

Influência de Pastagens e Sistemas de Produção de Grãos, no Estoque de Carbono e Nitrogênio em um Latossolo Vermelho



República Federativa do Brasil

Luiz Inácio Lula da Silva
Presidente

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

Roberto Rodrigues
Ministro

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

Conselho de Administração

Luis Carlos Guedes Pinto
Presidente

Silvio Crestana
Vice-Presidente

Alexandre Kalil Pires
Cláudia Assunção dos Santos Viegas
Ernesto Paterniani
Hélio Tollini
Membros

Diretoria Executiva

Silvio Crestana
Diretor Presidente

José Geraldo Eugênio de França
Kepler Euclides Filho
Tatiana Deane de Abreu Sá
Diretores Executivos

Embrapa Agrobiologia

José Ivo Baldani
Chefe Geral

Eduardo Francia Carneiro Campello
Chefe Adjunto de Pesquisa e Desenvolvimento

Rosângela Stralotto
Chefe Adjunto Administrativo



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Centro Nacional de Pesquisa em Agrobiologia
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

ISSN 1676-6709

Janeiro/2006

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 11

**Influência de Pastagens e Sistemas de Produção
de Grãos, no Estoque de Carbono e Nitrogênio
em um Latossolo Vermelho**

Claudia Pozzi Jantalia
Lorival Vilela
Bruno José Rodrigues Alves
Robert Michael Boddey
Segundo Urquiaga

Seropédica – RJ

2006

Exemplares desta publicação podem ser adquiridas na:

Embrapa Agrobiologia

BR465 – km 7

Caixa Postal 74505

23851-970 – Seropédica/RJ, Brasil

Telefone: (0xx21) 2682-1500

Fax: (0xx21) 2682-1230

Home page: www.cnpab.embrapa.br

e-mail: sac@cnpab.embrapa.br

Comitê Local de Publicações: Eduardo F. C. Campello (Presidente)
José Guilherme Marinho Guerra
Maria Cristina Prata Neves
Verônica Massena Reis
Robert Michael Boddey
Maria Elizabeth Fernandes Correia
Dorimar dos Santos Félix (Bibliotecária)

Expediente:

Revisores e/ou ad hoc: Ricardo Trippia dos Guimarães Peixoto e João
Paulo Guimarães Soares

Normalização Bibliográfica: Dorimar dos Santos Félix

Editoração eletrônica: Marta Maria Gonçalves Bahia

1ª impressão (2006): 50 exemplares

J54i Jantalia, Claudia Pozzi

Influência de pastagens e sistemas de produção de grãos, no estoque de carbono e nitrogênio em um latossolo vermelho / Lorival Vilela, Bruno José Rodrigues Alves, Robert Michael Boddey, Segundo Urquiaga. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2006. 50 p. (Embrapa Agrobiologia. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 11).

ISSN 1676-6709

1. Pastagem. 2. Sistema de produção. 3. Latossolo vermelho. I. Vilela, L., colab. II. Alves, B. J. R., colab. III. Boddey, R. M., colab. IV. Urquiaga, S., colab. V. Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Agrobiologia (Seropédica, RJ). VI. Título. VII. Série.

CDD 633.202

VIERA-VARGAS, M. S.; SOUTO, C. M.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Quantification of the contribution of N₂ fixation to tropical forage legumes and transfer to associated grass. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 27, p. 1193-1200, 1995.

VILELA, L.; BARCELOS, A. O.; SOUSA, D. M. G. **Benefícios da integração entre lavoura e pecuária**. Planaltina, DF: EMBRAPA Cerrados, 2001. 21 p. (EMBRAPA Cerrados. Documentos, 42).

VITORELLO, V. A.; CERRI, C. C.; ANDERSON, F.; FELLER, C.; VICTORIA, R. L. Organic matter and natural carbon-13 distribution in forested and cultivated oxisols. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 53, p. 773-778, 1989.

VOLKOFF, B.; MATSUI, E.; CERRI, C. C. Discriminação isotópica do carbono no humus de latossolo e podzol da região Amazônica do Brasil. In: COLÓQUIO REGIONAL SOBRE MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO, 1982, Piracicaba. **Anais...** Piracicada: ESALQ, 1982. p. 147-154.

ZIMMER, A. H.; CORREA, E. S. A pecuária nacional, uma pecuária de pasto? In: ENCONTRO SOBRE RECUPERAÇÃO DE PASTAGENS, 1., 1993, Nova Odessa. **Anais...** Nova Odessa: Instituto de Zootecnia, 1993. p. 1-26.

SUMÁRIO

Resumo	4
Abstract.....	5
Introdução.....	6
Material e Métodos	10
Descrição da área experimental.....	10
Amostragem e preparo das amostras de solo.....	14
Cálculos do estoque de Carbono e Nitrogênio no perfil do solo sob os tratamentos	15
Estimativa da proporção de carbono do solo derivado da vegetação nativa original	16
Análise estatística.....	17
Resultados e Discussão.....	18
Parâmetros químicos e densidade do solo sob cerrado e sob os diferentes tratamentos	18
Distribuição dos teores de Carbono e Nitrogênio no perfil do solo.....	21
Estoques de Carbono e Nitrogênio totais do solo.....	25
Abundância natural de ¹³ C no perfil do solo.....	32
Estimativa da proporção de carbono da matéria orgânica do solo derivada da vegetação nativa.....	34
Conclusões.....	42
Referências Bibliográficas.....	43

Influência de Pastagens e Sistemas de Produção de Grãos, no Estoque de Carbono e Nitrogênio em um Latossolo Vermelho

Claudia Pozzi Jantalia¹
Lorival Vilela²
Bruno José Rodrigues Alves³
Robert Michael Boddey³
Segundo Urquiaga³

Resumo

Na agricultura tropical a matéria orgânica do solo (MOS) tem grande importância na manutenção da produtividade das culturas, pela sua influência em vários atributos do solo, como fertilidade, estabilidade de agregados, infiltração e retenção de água e atividade biológica do solo. Neste estudo o objetivo foi determinar o efeito de diferentes sistemas de uso e manejo do solo, no estoque de C e N total do solo (Latosolo Vermelho) de 0-100 cm de profundidade, em experimento com 11 anos conduzido em Planaltina (DF). Os sistemas estudados foram: S1- pastagem em monocultivo de gramíneas, S2- pastagem consorciada, ambos com 2 níveis de fertilização (V=30%+PK e V=50%+PK), S3- integração lavoura - pecuária e S4- lavoura contínua, ambos subdivididos em plantio direto (PD) e preparo convencional (PC). Foram determinados os efeitos na manutenção e na renovação do carbono da MOS. Em relação ao cerrado, a pastagem de brachiária com fertilização V=30%+PK, apresentou uma redução no estoque de C e N, enquanto na pastagem consorciada com fertilização V=50%+PK houve um acréscimo no estoque de N. Os tratamentos que apresentaram a maior redução no estoque de carbono derivado da vegetação original foram as pastagens em monocultivo e consorciada com o nível de fertilização V=30%+PK. Entre os tratamentos de pastagem com fertilização V=50%+PK foram aqueles com maior potencial de acúmulo/manutenção de C e N no solo, enquanto S1 V=30%+PK e lavoura em PC o menor potencial. Nas pastagens consorciadas, o C derivado de estilosantes representou 37% do C total da MOS derivado de resíduos.

Termos de indexação: matéria orgânica do solo, pastagem consorciada, integração lavoura pecuária.

¹ Pós-Doutoranda da Embrapa Agrobiologia / CNPq

² Pesquisador da Embrapa Cerrados, BR 020, km 18, CEP 73310-970, Planaltina-DF. E-mail: lvilela@cpac.embrapa.br

³ Pesquisadores da Embrapa Agrobiologia, BR 465, km 7, CEP 23851-970, Seropédica-RJ. E-mail: bruno@cpab.embrapa.br; bob@cpab.embrapa.br; urquiaga@cpab.embrapa.br

SMITH, J. L.; MYUNG, H. U. Rapid procedures for preparing soil and KCl extracts for ¹⁵N analysis. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Boca Raton, v. 21, p. 2273-2279, 1990.

SOUZA, W. J. O.; MELO, W. J.; GATTO, R. H.; CHELLI, R. A.; LEITE, S. A. S. Estudo de carbono orgânico em diferentes sistemas de produção envolvendo semeadura direta e convencional, num Latossolo Roxo cultivado por cinco anos consecutivos. In: ENCONTRO BRASILEIRO SOBRE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS, 2., 1997, São Carlos. **Anais...** São Carlos: EMBRAPA-CNPq, 1997. p. 136.

STUIVER, M.; BRAZIUNAS, T. F. Tree cellulose ¹³C/¹²C isotope ratios and climate change. **Nature**, London, v. 328, p. 58-60, 1987.

TARRÉ, R. M.; MACEDO, R.; CANTARUTTI, R. B.; RESENDE, C. P.; PEREIRA, J. M.; FERREIRA, E.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. The effect of the presence of a forage legume on nitrogen and carbon levels in soils under *Brachiaria* pastures in the Atlantic forest region of the south of Bahia, Brazil. **Plant and Soil**, Netherlands, v. 234, p. 15-26, 2001.

URQUIAGA, S.; CADISCH, G.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M.; GILLER, K. E. Influence of decomposition of roots of tropical forage species on the availability of soil nitrogen. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 30, p. 2099-2106, 1998.

VALLIS, I. Soil nitrogen changes under continuously grazed legume-grass pastures in subtropical coastal Queensland. **Australian Journal Experimental Agriculture and Animal Husbandry**, Victoria, v. 12, p. 495-501, 1972.

VELDKAMP, E. Organic carbon turnover in three tropical soil under pasture after Deforestation. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 58, p. 175-180, 1994.

VIEIRA, M. J. Propriedades físicas do solo. In: PLANTIO direto no estado do Paraná. Londrina: IAPAR, 1981. p. 19-32. (IAPAR. Circular, 23).

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.

SALTON, J. C.; HERNANI, L. C.; BORGES, E. P.; PAIVA, C. Avaliação do sistema de plantio direto na sucessão de soja sobre pastagem de braquiária. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., 1995, Viçosa. **Anais...** Viçosa: SBCS, 1995. p. 1816-1818.

SANO, E. E.; BARCELLOS, A. de O.; BEZERRA, H. S. **Área e distribuição espacial de pastagens cultivadas no Cerrado brasileiro**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 1999. 21 p. (Embrapa Cerrados. Boletim de Pesquisa, 3).

SÉGUY, L.; BOUZINAC, S. O plantio direto no cerrado úmido. **Informações Agrônomicas**, Campinas, n. 69, p. 1-4, 1995.

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 cerrado do oeste baiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 18, p. 541-547, 1994.

SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S.; CORAZZA, E. J.; VIVALDI, L. Carbon storage in clayey Oxisol cultivated pastures in the "Cerrado" region, Brazil. **Agriculture Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 103, p. 357-363, 2004.

SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S. Plantio direto no cerrado. In: PEIXOTO, R. T. G.; AHRENS, D.C.; SAMAHA, M. J. (Ed.). **Plantio direto o caminho para uma agricultura sustentável**. Londrina: IAPAR, 1997. p. 41-68.

SISTI, C. P. J. **Influência de sistemas de preparo do solo e manejo de culturas sobre o estoque de carbono e nitrogênio do solo em diferentes condições agrícolas**. 2001. 280 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ.

Effect of Pastures and Tillage Systems on Carbon and Nitrogen Stocks in an Oxisol

Abstract

In tropical agriculture the soil organic matter influences several soil parameters, such as fertility, structural stability, water infiltration and retention, and biological activity, all of which contribute to the maintenance of crop productivity. The objective of this study was to determine the effect of different soil use and management systems on C and N stock in an Oxisol to a depth of 0-100 cm, in a long term experiment (11 yr) located in Planaltina (DF). Another evaluation was to determine the effects of this system on the soil carbon maintenance and renewal. The soil use and management systems evaluated were grass- only (S1) and mixed grass/legume (S2) pastures with two levels of fertilization (V=30%+PK - F1, V=50%+NPK -F2), pasture/crop systems (S3) and continuous cropping (S4) subdivided in zero tillage (ZT) and conventional tillage (CT), and undisturbed Cerrado area. The total soil C and N stocks of 0-100 cm were significantly lower in the grass pasture with lower fertilization (S1F1) in relation to undisturbed Cerrado, while the mixed pasture with fertilisation V=50%+NPK (S2F2) had significantly higher C and N stocks. The grass and mixed pastures with the fertilization level V=30%+PK had a lower amount of soil C derived from Cerrado in relation to the other treatments. The treatments with grass and mixed pasture with fertilisation V=50%+NPK presented the greater potential to maintain or increase the C and N stocks while the S1F1 and continuous cropping under CT had a lower potential. In the mixed pastures, the soil C derived of estílicosantes represented 37% of total C of soil organic matter derived of residues.

Index terms: soil organic matter, mixed pasture, pasture-crop systems.

Introdução

A matéria orgânica é um dos fatores-chave para a fertilidade dos solos em regiões tropicais. Juntamente com fatores como água, nutrientes, qualidade das sementes, aspectos fitossanitários e outros, são essenciais para a sustentabilidade dos agroecossistemas. Na região dos cerrados a atividade agrícola está assentada em solos altamente intemperizados, e muitas vezes com teores tóxicos de alumínio, com baixa CTC, onde basicamente a matéria orgânica é o componente coloidal ao qual se atribui a maior parte da atividade de troca catiônica dos solos (70-95%). A acumulação de matéria orgânica no solo nesta região depende muito de um grande aporte de resíduos, uma vez que as condições climáticas específicas do cerrado, com um longo período de seca no inverno dificultam o crescimento vegetal.

No Brasil o cerrado possui uma área total de aproximadamente 117 milhões de hectares, dos quais pouco menos de 50 milhões de hectares são constituídos por pastagens (SANO et al., 1999). A substituição da vegetação natural pelas pastagens cultivadas representou uma alternativa para aumentar a produção de carne na região através da introdução de espécies vegetais forrageiras de origem africana que tiveram boa adaptação aos solos e ao clima. No entanto após um período de 3 a 5 anos, dependendo do manejo adotado, as pastagens apresentam redução na produtividade, que se evidencia por uma cobertura vegetal deficiente, expondo o solo diretamente aos raios solares, às intempéries (RESCK, 1997). O esgotamento da fertilidade química natural do solo e o manejo inadequado do rebanho estão entre as principais causas do declínio das pastagens, problema este bastante conhecido e estudado pelos técnicos mas ainda presente, pois os produtores não lhe têm dado a devida importância (BARCELLOS et al., 2001).

Por outro lado nas áreas de lavoura, principalmente quando é utilizado o arado de discos, observa-se um grande impacto na estrutura física e diminuição do teor de matéria orgânica do solo (SILVA et al., 1994, 2000; SILVA & RESCK, 1997; RESCK et al., 1995). Com objetivo de reverter este quadro, muitos agricultores vêm adotando o plantio direto (PD) (SÉGUY & BOUZINAC, 1995). A

OLIVEIRA, O. de C. **Parâmetros químicos e biológicos relacionados com a degradação de pastagens de *Brachiaria* spp. no Cerrado Brasileiro.** 2000. 300 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ.

PARRA, M. S. **Dinâmica de matéria orgânica e de nutrientes num Latossolo Roxo distrófico submetido aos sistemas de plantio convencional e direto e a diferentes sucessões de culturas.** 1996 150 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

RESCK, D. V. S. Matéria orgânica como fator preponderante no manejo e conservação do solo e da água na região dos cerrados. In: ENCONTRO BRASILEIRO SOBRE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS, 2., 1997, São Carlos. **Anais...** São Carlos: EMBRAPA–CNPDIA, 1997. p. 136.

RESCK, D. V. S.; FERREIRA, C. A.; GOMES, A. C.; SILVA, J. E. Efeito do plantio direto nas propriedades físicas de um latossolo vermelho-escuro argiloso sob vegetação de cerrados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., 1995, Viçosa. **Anais...** Viçosa: SBSCS, 1995. p. 1840-1842.

ROCHA, E. J. D.; SOUSA, D. M. G.; GOEDERT, W. J. Avaliação da fertilidade de solo submetido a sucessivos anos de cultivo sob sistema de plantio direto. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 25., REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 8., SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 6., REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 3., 2000, Santa Maria. **Biodinâmica do solo.** **Anais...** Santa Maria: SBSCS, 2000. CD-ROM.

ROSCOE, R.; BUURMAN, P. Tillage effects on soil organic matter in density fractions of a Cerrado oxisol. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 1771, p. 1-13, 2003.

ROSCOE, R.; BUURMAN, P.; VELTHORST, E. J.; PEREIRA, J. A. A. Effects of fire on organic matter in a "cerrado senso-stricto" from Southeast Brazil as revealed by changes in $\delta^{13}\text{C}$. **Geoderma**, Amsterdam, v. 95, p.141-160, 2000.

LIMA, E.; BODDEY, R. M.; DÖBEREINER, J. Quantification of biological nitrogen fixation associated with sugar cane using a ^{15}N aided nitrogen balance. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 19, p. 165-170, 1987.

MACHADO, L. A. Z.; SALTON, J. C.; PRIMAVESI, O.; FABRÍCIO, A. C.; KICHEL, A. N.; MACEDO, M. C. M.; ZIMMER, A. H.; GUIMARÃES, C. M. Integração agricultura-pecuária. In: SALTON, J. C.; HERNANI, L. C.; FONTES, C. Z. (Coord.). **Sistema plantio direto: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília, DF: EMBRAPA-SPI, 1998. p. 217-232.

MAGNABOSCO, C. U.; BARCELLOS, A. O.; OLIVEIRA, I. P.; SAINZ, R. D.; VILELA, L.; FARIA, C. U.; COSTA, D. O. Desempenho do comportamento animal no sistema PIAP. In: WORKSHOP INTERNACIONAL PROGRAMA DE INTEGRAÇÃO AGRICULTURA E PECUÁRIA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DAS SAVANAS TROPICAIS, 2001, Santo Antônio de Goiás. **Anais...** Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA-CNPAP, 2001. p. 31-45. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 123; Embrapa Cerrados. Documentos, 28).

MELLO, J. S. Sistemas de produção animal integrados com sistemas agrícolas em Plantio direto. In: CONFERÊNCIA ANUAL DE PLANTIO DIRETO, 2., 1997, Pato Branco, PR. **Resumos...** Passo Fundo, RS: Editora Aldeia Norte, 1997. p. 7-16.

MODENESI, M. C.; MATSUI, E.; VOLKOFF, B. Relação $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ nos horizontes húmiferos superficiais e nos horizontes escuros profundos dos solo de Campos do Jordão, São Paulo, Brasil. In: COLÓQUIO REGIONAL SOBRE MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO, 1982, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: ESALQ, 1982. p. 155-160.

NEILL, C.; MELILLO, J.; STEUDLER, P. A.; CERRI, C. C.; MORAES, J. F. L.; PICCOLO, M. C.; BRITO, M. Soil carbon and nitrogen stocks following forest clearing for pasture in southwestern Brazilian Amazon. **Ecological Applications**, Washington, v. 7, p. 1216-1225, 1997.

evolução do PD como um sistema de manejo do solo no cerrado está dependendo de fontes eficientes de cobertura morta, premissa básica para o sucesso deste sistema, capazes de proteger plenamente a superfície do solo e ter uma decomposição mais lenta (LANDERS, 2000).

A integração lavoura-pecuária é uma prática que aliada ao plantio direto, tem contribuído para a viabilização da atividade rural sem grandes alterações na matéria orgânica do solo. A integração lavoura-pecuária pode ser definida como: "Sistema que integra as duas atividades com os objetivos de maximizar racionalmente o uso da terra, da infra-estrutura e da mão-de-obra; diversificar e verticalizar a produção; minimizar custos; diluir os riscos e agregar valores aos produtos agropecuários, através dos recursos e benefícios que uma atividade proporciona à outra" (MACHADO et al., 1998).

Nos anos 70, a implantação de pastagens na região do cerrado foi aliada à agricultura. Após a retirada da vegetação nativa, era realizado o plantio de arroz por um ou mais anos, visando à correção da fertilidade e à melhoria das condições do terreno, reduzindo assim os custos com a implantação das pastagens (HUTTON, 1984). Naquele período, o conceito de integração e/ou rotação entre agricultura e pastagens ainda não era bem assimilado, pois existia uma preocupação em ocupar a região e posteriormente em especializar e profissionalizar atividade de pecuária. As pastagens constituem-se na maior fonte de alimento para o rebanho bovino brasileiro, representando, na maioria dos sistemas a única fonte de forragem.

