima de carbono derivado da pastagem
- **k_c** - constante de decomposição do carbono derivado da pastagem
- **t** - tempo

A entrada anual de carbono no sistema (q_0) pode ser calculada pela expressão:

$$q_0 = \text{CC} \infty \times k_c$$

Pode ser observado que, para a área estudada, a fração estável do CdVN é muito pequena (0,5 t/ha) em comparação com a fração potencialmente biodegradável, representando 5% do conteúdo total de carbono na área nativa (Figura 3).

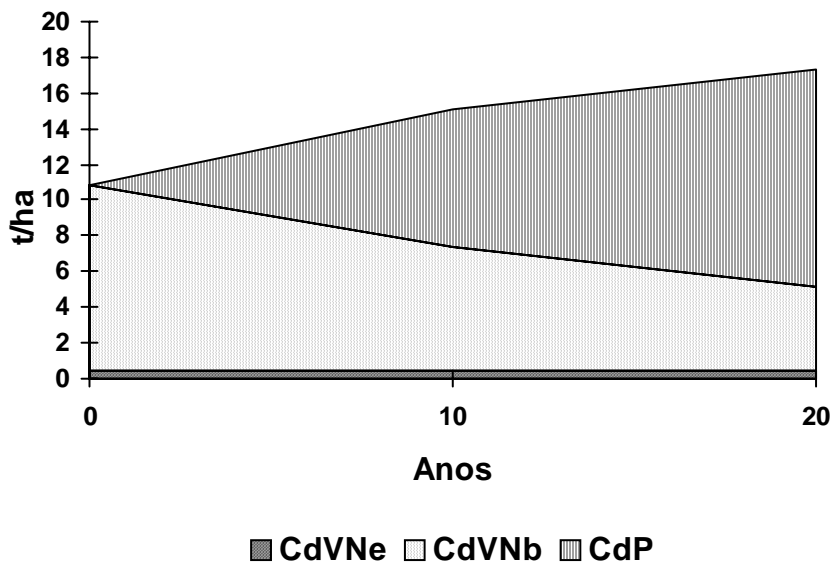


Figura 3. Evolução das frações estável (CdVNe) e biodegradável (CdVNB) do carbono derivado da vegetação nativa, e do carbono derivado da pastagem (CdP), numa cronosequência de introdução de pastagem, Pantanal sul-mato-grossense.

A decomposição da fração biodegradável é bastante lenta, apresentando após 20 anos de pastagem 44% do seu conteúdo original. A taxa de incorporação anual do CdP foi estimada em cerca de 1,0 t/ha, sendo que essa fração passa a representar mais da metade do conteúdo total de carbono do solo aproximadamente após 10 anos da presença da pastagem.

Para permitir a comparação com dados de literatura na utilização desse modelo, foram calculados, a partir da Tabela 1, os valores para a camada de 0-20 cm, somando-se os estoques totais de carbono, e recalculando-se as frações derivadas de vegetação nativa e pastagem a partir de um valor médio do $\delta^{13}\text{C}$ entre as duas camadas amostradas, cujos resultados encontram-se na Tabela 2.

Os resultados da aplicação desse modelo na área estudada estão confrontados com os resultados encontrados por Cerri e Andreux (1990) na Tabela 2. Esses autores compararam duas cronosequências, a primeira constando de duas áreas de plantio de cana-de-açúcar, com 12 e 50 anos de idade, localizada em Piracicaba, SP; e a segunda, localizada perto de Manaus, AM, constituída de duas áreas com pastagem (*Brachiaria humidicola*), com 2 e 8 anos de idade.