No início da década de 90, houve um agravamento dos problemas relacionados à perda de produtividade e degradação de pastagens. Já nesta época houve uma busca por alternativas técnicas que recuperassem ou revertissem esta situação. A rotação de culturas anuais com pastagens foi indicada como uma das alternativas para atingir este propósito (VILELA et al., 2001). Assim a integração dos sistemas de produção de grãos e a pecuária constituem num novo modelo para os agricultores, os pecuaristas e os profissionais da área técnica na região do cerrado. Para os pecuaristas, a

reestruturação do modelo de exploração apresenta entraves significativos em razão de limitações financeira, técnica e humana. A recomendação e a difusão de tecnologias, associando cultivos anuais com pastagens para restaurar a capacidade produtiva destas, apresenta maior facilidade de adoção. Além dos benefícios serem perceptíveis em curto prazo, permitindo a produção de grãos e seus subprodutos (resíduos de limpeza, palhadas, etc.) para composição da alimentação animal, o investimento em infraestrutura, máquinas e equipamentos pode ser minimizado pelo acordo de parcerias ou arrendamento da terra (KLUTHCOUSKI et al., 2002). No cerrado, essa corrente vem ganhando adeptos, principalmente entre os agricultores que buscam diversificar os sistemas de produção e superar os problemas advindos de cultivos anuais sucessivos, como pragas, plantas daninhas e doenças. O plantio direto de soja sobre pastagens em degradação tem sido adotado em outras regiões do Brasil. Segundo SALTON et al. (1995) este sistema está sendo validado e utilizado por produtores do Mato Grosso do Sul com resultados muito animadores, mostrando ser uma alternativa para simplificar e viabilizar a rotação de culturas anuais e pastagens.

Como uma das premissas do PD é a manutenção do solo coberto durante todo o ano, o cultivo de espécies forrageiras no inverno aumenta consideravelmente a oferta de forragem, enquanto as pastagens perenes encontram-se com capacidade reduzida, proporcionando assim a manutenção ou ganho de peso ou de produção de leite dos animais durante este período (MELLO, 1997).

Após a realização de pesquisas que buscavam avaliar o efeito de diferentes procedimentos para integrar as práticas utilizadas na lavoura e pecuária, na década de 80 foram divulgadas as primeiras recomendações técnicas para os agricultores. Uma destas recomendações foi o sistema Barreirão, que utilizava o preparo convencional do solo para o plantio das culturas. Os procedimentos preconizados pelo sistema Barreirão permitiam o cultivo de arroz de terras altas ou milho para implantação da *B. brizantha* foram um sucesso para recuperação das pastagens (MAGNABOSCO et al., 2001) contribuindo para uma diminuição do custo de recuperação. Recentemente os resultados de pesquisa obtidos em 2002, no

FRIEDLI, H.; MOOR, E.; OESCHGER, H.; SIEGENTHALER, U.; STAUFFER, B. $^{13}\text{C} / ^{12}\text{C}$ ratios in CO_2 extracted from Antarctic ice. **Geophysical Research Letters**, Washington, v. 11, p. 1145-1148, 1984.

GIL, J. L.; GUENNI, O.; ESPINOZA, Y. Biological N_2 -fixation by three tropical forage legumes and transfer to *Brachiaria humidicula* in mixed swards. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 29, p. 999-1004, 1997.

GOUVEIA, S. E. M.; PESSENDA, L. C. R.; ARAVENA, R.; BOULET, R.; SCHEELS-YBERT, R.; BENDASSOLI, J. A.; RIBEIRO, A. S.; FREITAS, H. A. Carbon isotopes in charcoal and soil in studies of paleovegetation and climate changes during the late Pleistocene and the Holocene in the southeast and centerwest regions of Brazil. **Global and Planetary Change**, Amsterdam, v. 33, p. 95-106, 2002.

HUTTON, E. M. Legumes for animal production from Brazilian pastures. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 21., 1984, Belo Horizonte. **Anais....** Belo Horizonte: SBZ, 1984. p. 137-138.

KLUTHCOUSKI, J.; COBUCCI, T.; AIDAR, H.; YOKOYAMA, L. P.; OLIVEIRA, I. P.; COSTA, J. L. S.; SILVA, J. G.; VILELA, L.; BARCELLOS, A. O.; MAGNABOSCO, C. U. **Integração lavoura-pecuária pelo consórcio de culturas anuais com forrageiras, em áreas de lavoura, nos sistemas direto e convencional**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2000. 28 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Circular Técnica, 38).

KLUTHCOUSKI, J.; COBUCCI, T.; AIDAR, H. Sistema Santa Fé: consórcio lavoura e braquiária. In: REUNIÃO DE PESQUISADORES EM CONTROLE DE PLANTAS DANINHAS NOS CERRADOS, 14., 2002, Santo Antônio de Goiás. **Anais...** Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2002. p. 248-254. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 133).

LANDERS, J. N. Cerrado: retrospectiva e perspectivas. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v. 59, p. 46-47, 2000.

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

CHAPUIS-LARDY, L.; BROSSARD, M.; LOPES ASSAD, M. L.; LAURENT, J. Y. Carbon and phosphorus stocks of clayey ferralsols in Cerrado native and agroecosystems, Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 92, p. 147-158, 2002.

CORAZZA, E. J.; SILVA, J. E.; RESK, D. V. S.; GOMES, A. C. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 23, p. 425-432, 1999.

DESJARDINS, T.; ANDEUX, F.; VOLKOFF, B.; CERRI, C. C. Organic carbon and ¹³C contents in soils and soil size-fractions, and their changes due to deforestation and pasture installation in eastern Amazonia. **Geoderma**, Amsterdam, v. 61, p. 103-118, 1994.

ELTZ, F. L. F.; PEIXOTO, R. T. G.; JASTER, F. Efeitos de sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas e químicas de um Latossolo Bruno álico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 13, p. 259-267, 1989.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solos. **Manual de métodos e análise do solo**. Rio de Janeiro, 1979. Não paginado.

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, p. 236-238, 1994.

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

Programa de Integração de Agricultura e Pecuária da Embrapa Arroz e Feijão, e Embrapa Cerrados, demonstraram bons resultados com um sistema de recuperação onde a implantação das culturas é realizada com manejo do solo em plantio direto. Este sistema foi denominado de Santa Fé, que juntamente com uma suplementação mineral, mostraram um ganho expressivo no peso dos animais em comparação com a média da região do cerrado, onde os animais mal conseguem manter seu peso ou, até mesmo, apresentam quedas provenientes da má qualidade da forragem disponível (KLUTHCOUSKI et al., 2000).

O sistema Santa Fé, implantado anualmente, consiste no cultivo consorciado de culturas anuais, em geral, sorgo, milheto, arroz de terras altas e soja, com espécies forrageiras, principalmente as Brachiarias, em áreas agrícolas, em solos parcialmente ou devidamente corrigido. As práticas que compõem o sistema minimizam a competição precoce da forrageira, evitando redução do rendimento das culturas anuais e permitindo, após a colheita destas, uma produção forrageira abundante e de alta qualidade que poderá abrigar parte representativa do rebanho bovino no período seco, inclusive para a produção de novilho precoce a pasto (KLUTHCOUSKI et al., 2002). Para que a exploração de um sistema de integração lavoura-pecuária seja efetuada com êxito, igual atenção deverá ser dada à qualidade genética do rebanho que utilizará essa melhor oferta de resíduos agrícolas e de forragem propiciados pelo sistema. Dessa maneira, espera-se que a produtividade global (grãos, pastagens e carne por hectare) em áreas que utilizem os sistemas de integração atinja níveis adequados para a sustentabilidade da atividade agropecuária no bioma cerrado, reduzindo a pressão no aumento da fronteira agrícola brasileira.

Neste sentido, o objetivo deste estudo foi determinar o efeito de diferentes sistemas de uso e manejo do solo, no estoque de C e N total do solo de 0-100 cm de profundidade em um Latossolo Vermelho. Foram determinados também os efeitos que estes sistemas acarretaram na manutenção e na renovação do carbono da matéria orgânica do solo, após 11 anos da substituição da

vegetação de cerrado em um experimento de longa duração, conduzido em Planaltina, Distrito Federal.

Material e Métodos

Para o presente estudo, foram selecionados alguns tratamentos de um experimento de longo prazo conduzido por pesquisadores da Embrapa Cerrados, localizada em Planaltina, Distrito Federal.

Descrição da área experimental

O experimento foi desenvolvido na estação experimental da Embrapa Cerrados, no município de Planaltina (DF). A área localiza-se a 1200 m acima do nível do mar a 15° 35'S e 47° 42'30"W. O experimento iniciou-se em 1991 quando uma área de cerrado virgem foi desmatada para estabelecer os tratamentos de pastagens e culturas produtoras de grãos. A média pluviométrica anual está entre 1400 e 1600 mm, com 90% das chuvas ocorrendo entre os meses de outubro e abril, sendo novembro, dezembro e janeiro os meses mais chuvosos (>200mm por mês). A temperatura média é de 21°C, mantendo-se constante durante a maior parte do ano. Os meses de junho e julho são os mais frios (com média de 16°C/13°C, dia/noite) e Setembro é o mês mais seco e com média de dia/noite de 30°C/16°C. O solo é classificado como um Latossolo vermelho escuro argiloso. A mineralogia do solo é composta por argilas de carga variável, com cerca de 40% gibbsita, 30% caulinita e 6% goetita com a fração restante < 2 mm composta por quartzo.

Os sistemas de uso e manejo do solo avaliados foram: Sistema 1 (S1) = Pastagem contínua de monocultivo de gramínea; Sistema 2 (S2) = Pastagem consorciada (leguminosa/gramínea) contínua; Sistema 3 (S3) = rotação lavoura-pastagem (Integração lavoura – pecuária); Sistema 4 (S4) = Lavoura contínua; VN= área mantida nas suas condições originais de vegetação de cerrado nativo.

A gramínea utilizada entre os anos de 1991 e 1999 foi *Andropogon gayanus* cv. Planaltina, sendo substituída então por *B. decumbens*. Na implantação da pastagem consorciada foi plantada uma mistura de espécies leguminosas composta de: calopogônio (*Calopogonium mucunoides*), estilosantes (*Stylosanthes guianensis* cv Minerão),

de C e N no solo, enquanto os tratamentos S1F1 e S4PC resultaram nos menores estoques destes elementos.

Os tratamentos com pastagem em monocultivo e consorciada com fertilização V=30%+ PK (S1F1 e S2F1) foram aqueles que apresentaram os menores estoques de C derivado do cerrado, indicando que estes tratamentos foram aqueles com maior potencial de mineralização da matéria orgânica do solo.

Nas pastagens consorciadas, o C derivado de estilosantes na MOS representou 37% do C total da MOS derivado de resíduos, nos dois níveis de fertilização (F1 e F2).

Referências Bibliográficas

BALESDENT, J.; WAGNER, G. H.; MARIOTTI, A. Soil organic matter turnover in long-term field experiments as revealed by carbon-13 natural abundance. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 52, p. 118-124, 1988.

BARCELLOS, A. O.; VILELA, L.; LUPINACCI, A. V. Produção animal a pasto: desafios e oportunidades. In: ENCONTRO NACIONAL DO BOI VERDE, 3., 2001, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: Sindicato Rural de Uberlândia, 2001. p. 27-64.