As áreas descritas por Cerri e Andreux (1990) apresentam uma rápida perda do CdVN, sendo que a fração estável do solo sob pastagem na Amazônia é duas vezes maior que no solo sob cana, 50,2 e 20,9 t/ha, representando 56% e 30% do conteúdo total de carbono, respectivamente. As taxas de incorporação também são maiores na Amazônia do que em São Paulo, aproximadamente 7,5 vezes. Em relação às taxas de decomposição estimadas, a área sob cana apresenta uma taxa aproximadamente 10 vezes menor que na Amazônia. Dessas condições resultam os diferentes padrões de evolução observados para as duas áreas. Na área sob pastagem na Amazônia, o aumento observado no estoque de carbono é explicado pela alta taxa de incorporação do CdP e pelo predomínio da fração estável no CdVN. A diminuição do estoque de carbono na área sob cana, pode ser explicada pela baixa taxa de incorporação do CdP, e pela menor proporção da fração estável no CdVN.

Tabela 2. Variações dos conteúdos de carbono segundo sua origem, para a camada de 0-20 cm em t/ha, numa cronosequência de introdução de pastagem no Pantanal sul-mato-grossense, em comparação com os dados apresentados por Cerri e Andreux (1990) em São Paulo (canavial) e na Amazônia (pastagem).

| | São Paulo (canavial) | | | Amazônia (pastagem) | | | Pantanal (pastagem) | | |
|----------------|----------------------|---------|---------|---------------------|--------|--------|---------------------|---------|---------|
| | VN | 12 anos | 50 anos | VN | 2 anos | 8 anos | VN | 10 anos | 20 anos |
| C-Total | 71,9 | 44,6 | 30,5 | 90,0 | 68,8 | 96,0 | 10,8 | 15,1 | 17,3 |
| CdVN | 71,9 | 36,0 | 21,0 | 90,0 | 54,8 | 50,2 | 10,8 | 7,4 | 5,1 |
| CdVNe | | 20,9 | | | 50,2 | | | 1,3 | |
| CdP | 0 | 8,6 | 17,3 | 0 | 14,0 | 45,8 | 0 | 7,7 | 12,2 |
| q _o | | 0,96 | | | 7,50 | | | 1,00 | |
| k _f | | 0,101 | | | 1,079 | | | 0,091 | |
| t 99% | | 45,5 | | | 4,25 | | | 113,7 | |

VN = vegetação nativa; C-Total = conteúdo total de carbono no solo; CdVN = conteúdo de carbono derivado da vegetação nativa; CdVNe = fração estável do carbono derivado da vegetação nativa; CdP = carbono derivado da cultura introduzida; q_o = entrada anual de carbono no sistema (t/ha); k_f = constante de decomposição do carbono derivado da vegetação nativa; t 99% = tempo necessário para decompor 99% da fração biodegradável do CdVN (anos).

A área estudada apresenta uma situação diferenciada em relação às outras duas. Apesar da predominância da fração biodegradável no CdVN e da pequena taxa de incorporação do CdP, o que poderia conduzir a um comportamento semelhante ao observado na área sob cana, o aumento nos estoques de carbono, observado ao longo do tempo para a área no Pantanal, pode ser explicado pela baixa taxa de decomposição estimada, a menor das três situações (0,041), sugerindo a existência de fatores limitantes à atividade decompositora das populações microbianas do solo. Esse fator pode ser exemplificado pelo cálculo do tempo necessário para decompor 99% da fração biodegradável do CdVN, constante na Tabela 2, que é de 4,25 anos, 45,5 anos e 113,7 anos para, respectivamente, as áreas do Amazônia e São Paulo e do Pantanal.

O modelo utilizado constitui-se num modelo aproximativo. É mais uma expressão de resultados para procurar entender um pouco desse complexo processo chamado decomposição da matéria orgânica do solo. Não pode servir como modelo especulativo ou predictivo, pois foi estabelecido a partir de apenas três pontos, o que conduz a imprecisões. A simulação matemática é apenas teórica, baseada, contudo, em dados reais. A consideração de uma fração estável (CdVNe) é uma simplificação de uma cinética complexa. Porém é mais justo supor que a matéria orgânica é constituída de um único compartimento (Cerri, 1986).

Conclusões

1. O conteúdo da matéria orgânica do solo, expresso em t C/ha, com a introdução da pastagem aumentou em 55% para a camada de 0-40 cm, após 20 anos de cultivo.
2. Considerando-se a camada de 0-20 cm, após 10 anos de cultivo 49% do carbono do solo é originário da vegetação nativa; após 20 anos de cultivo, esse percentual é de 29%.
3. A aplicação do modelo de evolução do carbono orgânico baseado no $\delta^{13}\text{C}$ mostrou que o carbono derivado da vegetação nativa possui uma fração estável pequena, 4,6% em relação ao total, e a decomposição da fração biodegradável é lenta, apresentando um k_f igual a -0,041. Além disso foi estimada em 1,0 t/ha a incorporação anual de carbono pela pastagem no solo.

Referências Bibliográficas

- ANDREUX, F.; CERRI, C. C. Current trends in the research on soil changes due to deforestation, burning and cultivation in the Brazilian tropics. *Toxicology and Environmental Chemistry*, v. 20, p. 275-283, 1989.
- ANDREUX, F.; CERRI, C.; VOSE, P. B.; VITORELO, V. A. Potencial of isotopic methods for determining input and turnover in soils. In: HARRISON, A.; INESON, P.; HEAL, O. W. (Ed.). **Nutrient cycling in terrestrial ecosystems: field methods, application and interpretation**. Essex: Elsevier Sci. Pub., 1990. p. 259-275.
- BALESSENT, J.; MARIOTTI, A.; GUILLET, B. Natural $\delta^{13}\text{C}$ abundance as a tracer for studies of soil organic matter dynamics. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 19, p. 25-30, 1987.
- BATJES, N. H. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *European Journal of Soil Science*, v. 47, n. 2, p. 151-163, 1996.
- BERNOUX, M.; ARROUAYAS, D.; VOLKOFF, B.; JOLIVET, C. Bulk densities of Brazilian Amazon soils related to other soil properties. *Soil Science Society of America Journal*, v. 62, p. 743-749, 1998.
- CAMARGO, P. B.; TRUMBORE, S.; MARTINELLI, L. A.; DAVIDSON, E. A.; NEPSTAD, D. C.; VICORIA, R. L. Soil carbon dynamics in regrowing forest of eastern Amazonia. *Global Change Biology*, v. 5, p. 693-702, 1999.
- CAMPBELL, C. A. Soil organic carbon, nitrogen and fertility. In: SCHINITZER, M.; KHAN, S. U. (Ed.). **Soil Organic Matter**. New York: Elsevier Sc. Pub., 1978. p 173-271.
- CERRI, C. C.; VOLKOFF, B.; EDUARDO, B. P. Efeito do desmatamento sobre a biomassa microbiana em latossolo amarelo da Amazônia. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 9, p. 1-4, 1985.
- CERRI, C. C. **Dinâmica da Matéria Orgânica do Solo no Agrossistema de Cana-de-Açúcar**. (Tese) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiróz, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1986.
- CERRI, C. C.; ANDREUX, F. Changes in organic carbon content in oxisols cultivated with sugar cane and pasture, based on ^{13}C natural abundance measurement. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 14., 1990, Kyoto, Japan. *Anais...* [S.l.: s.n], 1990. p. 98-103.
- CERRI, C. C.; FELLER, C.; CHAUVEL, A. Evolução das principais características de um latossolo vermelho-escuro após desmatamento e cultivo por doze e cinquenta anos com cana-de-açúcar. *Cashiers ORSTOM: série Pedologie*, v. 26, p. 37-50, 1991.