BONDE, T. A.; CHRISTENSEN, B. T.; CERRI, C. C. Dynamics of soil organic matter as reflected by natural ¹³C abundance in particle size fraction of forested and cultivated oxisols. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 24, p. 275-277, 1992.

BREMNER, J. M.; MULVANEY, C. S. Nitrogen - Total. In: PAGE, A. L.; MILLER, R. H.; KEENEY, D. R. **Methods of soil analysis**. 2. ed. Madison: American Society of Agronomy, 1982. p. 595-641. (Agronomy, 9).

CADISCH, G.; GILLER, K. E. Estimating the contribution of legumes to soil organic matter build up in mixed communities of C₃/C₄ plants. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 28, p. 823-825, 1996.

Estes resultados de acréscimo de carbono no solo sob determinados sistemas de pastagens com gramíneas em condições tropicais indicam que os fatores que contribuíram para este acúmulo foram às características comuns e intrínsecas destes sistemas. As principais características dos sistemas de pastagens produtivas são: a baixa ou nenhuma movimentação do solo, com a produção de matéria seca em níveis adequados, que proporcionam a cobertura permanente do solo, além do bom enraizamento que as gramíneas estabelecem nas mais diversas condições de solo. No entanto a manutenção da capacidade produtiva da pastagem depende de aspectos ligados ao provimento adequado da demanda N, e de aspectos ligados ao manejo do pastejo desta pastagem como pressão de pastejo adequado e períodos de descanso, visando manter o vigor de rebrota das plantas.

Nos sistemas agrícolas com produção de grãos, localizados em regiões tropicais, o estudo de estratégias que minimizem a movimentação do solo e mantenham uma quantidade adequada de cobertura morta, pelo cultivo de plantas com bom potencial de produção de matéria seca, podem contribuir para a redução das perdas de C e N nestas condições.

Conclusões

Com o estudo de caso realizado neste experimento, foi possível estabelecer as seguintes conclusões:

Em relação ao estoque de C da área de cerrado, o tratamento de pastagem com V=30%+ PK (S1F1) apresentou uma redução significativa de 8 Mg C ha⁻¹ na camada de 0-40 cm, e de 14 Mg C ha⁻¹ entre 0-100 cm. O estoque de N na camada de 0-40 cm em S1F1 também foi significativamente menor. No tratamento S2F2 foi observado um acréscimo em relação ao cerrado, no estoque de N na camada 0-40 e 0-100 cm.

Entre os tratamentos, os estoques de C e N observados após 11 anos desde a implantação destes, determinaram os tratamentos de pastagem consorciada (S2F2, S2F1) e pastagem com V=50%+ NPK (S1F2) como aqueles com maior potencial de acúmulo/manutenção

soja perene (*Neonotonia wightii* cv. Comum) e *Centrosema brasilianum*. Após alguns meses o *Stylosanthes guianensis* foi a leguminosa dominante.

Foi utilizado o sistema rotacionado de pastejo. Os sistemas de preparo do solo utilizados no sistema 3 (S3) e 4 (S4) foram: PC = Preparo convencional (ano 1: arado de disco; ano 2: aiveca, ano 3: escarificador...), PD = Plantio direto (implantado após 1996). Foram utilizados dois níveis de fertilidade nos tratamentos de pastagem: **F1- V=30%+PK** - (correção da saturação de bases a 30%) + (20 kg ha⁻¹ de P₂O₅+50 kg ha⁻¹ de K) ano⁻¹; **F2- V=50%+NPK** - (correção da saturação de bases a 50%) + (20 kg ha⁻¹ de P₂O₅+ 50 kg ha⁻¹ de K + 60 kg ha⁻¹ de N) ano⁻¹; nas pastagens consorciadas não foi aplicado nitrogênio. O tratamentos com lavoura contínua receberam adubação corretiva gradual.

O delineamento experimental foi de blocos casualizados com duas repetições em parcelas subdivididas. Nas parcelas, estão os sistemas e nas subparcelas os níveis de fertilidade nos sistemas S1 e S2 e sistemas de preparo do solo em S3 e S4. A área de cada subparcela foi de 2000 m². No estabelecimento do experimento em 1991 foi aplicado calcário dolomítico na dose de 3,4 Mg ha⁻¹ para os tratamentos de V=30% + PK, e de 5,8 Mg ha⁻¹ para os tratamentos de V=50% + NPK. As pastagens e os cultivos também receberam baixas quantidades de fertilizantes com N, P, K e micronutrientes.

Em maio de 1995 o solo sob as pastagens consorciadas foi revolvido, para restabelecer estas pastagens e incrementar a presença de estilosantes, que foi a leguminosa que apresentou melhor desempenho. Em novembro de 1995 todos os sistemas de uso do solo foram cultivados com milho, visando recuperar as pastagens, principalmente em monocultivo. A seqüência de cultivos utilizada nos tratamentos de Integração Lavoura-Pecuária (S3) e Lavoura (S4) encontra-se na Tabela 1.

Tabela 1. Seqüências de cultivos nos sistemas de lavoura contínua e de integração lavoura- pecuária.

Anos	Seqüências de cultivos	
	Lavoura contínua (S3)	Integração Lavoura-Pecuária (S4)
1991	Soja	Soja
1992	Soja	Soja
1993	Milho	Milho
1994	Soja	Soja
1995	Milho	Milho
1996	Soja	Andropogon + leguminosa
1997	Milho	Andropogon + leguminosa
1998	Soja	Andropogon + leguminosa
1999	Soja	Soja
2000	Milheto	Milheto
2001	Soja	Soja
2002	Soja	Soja

A soma de todas as aplicações de fertilizantes nas adubações realizadas nos tratamentos no período entre 1991 e 2002 encontra-se na Tabela 2.

Para o presente estudo, é importante que além de apresentar um histórico anterior à instalação do experimento com cobertura vegetal semelhante, bem como de utilização do solo, as áreas envolvidas no estudo devem estar sob solos que pertençam à mesma classe textural.

Para constatar se o solo da área experimental e da área sob cerrado pertencem a mesma classe textural, foi determinado o conteúdo de areia. Para esta análise foram utilizadas as amostras do perfil de solo sob o cerrado, e nos tratamentos de pastagem em monocultivo (S1) e lavoura (S4) no PD, utilizando-se dispersão com hidróxido de sódio e peneira de malha de 0,053 mm (EMBRAPA, 1979). Os resultados da análise da porcentagem de areia do solo (Tabela 3)

deixado de avaliar efeitos que os sistemas de manejo podem ter apresentado em profundidade abaixo de 45 cm. Utilizando a técnica de abundância natural de ^{13}C , encontraram que a participação de C derivado do milho variou de 35% na camada de 0-5 cm a 18% na camada de 30-45cm, indicando que as raízes de milho podem ter se desenvolvido até camadas mais profundas influenciando a camada abaixo de 45 cm, como foi observado neste estudo, no caso da pastagem em monocultivo e mesmo consorciada. Os autores encontraram ainda que o estoque de C-C₄ foi de 20,7 Mg C ha⁻¹ em PD e 24,6 Mg C ha⁻¹ em PC, representado cerca de 21 e 24% do C total da camada de 0-45cm.

ROSCOE et al. (2001) encontraram que após 23 anos da instalação da pastagem substituição do C derivado do cerrado pelo carbono da gramínea foi de 36%, 34% e 19% nas camadas de 0-10, 10-25 e 70-100 cm respectivamente. Embora tenha ocorrido esta substituição do C original do solo, não foram observadas diferenças no estoque de C, o que foi atribuído a boa produção de biomassa que a pastagem apresentou durante os anos. Estes resultados confirmam o bom desenvolvimento radicular que as gramíneas podem apresentar, desde que os fatores limitantes como toxidez de alumínio e baixos teores de Ca e Mg sejam corrigidos. Estes resultados sugerem também que a taxa de renovação de C do solo foi alta, indicando que a dinâmica da MO é intensa nesta região.

Este resultado, juntamente com redução nos estoques de C em relação a uma condição original, indicam que nesta condição de solo e clima, a dinâmica de carbono orgânico do solo é intensa.

Diversos trabalhos realizados em áreas com pastagens produtivas em outras regiões brasileiras como BONDE et al. (1992) no Pará, DESJARDINS et al. (1994) no Amazonas, NEILL et al. (1997) em Rondônia, TARRÉ et al. (2001) na região Sul da Bahia, e países da América Latina, por VELDKAMP (1994) na Costa Rica; FISHER et al. (1994), na Colômbia tem demonstrado que estes sistemas podem, com o passar dos anos, aumentar o estoque de carbono do solo à quantidades semelhantes ou até superiores a condição de mata nativa.

Tabela 9. Estoque de carbono total, abundância natural de ^{13}C e estimativas do C derivado da matéria orgânica original e dos da gramínea (C_4) e estilosantes (C_3). Calculado de acordo com CADISCH & GILLER (1996), descrita no material e métodos.

Manejo/ Rotação	Intervalo	Total C	$\delta^{13}\text{C}$ do solo	Mg C ha ⁻¹ derivado: C ₃			$\delta^{13}\text{C}$ calculado dos resíduos
	(cm)	(Mg ha ⁻¹)	(‰)	MOS nativa	Estilosantes	Brachiaria	
S2F1							
	0-5	18,0	-18,86	10,1	1,5	6,4	-14,00
	5-10	15,5	-19,31	9,8	1,3	4,4	-14,35
	10-20	25,8	-19,55	18,5	3,1	4,2	-15,80
	20-30	17,2	-19,52	12,9	1,6	2,7	-15,34
	30-40	13,1	-19,62	10,8	0,4	1,9	-13,56
	40-60	24,0	-20,13	18,5	4,1	1,4	-18,41
Total				80,5	12,0	21,0	
S2F2							
	0-5	17,0	-19,31	12,6	0,0	5,3	-10,76
	5-10	14,7	-19,72	11,0	0,1	3,6	-12,34
	10-20	25,2	-20,08	19,0	3,6	2,6	-17,19
	20-30	20,1	-19,96	14,4	3,5	2,1	-17,53
	30-40	14,6	-19,89	12,0	1,0	1,6	-15,28
	40-60	23,6	-20,43	21,4	1,6	0,6	-18,26
Total				90,4	9,7	15,9	

Estes resultados confirmam as observações feitas por ROSCOE et al. (2000, 2001) e SISTI (2001), sobre a rápida ciclagem que a matéria orgânica do solo apresenta nesta região. Estes estudos indicaram uma rápida substituição do C da matéria orgânica original do solo e pelas altas taxas de material derivado dos resíduos incorporado na MOS. Estas taxas também podem ter sido elevada nos sistemas de lavoura, o que não foi possível quantificar.

Como citado anteriormente, o estudo desenvolvido por ROSCOE & BUURMAN (2003) avaliando o efeito do manejo do solo em duas áreas sob cultivo irrigado de milho e feijão até 45 cm, pode ter

demonstraram que o solo destas três áreas pertence à mesma classe textural.

Tabela 2. Quantidades totais de N, P_2O_5 , K_2O (kg ha⁻¹) adicionados pelos fertilizantes entre 1991-2002 utilizados nas adubações realizadas nos diferentes sistemas de uso e manejo do solo.

Sistemas de manejo	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
	-----kg ha ⁻¹ -----		
Nível de fertilidade 1			
Sistemas 1	40	164	84
Sistemas 2	0	164	104
Nível de fertilidade 2			
Sistemas 1	80	204	124
Sistemas 2	40	204	144
Tratamentos adubação corretiva gradual			
Sistemas 3	200	564	524
Sistemas 4	235	1023	937

Tabela 3. Conteúdo de areia no perfil do solo (0-100 cm) sob os tratamentos de pastagem (S1), lavoura no preparo convencional e sob cerrado.

Profundidade	Pastagem	Lavoura	Cerrado
(cm)		g kg ⁻¹	
0-10	330*	300	340
10-20	330*	330	320
20-30	310*	300	330
30-40	290*	310	300
40-60	270*	290	290
60-80	280*	270	290

Os valores representam a média de 4 repetições por tratamento

*Médias na mesma linha não diferem entre si pelo teste LSD de Student ($P < 0,05$).

Amostragem e preparo das amostras de solo

A amostragem do solo foi realizada em Abril de 2002. Foram retiradas 4 amostras compostas (4 sub-amostras) por tratamento, utilizando-se o trado holandês. Também foi amostrado um perfil de solo de uma área sob cerrado localizada próxima à área experimental.

O perfil de solo foi amostrado nos seguintes intervalos de profundidade: 0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-30, 30-40, 40-60, 60-80, 80-100 cm. Nas parcelas também foi determinada a densidade do solo de cada intervalo de profundidade amostrada com seis repetições por tratamento, utilizando o método do anel volumétrico descrito em EMBRAPA (1979). Para a retirada das amostras de densidade do solo foi aberta uma trincheira em cada tratamento com 1 metro de profundidade, 1 metro de largura e 1 metro de comprimento. As amostras foram secas em estufa a 110 °C por 72 horas e pesadas.

As amostras foram secas ao ar e inicialmente passadas em peneira de 2 mm. Nestas amostras foram realizadas as análises de rotina da fertilidade do solo como: pH em água, Al trocável, Ca + Mg trocáveis, Ca trocável, P assimilável e Potássio trocável. As análises foram realizadas no laboratório de solos da Embrapa Agrobiologia, conforme a metodologia descrita em EMBRAPA (1979). Para análise de carbono orgânico total (C), nitrogênio total (N) e $\delta^{13}\text{C}$ foram retiradas sub-amostras das amostras previamente peneiradas e este material foi triturado em moinho de rolagem até a pulverização, seguindo metodologia descrita por SMITH & MYUNG (1990).

A concentração de carbono orgânico total do solo foi determinada pelo método de combustão a seco em um auto-analisador de carbono, a 900°C (modelo CHN-600, LECO Corp.), no laboratório de solos da Embrapa Agrobiologia. O teor de carbono foi medido a partir da absorção de radiação infravermelha pelo CO_2 liberado na combustão. A cada 10 amostras o aparelho foi calibrado com amostras-padrão do laboratório.

Tabela 8. Abundância natural de ^{13}C e conteúdo de C total do solo (0-60 cm) sob lavouras com cultivo de milho - soja após 11 anos da substituição do cerrado. As proporções de C derivado do cerrado (original) e dos resíduos derivados de plantas C_4 foram calculadas com o modelo simples padrão (BALESDENT et al., 1988).

Sistema de uso do solo	Prof. (cm)	$\delta^{13}\text{C}$ do solo ‰	% C derivado de:		C Total Mg C ha ⁻¹	Mg C ha ⁻¹ derivado:	
			Original	C_4		original	C_4
S3PC	0-5	-20,45	79,27	20,73	15,3	12,15	3,18
	5-10	-20,23	80,59	19,41	14,4	11,58	2,79
	10-20	-20,51	94,40	5,60	23,7	22,37	1,33
	20-30	-19,68	86,09	13,91	18,9	16,24	2,62
	30-40	-20,01	90,08	9,92	15,0	13,50	1,49
	40-60	-20,07	93,36	6,64	21,9	20,45	1,45
	Total				109,16	96,30	12,86
S3PD	0-5	-20,50	79,71	20,29	16,5	13,14	3,34
	5-10	-20,99	88,03	11,97	14,1	12,40	1,69
	10-20	-20,78	97,39	2,61	24,2	23,58	0,63
	20-30	-20,36	93,77	6,23	19,6	18,38	1,22
	30-40	-20,34	93,76	6,24	15,5	14,53	0,97
	40-60	-20,63	99,78	0,22	22,0	21,99	0,05
	Total				111,92	104,03	7,90
S4PC	0-5	-20,63	80,98	19,02	14,8	12,00	2,82
	5-10	-20,92	87,34	12,66	13,4	11,72	1,70
	10-20	-21,00	99,84	0,16	23,4	23,33	0,04
	20-30	-20,45	94,73	5,27	16,4	15,53	0,86
	30-40	-20,24	92,66	7,34	13,2	12,22	0,97
	40-60	-20,29	95,88	4,12	20,8	19,98	0,86
	Total				102,02	94,78	7,24
S4PD	0-5	-21,63	90,34	9,66	15,1	13,63	1,46
	5-10	-21,37	91,70	8,30	12,8	11,78	1,07
	10-20	-20,93	99,06	0,94	24,5	24,27	0,23
	20-30	-20,76	98,26	1,74	22,4	21,97	0,39
	30-40	-20,70	97,81	2,19	16,5	16,10	0,36
	40-60	-20,41	97,30	2,70	21,5	20,90	0,58
	Total				112,73	108,65	4,09

Tabela 7. Abundância natural de ^{13}C e conteúdo de C total do solo (0-60 cm) sob pastagens e integração após 11 anos da substituição do cerrado. As proporções de C derivado do cerrado (original) e dos resíduos derivados de plantas C_4 foram calculadas com o modelo simples padrão (BALESDENT et al., 1988).

Sistema de uso do solo	Prof. (cm)	$\delta^{13}\text{C}$ do solo ‰	% C derivado de:		C Total Mg C ha ⁻¹	Mg C ha ⁻¹ derivado:	
			original	C_4		original	C_4
S1F1	0-5	-19,60	71,27	28,73	14,2	10,09	4,07
	5-10	-19,73	75,72	24,28	12,9	9,77	3,13
	10-20	-19,32	81,23	18,77	22,8	18,51	4,28
	20-30	-19,52	84,35	15,65	15,3	12,88	2,39
	30-40	-19,18	80,69	19,31	13,4	10,80	2,59
	40-60	-19,93	91,74	8,26	20,1	18,48	1,66
	Total				98,65	80,54	18,12
S1F2	0-5	-19,41	69,47	30,53	18,2	12,63	5,55
	5-10	-19,54	73,81	26,19	14,9	10,98	3,90
	10-20	-19,14	79,23	20,77	23,9	18,96	4,97
	20-30	-18,80	76,22	23,78	18,9	14,42	4,50
	30-40	-18,96	78,30	21,70	15,3	11,97	3,32
	40-60	-19,82	90,44	9,56	23,7	21,42	2,26
	Total				114,89	90,38	24,50
S2F1	0-5	-18,86	64,38	35,62	18,0	11,56	6,40
	5-10	-19,31	71,58	28,42	15,5	11,09	4,40
	10-20	-19,55	83,69	16,31	25,8	21,57	4,20
	20-30	-19,52	84,30	15,70	17,2	14,49	2,70
	30-40	-19,62	85,66	14,34	13,1	11,20	1,87
	40-60	-20,13	94,03	5,97	24,0	22,60	1,44
	Total				113,54	92,52	21,02
S2F2	0-5	-19,73	72,52	27,48	17,4	12,63	4,79
	5-10	-19,72	75,57	24,43	14,7	11,11	3,59
	10-20	-20,08	89,57	10,43	25,2	22,53	2,62
	20-30	-19,96	89,32	10,68	20,1	17,92	2,14
	30-40	-19,89	88,75	11,25	14,6	12,93	1,64
	40-60	-20,43	97,50	2,50	23,6	22,97	0,59
	Total				115,46	100,09	15,37

A concentração de nitrogênio do solo foi determinada em alíquotas de 1000 mg de solo utilizando-se o método de digestão semi-micro Kjeldahl (BREMNER & MULVANEY, 1982) em um destilador automático Kjeltex Auto-analyzer modelo 1030 (TECATOR). Em cada bloco digestor contendo 40 amostras foram analisadas duas amostras em branco e duas amostras-padrão (padrões de Laboratório) de solo para calibração da análise (LIMA et al., 1987).

A abundância isotópica de ^{13}C do solo foi determinada em alíquotas contendo entre 200 e 400 µg de carbono total, utilizando um espectrômetro de relação de massa isotópica de fluxo contínuo (espectrômetro de massa Finnigan DeltaPlus acoplado em um auto-analisador de C e N total Carlo Erba EA 1108).

Cálculos do estoque de Carbono e Nitrogênio no perfil do solo sob os tratamentos

Para comparar os estoques de carbono e nitrogênio no perfil do solo avaliado na condição de vegetação nativa e os sistemas agrícolas, foram feitos ajustes nas quantidades de solo em todos os tratamentos até as profundidades de 0-40 cm e de 0-100 cm avaliadas. As quantidades de solo avaliadas até 40 e 100 cm de profundidade nos perfis de solo da área sob vegetação nativa foram consideradas como a condição inicial do solo da área agrícola (cerrado), e serviram assim como a quantidade de solo referencial a ser utilizada para todos os tratamentos.

Este procedimento foi inicialmente recomendado por VALLIS (1972), e assume que a compactação decorrente das operações mecânicas é mais significativa nas camadas superficiais do perfil do solo. Assim o estoque de carbono e nitrogênio nos tratamentos agrícolas foi calculado subtraindo-se da camada mais profunda (80-100 cm) o conteúdo de C e N totais contidos na massa extra de solo desta profundidade.