- CHONE, T.; ANDREUX, F.; CORREA, J. C.; VOLKOFF, B.; CERRI, C. C. Changes in organic matter in an oxisol from central Amazonian forest during eight years under pasture determined by ^{13}C composition. In: BERTHELIN, J. (Ed.). **Diversity of environmental biogeochemistry**. New York: Elsevier, 1991. p. 397-405.
- CUNHA, N. G. **Considerações sobre os solos da sub-região da Nhecolândia, Pantanal Matogrossense**. Corumbá, MS: EMBRAPA-UEPAE Corumbá, 1980 p.
- DESJARDINS, T.; CARNEIRO, A.; MARIOTTI, A.; CHAUVEL, A.; GIRARDIN, C. Changes of the forest-savanna boundary in Brazilian Amazonia during the Holocene revealed by stable isotope ratios of soil organic carbon. *Oecologia*, v. 108, n. 4, p. 749-756, 1996.
- DETWILLER, R. P. Land use changes and the global carbon cycle: the role of tropical soils. *Biogeochemistry*, v. 2, p. 67-93, 1986.
- DZUREC, R. S.; BOUTTON, T. W.; CALDWELL, M. M.; SMITH, B. N. Carbon isotope ratios of soil organic matter and their use in assessing community composition changes in Curley Valley, Utah. *Oecologia*, v. 66, p. 17-24, 1985.
- EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária do Pantanal (Corumbá, MS). **Plano Diretor do CPAP**. Brasília, DF. 1993. 41p.
- EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária do Pantanal. **Boletim Agrometeorológico: 1986-1996** (Fazenda Nhumirim). Corumbá: Embrapa-CPAP, 1996. 70 p.
- EMBRAPA. Centro Nacional e Pesquisa em Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília, DF : Embrapa-SPI; Rio de Janeiro: Embrapa-Solos, 1999. 412 p.
- FISHER, M. J.; RAO, I. M.; AYARZA, M. A.; LASCANO, C. E.; SANZ, J. I.; THOMAS, R. J.; VERA, R. R. Carbon storage by introduced deep-rooted grasses in the South American savannas. *Nature London*, v. 371, n. 6494, p. 236-238, 1994.
- JENNY, H. **The Soil Resource**. New York: Springer-Verlag, 1980 p.
- LUGO, A. E.; BROWN, S. Management of tropical soils as sink or sources of atmosphere carbon. *Plant and Soil*, v. 149, p. 27-41, 1993.
- MANN, L. K. Changes in soil carbon storage after cultivation. *Soil Science*, v. 142, p. 279-288, 1986.
- MARTINELLI, L. A.; PESSENDA, L. C. R.; ESPINOZA, E.; CAMARGO, P. B.; TELLES, E. C.; CERRI, C. C.; VICTORIA, R. L.; ARAVENA, R.; RICHEY, J.; TRUMBORE, S. Carbon-13 variation with depth in soils of Brazil and climate change during the quaternary. *Oecologia*, v. 106, n. 3, p. 376-381, 1996.
- MARTINS, P. F. S.; CERRI, C. C.; VOLKOFF, B.; ANDREUX, F. Consequências do cultivo e do pousio sobre a matéria orgânica do solo sob floresta natural na Amazônia Oriental. *Acta Amazônica*, v. 2, p. 19-28, 1990.
- MORAES, J. F. L. **Conteúdos de Carbono e Tipologia de Horizontes nos Solos da Bacia Amazônica**. (Tese) - Centro de Energia Nuclear de Agricultura, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1991.
- ORIOLO, A. L.; AMARAL FILHO, Z. P.; OLIVEIRA, A. B. Pedologia: levantamento exploratório de solos. In: RADAMBRASIL, B. M. D. M. E. E. S. G. P. (Ed.). **Folha SE.21. Corumbá e parte da folha SE.20: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra**. Rio de Janeiro:[s.n], 1982. p. 225-328.(Levantamento dos Recursos Naturais, 27).