Estimativa da proporção de carbono do solo derivado da vegetação nativa original

Para o presente estudo, os valores da abundância de ^{13}C do solo no perfil sob a vegetação de cerrado representaram a composição isotópica do solo anterior à instalação dos tratamentos. Para calcular o percentual de C da MOS derivado da vegetação nativa ($f\text{C}_{\text{dvn}}$) em cada intervalo de profundidade foi utilizado o modelo simples padrão (BALESDENT et al., 1988), determinando assim a proporção de C- C_3 da MOS derivado da vegetação nativa original (cerrado) e de C- C_4 da MOS derivado dos resíduos de pastagens e da cultura do milho/milheto. Assim, conhecendo-se os valores médios de $^{13}\text{C}_{\text{PDB}} (\text{‰})$ da MO do perfil de solo sob cerrado (δ_{VN}) e sob os tratamentos (δ), juntamente com os valores de $^{13}\text{C}_{\text{PDB}} (\text{‰})$ derivado dos resíduos (δ_{B}) das plantas C_4 podemos calcular a fração de C da MO derivada da vegetação nativa com a equação 1.

$$f\text{C}_{\text{dvn}} = (\delta - \delta_{\text{B}}) / (\delta_{\text{VN}} - \delta_{\text{B}}) \text{ Equação. 1.}$$

No tratamento com pastagem consorciada (S2) o C da MO do solo é composto por resíduos de três fontes - cerrado (C_3), estilosantes (C_3) e Brachiaria (C_4). Para diferenciar a fração de C- C_3 da MOS derivada dos resíduos de estilosantes da fração da MO original do solo, neste caso cerrado, foi utilizado o modelo proposto por CADISCH & GILLER (1996). Este modelo foi desenvolvido para avaliar o papel das leguminosas forrageiras consorciadas com pastagens de Brachiaria. Para aplicar o modelo proposto foi fundamental que existam tratamentos com monocultivo de pastagem (C_4) implantados simultaneamente ao tratamento de consórcio sob as mesmas condições de solo. Neste estudo será utilizado o tratamento sob pastagem contínua de monocultivo de gramínea (S1).

Neste modelo o estoque de C da MOS derivado da mata original sob o tratamento com a cultura C_4 (Brachiaria) foi calculado utilizando-se o modelo simples padrão, descrito acima (Equação 1). Em seguida foi suposto que após o mesmo período o estoque de C no solo derivado da mata sob a pastagem foi igual daquele sob a pastagem consorciada. Em outras palavras, a introdução da

Na Figura 6 observam-se os conteúdos de carbono provenientes de plantas C_3 e C_4 na camada de 0 a 100 cm de profundidade em todos os perfis de solo avaliados. Com exceção da pastagem consorciada, as quantidades referem-se apenas as plantas C_4 , do carbono total da camada de 0-100 cm de profundidade não sendo possível discriminar qual é o percentual das culturas C_3 em relação a vegetação de cerrado dentro da quantidade de C orgânico restante.

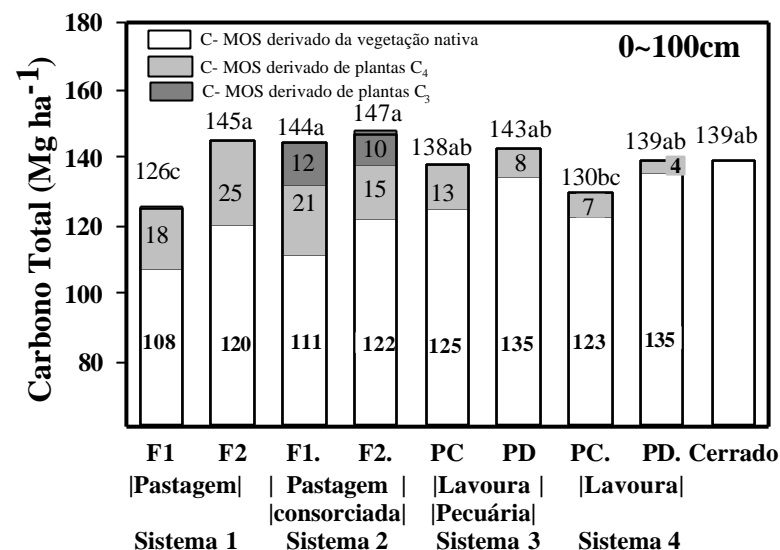


Figura 6. Estoque de carbono orgânico total e derivado de plantas C_4 no perfil de solo sob cerrado e nos diferentes tratamentos, na camada de 0-100 cm de profundidade

Os tratamentos S1F1 e S2F1 foram aqueles que apresentaram os menores estoques de C derivado da vegetação nativa, indicando que estes sistemas foram aqueles que interferiram mais intensamente na dinâmica da matéria orgânica do solo. A incorporação do C derivado dos resíduos no tratamento S2F1 resultou em um estoque de 33 Mg C ha^{-1} , o que sugere a manutenção do estoque de C total semelhante ao tratamento S2F2 foi dependente desta incorporação.

Nos tratamentos com integração lavoura-pastagem (S3) os resultados no percentual de C_4 em profundidade no preparo convencional confirmaram as observações do item anterior, sobre a influência do cultivo de milho e de pastagem entre 20 e 40 cm de profundidade. O estoque de C- C_4 neste tratamento foi de 12,9 Mg C_4 ha⁻¹ enquanto no tratamento em PD foi de 7,9 Mg C_4 ha⁻¹. Na lavoura contínua (S4) o tratamento sob preparo convencional também a influência do cultivo de milho, com os maiores percentuais de C- C_4 observados entre 20 e 40 cm de profundidade. Os estoques de C- C_4 nos tratamentos sob lavoura contínua foram os menores encontrados em todos os tratamentos pela presença da cultura do milho/milho em apenas 4 cultivos. Os estoques de C derivado destes cultivos foram de 7,24 Mg C_4 ha⁻¹ em PC, e 4 Mg C_4 ha⁻¹ no PD.

Quanto as estimativas de C derivado de estilosantes pela técnica desenvolvida por CADISCH & GILLER (1996), nos dois tratamentos os resíduos tiveram um percentual de 37% de participação no C derivado do resíduo de gramíneas + leguminosas total (Tabela 9).

Esta técnica desenvolvida por CADISCH & GILLER (1996), estima a quantidade de C_3 derivado da leguminosa em consórcio com gramínea, desde que exista uma pastagem em monocultivo que tenha sido instalada no mesmo período e que tenha um manejo parecido que servirá como referência. Com isto assume-se que a taxa de decomposição da MO original foi a mesma nas duas pastagens. Os resultados do balanço isotópico de $\delta^{13}C$ determinaram valores que refletem uma mistura de resíduos com uma forte presença de plantas C_4 , em quase todas as camadas dos tratamentos S2F1 e S2F2. Os valores obtidos na camada de 0-5cm em S2F2 foram discordantes, não refletindo o valores de $\delta^{13}C$ da Brachiaria que foi de -12,2‰. A análise do $\delta^{13}C$ de estilosantes foi de -28‰. Com utilização da pastagem de S1F1 como referência para o tratamento S2F1, assume-se que este tratamento também apresentou uma maior redução do C derivado da matéria orgânica derivada do cerrado. Esta redução foi intensa, considerando-se que a substituição do cerrado pela implantação do experimento ocorreu há apenas 11 anos.

leguminosa na pastagem não altera significativamente a taxa de decomposição do C no solo derivado da mata.

A proporção da matéria orgânica do solo derivada da espécie C_3 (%MOS_l) foi calculada utilizando a equação desenvolvida por CADISCH & GILLER (1996):

Equação 2

$$\% MOS_l = \frac{1}{\delta^{13}C_l - \delta^{13}C_g} \left[\delta^{13}C_{gl} - \delta^{13}C_g + \frac{C_g}{C_{gl}} (\delta^{13}C_l - \delta^{13}C_g) \right]$$

Onde, a matéria orgânica do solo derivada da espécie C_3 , possui uma marcação natural $\delta^{13}C_l$; $\delta^{13}C_g$ é a marcação natural da espécie C_4 ; $\delta^{13}C_{gl}$ é a marcação natural do C do solo sob o consórcio; C_g e C_{gl} são, respectivamente, o conteúdo de C do solo sob a espécie C_4 e sob o consórcio.

Na pastagem consorciada (S2), com a determinação do C total derivado dos resíduos culturais (Brachiaria + estilosantes) (C_{res}) e o C total derivado da vegetação nativa original (C_{VN}) obtidos pela técnica de CADISCH & GILLER (1996), os valores de abundância de ^{13}C dos resíduos podem ser calculados por um balanço de massa isotópico, que para a será:

Equação 3

$$(C_{resR2} d_{resR2}) + (C_{NV} d_{NV}) = C_{R2} d_{R2}$$

Estes valores são calculados com objetivo de verificar se os mesmos representarão uma mistura de plantas C_3 e C_4 .

Análise estatística

As análises estatísticas foram feitas com o pacote estatístico MSTAT-C (Michigan State University, EUA) para análise de variância e determinação dos efeitos das variáveis principais (delineamento com os sistemas na parcela principal e níveis de fertilidade ou manejo do solo na sub parcela) sobre os diferentes parâmetros avaliados. Os dados foram avaliados pela análise de variância paramétrica univariada, pelo teste F, cujos efeitos

significativos foram estudados pelos testes de comparação de médias LSD Student ($P < 0,05$).

Para avaliar se os efeitos dos sistemas de manejo foram estatisticamente significativos no acúmulo de C e N em cada nível de fertilidade ou manejo do solo foi necessário comparar as médias das sub parcelas em cada parcela principal.

Resultados e Discussão

Parâmetros químicos e densidade do solo sob cerrado e sob os diferentes tratamentos

O solo sob cerrado apresentou 1 mg dm⁻³ no teor de fósforo, enquanto os valores de Ca e Mg foram baixos, que somados apresentaram valores entre 0,7-0,2 cmol_c dm⁻³ além de valores baixos de pH de 0 a 40 cm de profundidade (Tabela 4).

Tabela 4. Parâmetros químicos do solo sob cerrado.

cerrado	Prof (cm)	pH (H ₂ O)	Al ----- cmol _c dm ⁻³ -----	Ca+Mg ----- mg dm ⁻³ -----	P ----- mg dm ⁻³ -----	K
	0-10	4,8	0,7	0,7	1	40
	10-20	4,8	0,6	0,5	1	23
	20-30	4,9	0,5	0,3	0	17
	30-40	4,9	0,5	0,2	0	11

Comparando-se os valores observados na análise química do solo entre a área sob condições naturais (cerrado) e a área sob os tratamentos agrícolas, o manejo da fertilidade do solo através das adubações e calagens realizadas no experimento, refletiram na melhoria dos teores de P e de bases, e a elevação do pH, principalmente na camada de 0-30 cm (Tabela 5). Esta melhoria nos parâmetros químicos até 30 cm também foi observada em outros experimentos sob condições de solo com baixa fertilidade inicial semelhantes à deste estudo (ROCHA et al., 2000). Como foi observado na Tabela 2, os tratamentos receberam quantidades

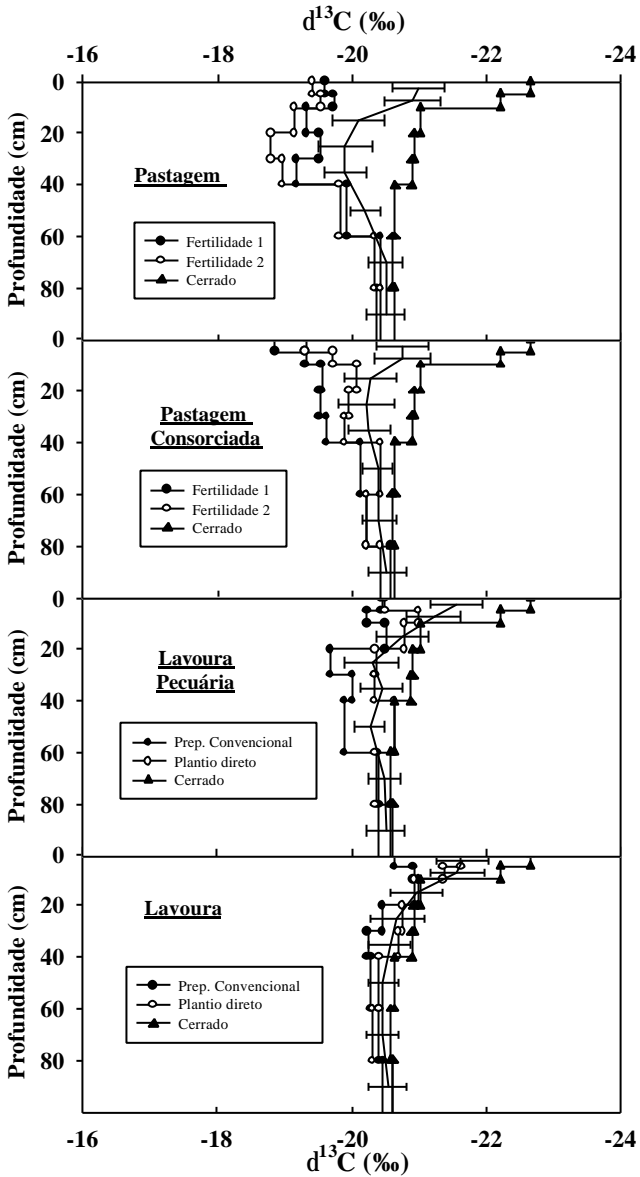


Figura 5. Abundância natural de ¹³C no perfil do solo sob os diferentes tratamentos de manejo e sob a área de cerrado.

convencional do solo, possivelmente refletindo o cultivo de milheto realizado há 2 anos atrás.

ROSCOE et al. (2001) encontraram que após 23 anos da instalação da pastagem houve alterações no $d^{13}C$ até 1 m de profundidade em relação a área de cerrado original. Estes resultados sugerem também que a taxa de renovação de C do solo foi alta, indicando que a dinâmica da MO é intensa nesta região.

Estimativa da proporção de carbono da matéria orgânica do solo derivada da vegetação nativa

Nas Tabelas 7 e 8 encontram-se os percentuais de C derivado de gramíneas ($C-C_4$) nas diferentes camadas de 0-60 cm de profundidade. Como era esperado, os tratamentos de pastagem de gramínea pura (S1) apresentaram os maiores percentuais de participação de $C-C_4$ em relação aos demais. Os percentuais de $C-C_4$ variaram de 29% na camada de 0-5 cm até 9% na camada de 40-60 cm de profundidade. No tratamento S1F2 o percentual de C derivado de C_4 das camadas entre 20-40 cm de profundidade apresentaram valores maiores que em S1F1. Como este tratamento (S1F2) também apresentou o maior estoque de C total, o estoque de C derivado de gramíneas (C_4) foi de $24,5 \text{ Mg } C_4 \text{ ha}^{-1}$, o que representou 21,3% do estoque de C total de 0-60 cm. No tratamento S1F1 o estoque de $C-C_4$ foi $18,12 \text{ Mg } C_4 \text{ ha}^{-1}$, representando 18,4% do estoque de C total de 0-60 cm.

Nas pastagens consorciadas (S2) os maiores percentuais de incorporação de $C-C_4$ foram observados no tratamento S2F1. O estoque de C derivado de gramíneas (C_4) neste tratamento foi de $21 \text{ Mg } C_4 \text{ ha}^{-1}$, enquanto em S2F2 foi de $15,4 \text{ Mg } C_4 \text{ ha}^{-1}$.

diferenciadas de adubação, de acordo com o sistema de manejo o que, como era esperado, influenciou nos resultados dos parâmetros químicos.

Em todos os tratamentos, a maior concentração de teores de P, K e de bases, bem como valores de pH mais elevados foram observados na camada de 0-5cm, principalmente nas pastagens, pela ausência de movimentação do solo aliado à aplicação dos adubos em superfície. Nas pastagens em monocultivo e consorciada com nível de fertilização $V=50\%+NPK$ (F2) e os tratamentos sob integração e lavoura contínua a melhoria da disponibilidade de Ca, Mg e P foi observada até 30 cm de profundidade. Nos tratamentos de pastagens em monocultivo e consorciada, que receberam a mesma quantidade de P, os valores de P disponível foram maiores sob a pastagem consorciada. Esta maior disponibilidade de P neste tratamento e nos tratamentos do sistema 3 e 4 podem estar relacionados ao incremento na matéria orgânica do solo, bem como da qualidade do material que está sendo incorporado nestes tratamentos. CHAPUIS-LARDY et al. (2002) avaliando solos sob diferentes tipos de vegetações naturais de cerrado e uma pastagem cultivada em camadas de 10 cm, entre 0 e 200 cm de profundidade encontraram uma significativa correlação entre os teores de P-orgânico e carbono total.

Até a profundidade de 20 cm a densidade do solo variou entre 1,24 e $1,09 \text{ g cm}^{-3}$ nos diferentes tratamentos de manejo do solo. Estes valores de densidade do solo foram significativamente maiores ($p<0,05$) em relação à área sob cerrado, que apresentou valores entre 1,12 e $1,03 \text{ g cm}^{-3}$ (Tabela 6).

Esta diferença na densidade do solo entre áreas sob manejo agrícola e áreas sob condições naturais na camada superficial do solo, já era esperada. O preparo do solo e o tráfego de máquinas modificam a distribuição das partículas do solo, que ficam mais adensadas pela redução de macro e microporos do solo (VIEIRA,1981, ELTZ et al.,1989).

Tabela 5. Parâmetros químicos do solo sob os diferentes sistemas de pastagens e cultivos.

Rotação Cultura	Prof (cm)	pH (H ₂ O)	Al -----	Ca cmol _c dm ⁻³ -----	Mg -----	P ----- mg dm ⁻³ -----	K -----
Sistema 1. Pastagem							
F1	0-10	5,7	0	2,2	1,2	2	220
	10-20	5,2	0,1	1,2	0,9	0	53
	20-30	5	0,2			0	12
	30-40	5	0,2			1	17
F2	0-10	5,9	0	2,6	1,2	2	225
	10-20	5,9	0	2,1	1,1	0	28
	20-30	5,7	0	0,7	0,7	0	23
	30-40	5,5	0			0	11
Sistema 2. Pastagem consorciada							
F1	0-10	5,4	0	2	1,1	2	78
	10-20	5,1	0,2	1,5	0,5	1	20
	20-30	4,9	0,3			1	14
	30-40	4,8	0,3			1	7
F2	0-10	5,7	0	2,5	1,2	4	100
	10-20	5,7	0	2,1	0,8	3	31
	20-30	5,3	0	0,9	0,7	2	21
	30-40	4,9	0,1			2	14
Sistema 3. Integração Lavoura pecuária							
PC	0-10	5,8	0	2,3	1,4	3	92
	10-20	5,4	0,1	1,5	0,9	2	48
	20-30	5,2	0,2	1,1	0,6	1	39
	30-40	5,1	0,2			0	36
PD	0-10	6,2	0	3,9	1,2	3	80
	10-20	5,6	0,1	1,4	1	2	44
	20-30	5,3	0,1	0,9	0,5	1	30
	30-40	5,2	0,2			0	27
Sistema 4. Lavoura							
PC	0-10	5,9	0	2,5	0,9	4	145
	10-20	5,8	0	2,1	0,7	3	56
	20-30	5,1	0,1	0,8	0,8	3	48
	30-40	5	0,2			2	38
PD	0-10	6,6	0	3,5	1,1	4	155
	10-20	5,4	0,2	1,1	0,6	3	89
	20-30	5,1	0,2	0,9	0,5	2	69
	30-40	4,9	0,2			1	43

apresentaram valores de $\delta^{13}\text{C}$ menos negativos em profundidade com valores de -22‰ de 80 a 100 cm de profundidade.

O enriquecimento de ^{13}C em profundidade também foi encontrado por outros autores (VOLKOFF et al., 1982; MODENESI et al., 1982; VITORELLO et al., 1989; OLIVEIRA, 2000). A explicação para este enriquecimento de ^{13}C da MOS em profundidade pode estar relacionada a duas hipóteses principais: 1) durante os últimos 150 anos houve um incremento de CO_2 atmosférico causado pela queima de combustíveis fósseis, que têm baixa abundância de ^{13}C , diluindo assim a composição isotópica de $\delta^{13}\text{C}$ do CO_2 atmosférico (FRIEDLI et al., 1984; STUIVER & BRAZIUNAS, 1987). 2) ao histórico da área, onde a vegetação predominante há muitos anos atrás, pode ter sido predominantemente de plantas com ciclo C_4 , (gramíneas), que foram gradativamente substituídas por árvores e arbustos típicos do cerrado, de atividade fotossintética C_3 , como ocorreu em outras regiões brasileiras (GOUVEIA et al., 2002).

Pode-se observar que os resultados de $\delta^{13}\text{C}$ no perfil de solo em profundidade sob todos os tratamentos agrícolas, não apresentaram diferenças significativas em relação ao cerrado, o que sugere que os perfis de solo avaliados sob esta vegetação representaram a composição de ^{13}C anterior à instalação do experimento.

Nos tratamentos sob pastagem pura de gramíneas (S1), as alterações no $\delta^{13}\text{C}$ do solo foram mais intensas na camada de 0-40 cm de profundidade, mas também alcançaram 60 cm de profundidade. Nos tratamentos de pastagem consorciada, as raízes de *Brachiaria* alteraram os valores de $\delta^{13}\text{C}$ na camada de 0-40 cm de profundidade e em F1 chegaram até 60 cm de profundidade.