- POST, W. M.; EMANUEL, W. R.; ZINKE, P. J.; STANGENBERGER, A. G. Soil carbon pool and world life zones. **Nature**, v. 298, p. 156-159, 1982.
- SANCHEZ, P. A. **Properties and Management of Soils in the Tropics**. New York, NY: John Wiley e Sons, 1976 p.
- SANCHEZ, P. A.; VILLACHICA, J. H.; BANDY, D. E. Soil fertility dynamics after clearing a tropical rainforest in Peru. **Soil Science Society of America Journal**, v. 47, p. 1171-1178, 1983.
- SANCHEZ, P. A.; PALM, W. J.; SZOTT, L. T.; CUEVAS, E.; LAL, R. Organic input management in tropical agroecosystem. 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. 135-162.
- SCHIMMEL, D. S. Terrestrial Ecosystems and the Carbon-Cycle. **Global Change Biology**, v. 1, n. 1, p. 77-91, 1995.
- SCHLESINGER, W. H. Changes in soil carbon storage and associated with disturbance and recovery. In: TRABALKA, J. R.; REICHLER, D. E. (Ed.). **Changing carbon cycle**. New York: Springer, 1986. p. 194-220.
- SILVA, J. S. V.; ABDON, M. M. Delimitação do Pantanal brasileiro e suas sub-regiões. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, p. 1703-1712, 1998.
- SILVA, J. S. V.; ABDON, M. M.; SILVA, M. P.; ROMERO, H. R. Levantamento do desmatamento no Pantanal brasileiro até 1990/91. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, p. 1739-1745, 1998.
- SOMBROEK, W. G.; NACHTERGAELE, F. O.; HEBEL, A. Amounts, Dynamics and Sequestering of Carbon in Tropical and Subtropical Soils. **Ambio**, v. 22, n. 7, p. 417-426, 1993.
- TEIXEIRA, L. B.; BASTOS, J. B. **Matéria orgânica nos ecossistemas de floresta primária e pastagens na Amazônia Central**. Belém, PA: Embrapa/CPATU, 1989. 26 p. (Boletim de Pesquisa, 99).
- TIESSEN, H.; CUEVAS, E.; CHACON, P. The role of soil organic matter in sustaining soil fertility. **Nature**, v. 371, p. 783-785, 1994.
- VAN VEEN, J.A.; PAUL, E.A. Organic carbon dynamics in grassland soils. I. Background information and computer simulation. **Can. J. Soil Sci.**, v.61, p. 185-201, 1981.
- VELDKAMP, E. Organic carbon turnover in tropical soils under pastures after deforestation. **Soil Science Society of America Journal**, v. 158, p. 180-186, 1994.
- VICTORIA, R. L.; MARTINELLI, L. A.; TRIVELIN, P. C. O.; MATSUI, E.; FORSBERG, B. R.; RICHEY, J. E.; DEVOL, A. H. The Use of Stable Isotopes in Studies of Nutrient Cycling - Carbon Isotope Composition of Amazon Varzea Sediments. **Biotropica**, v. 24, n. 2, p. 240-249, 1992.
- VOLKOFF, B.; CERRI, C. C. Carbon Isotopic Fractionation in Subtropical Brazilian Grassland Soils - Comparison with Tropical Forest Soils. **Plant and Soil**, v. 102, n. 1, p. 27-31, 1987.
- WHEETING, L. C. Changes in organic matter in western Washington soils as a result of cropping. **Soil Science**, v. 44, p. 139-149, 1937.
- YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analyses**, v. 19, p. 1467-1476, 1989.



**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Centro de Pesquisa Agropecuária do Pantanal**

Ministério da Agricultura, Pecuária e do Abastecimento

Rua 21 de Setembro, 1880 - Caixa Postal 109

CEP 79320-900 - Corumbá-MS

Fone (067)3233-2430 Fax (067) 3233-1011

<http://www.cpap.embrapa.br>

[email: sac@cpap.embrapa.br](mailto:sac@cpap.embrapa.br)

**Ministério da Agricultura,
Pecuária e Abastecimento**