Nos tratamentos de rotação lavoura - pecuária, como houve uma mistura de cultivos ao longo do tempo, os valores de $\delta^{13}\text{C}$ observados não seguiram um comportamento uniforme. Mas entre a camada de 20-60 cm no tratamento sob preparo convencional o cultivo de pastagem e milho há 4 anos e 2 anos atrás, respectivamente, parece continuar influenciando a composição do $\delta^{13}\text{C}$ desta camada. Na área sob lavoura contínua as alterações ocorreram apenas de 0-10 cm principalmente no preparo

seguinte ordem: lavoura PC > lavoura PD > integração lavoura/pecuária em PC > integração lavoura/pecuária em PD > todos os tratamentos de pastagem. Os resultados encontrados nos tratamentos com preparo convencional do solo indicam que em apenas 3 anos os estoques de C no perfil de solo de 0-100 cm foram 5 e 8 Mg ha⁻¹ menores que no plantio direto em S3 (pastagem lavoura) e S4 (lavoura), respectivamente. Estes menores valores podem ser atribuídos a maior exposição da matéria orgânica do solo (protegida fisicamente) ao ataque microbiano (CAMBARDELLA & ELLIOT, 1993), pela destruição dos agregados do solo causada pelo implemento arador.

Os resultados encontrados neste estudo confirmam a importância da associação entre práticas que permitam o maior aporte de C e N no solo (FISHER et al., 1994), como o devido provimento de N para o desenvolvimento de pastagem e culturas, juntamente com a utilização que estratégias de manejo com menor revolvimento e manutenção de cobertura sob solo, que possibilitaram o acúmulo maiores quantidades destes elementos nos solos da região do cerrado.

Abundância natural de ¹³C no perfil do solo.

No perfil de solo sob vegetação de cerrado, os valores de $\delta^{13}\text{C}$ variaram de -22,7 para -20,9‰ de 0-40 cm de profundidade, e apresentaram valores de $\delta^{13}\text{C}$ menos negativos em profundidade com valores médios de -20,5‰ de 40 a 100 cm de profundidade (Figura 5).

ROSCOE et al. (2000) avaliando a abundância natural de ¹³C no perfil de solo até 1 m em três áreas sob diferentes composições de espécies que ocupam áreas naturais de cerrado na região de Minas Gerais, encontraram que em duas destas áreas os valores observados na camada de 0-5 cm foram de -27‰ e -24‰ na camada de 80-100 cm, enquanto na outra área estes valores foram de -24 a -20‰.

No perfil de solo sob vegetação de cerrado na estação experimental da Embrapa Cerrados, SISTI (2001) encontrou que os valores de $\delta^{13}\text{C}$ variaram de -24 para -23‰ de 0-40 cm de profundidade, e

Entre os tratamentos de manejo do solo não houve diferença na densidade do solo entre os intervalos de profundidade até 80 cm de profundidade. RESCK et al. (1995), avaliando um experimento em Planaltina, não observaram diferenças na densidade do solo no tratamento de manejo do solo plantio direto e preparo convencional com arado de discos em duas épocas do ano após 14 anos da implantação destes tratamentos.

Tabela 6. Densidade do solo perfil (0-100 cm) sob os diferentes tratamentos e sob cerrado.

Profund (cm)	Pastagem		Pastag. Consor		Lavoura pecuária		Lavoura		cerrado
	F1	F2	F1	F2	PD	PC	PD	PC	
	Mg m ⁻³								
0-5	1,23a	1,21a	1,24a	1,19a	1,23a	1,22a	1,23a	1,24a	1,12b
5-10	1,19a	1,17a	1,19a	1,16a	1,19a	1,18a	1,16a	1,20a	1,05b
10-20	1,17a	1,13a	1,15a	1,13a	1,16a	1,15a	1,09ab	1,17a	1,03b
20-30	1,10ab	1,11ab	1,07ab	1,07ab	1,12a	1,10ab	1,08ab	1,15a	1,01b
30-40	1,06ns	1,07ns	1,03ns	1,02ns	1,07ns	1,06ns	1,05ns	1,08ns	1,00ns
40-60	1,01ns	1,01ns	1,02ns	0,99ns	1,00ns	0,99ns	1,01ns	1,01ns	0,97ns
60-80	0,96ns	0,99ns	0,95ns	0,96ns	0,97ns	0,97ns	0,96ns	0,98 ns	0,92ns
80-100	0,96ab	0,97a	0,92bc	0,92c	0,94abc	0,94abc	0,92bc	0,94abc	0,91c

Os valores representam a média de 6 repetições por tratamento.

Médias na mesma linha seguida mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste LSD de Student (P<0,05).

Distribuição dos teores de Carbono e Nitrogênio no perfil do solo

No solo sob cerrado os teores de C entre a camada de 0- 5 e 5-10 cm de profundidade foram de 27 e 24 g kg⁻¹, e os teores de N foram de 1,6 e 1,4 g kg⁻¹. Na camada de 10-20 cm houve um decréscimo de 30% nestes teores (Figura 1 e Figura 2), enquanto nas demais profundidades as reduções ocorreram com menor intensidade.

Com relação aos outros dois estudos realizados na mesma estação experimental, mas em outros fragmentos de vegetação de cerrado,

os teores de C foram semelhantes aos encontrados por CORAZZA et al. (1999), mas inferiores aos encontrados por SISTI (2001).

Os estudos realizados em Sete Lagoas (MG), em 5 áreas sob diferentes tipos de vegetação de cerrado de Latossolo vermelho escuro, ROSCOE et al. (2000, 2001) avaliaram teores de C e N em perfis de solo até 100 cm de profundidade, que foram mais elevados aos encontrados neste trabalho.

Em relação à vegetação nativa, os tratamentos que apresentaram os menores teores de C e N em diferentes camadas do solo, foram a pastagem em monocultivo e V=30% + PK (S1) e as áreas sob lavoura contínua nos dois tratamentos de manejo do solo (S4PC e S4PD). No tratamento S1F1 a redução na concentração de C no perfil do solo ocorreu nas profundidades de 0-10, 20-30 e 40-60 cm. No tratamento S4PC estas diferenças ocorreram entre 20 e 60 cm de profundidade, e no tratamento S4PD de 40-60 cm. Quanto aos teores de N, o tratamento S1 com V=30% + PK apresentou diferenças significativas (LSD, $P=0,05$) de 0-10 cm e entre 60-80 cm em profundidade. No tratamento S4 sob preparo convencional esta redução ocorreu entre 20-80 cm de profundidade e em plantio direto entre 40 até 80 cm.

Após 3 anos da implantação do PD não foi observado o aumento da concentração de carbono e nitrogênio em relação ao preparo convencional na camada superficial do solo (0-10 cm). Em outros estudos estas diferenças foram observadas logo nos primeiros anos de estudo (PARRA, 1986; SOUZA et al., 1997), mas indicam que este tratamento tende a manter teores de C e N mais elevados, o que foi observado em tratamentos sob longo prazo (CORAZZA et al., 1999; SISTI, 2001).

No estudo realizado por ROSCOE et al. (2001) avaliando as mudanças que ocorreram na dinâmica de C e N no perfil do solo de 0-100 cm após 23 anos da substituição do cerrado por pastagem, somente na camada de 0-10 cm ocorreu uma redução significativa nos teores de C e N.

lavoura pelo plantio apenas no verão. Mas a redução nos teores de C e N apresentados por estes sistemas em profundidade sugerem que estes sistemas também influenciaram na decomposição da MO deixada pela vegetação de cerrado em todo o perfil.

CHAPUIS-LARDY et al. (2002) avaliaram 5 áreas sob vegetações de cerrado que variaram do ecotipo cerradão a campo limpo e uma pastagem cultivada, na região de Planaltina. Os estoques de C das áreas foram comparados sob a mesma massa de solo. Estes autores encontraram que os menores estoques de C foram na pastagem cultivada 161 Mg C ha^{-1} e no cerrado pastejado ocasionalmente 174 Mg C ha^{-1} . Os autores atribuíram a diferença nos estoques, às quantidades de aporte de material vegetal e de raízes característicos de cada sistema. Os resultados de estoque de C na camada de 0-20 cm representaram em média 35% do estoque observado de 0-100 cm. Os autores citaram ainda um trabalho onde foi observado que a vegetação de cerrado apresenta um padrão de relação raiz/parte aérea maior do que é observado em relação a florestas tropicais, deixando uma grande quantidade de raízes no solo.

Destes resultados deduz-se a importância da leguminosa em contribuir com significativas quantidades do N derivado da FBN para o sistema, promovendo o crescimento da pastagem. No entanto, pela dificuldade em quantificar a transferência de N derivado das leguminosas para a gramínea cultivada em consórcio (GIL et al., 1997; VIEIRA-VARGAS et al., 1995), ainda não se tem muitas informações sobre o benefício da leguminosa no equilíbrio nutricional da pastagem. A utilização de pastagem consorciada demonstra ser uma alternativa de manejo para condições de baixa fertilidade, confirmando os resultados encontrados por TARRÉ et al. (2001). Os benefícios podem ocorrer tanto para o desenvolvimento vegetal, pela disponibilidade mais constante de N, quanto para matéria orgânica do solo, com a incorporação integrada de C e N.

Além de todos os fatores já destacados, a diferença na intensidade de movimentação do solo entre os tratamentos pode ter influenciado na manutenção da matéria orgânica do solo. Em uma escala de maior para menor movimentação pode-se ranquear os sistemas na

substituída há 30 anos atrás, e o manejo do solo foi o PC. A outra área foi implantada há 20 anos, sendo conduzida em PD nos últimos 10 anos. Não foram encontradas diferenças no estoque total de C e N na camada de 0-45 cm de profundidade entre a área de cerrado e as duas áreas de cultivo irrigado. Nas duas áreas o C derivado dos resíduos de milho representou 20% do C total ainda na camada de 30-45 cm, indicando que os efeitos podem ter continuado em camadas mais profundas, o que não foi avaliado.

No presente estudo os resultados positivos no estoque de C e N entre os tratamentos de pastagem de gramínea pura (monocultivo) com maior nível de fertilização e a pastagem consorciada nos dois níveis de fertilização, demonstraram que a influência da leguminosa foi comparável ao efeito do N aplicado via fertilização mineral.

Em condições experimentais controladas, e com o objetivo de avaliar a dinâmica do N mineral durante o processo da decomposição das raízes das gramíneas forrageiras *Brachiaria decumbens* e *Andropogon gayanus* e leguminosas *Stylosanthes guianensis* e *Centrosema sp.*, URQUIAGA et al. (1998) encontraram que as raízes das leguminosas apresentaram uma rápida decomposição e liberação de N mineral em relação às gramíneas. Mesmo com as raízes das leguminosas apresentando maiores percentuais de polifenóis, o que poderia interferir na taxa de decomposição, a baixa relação C/N do material foi o fator mais importante neste processo.

Na pastagem consorciada ocorreu uma redução da relação C/N do material que ficou sobre o solo e mesmo das raízes a um valor intermediário, que permitiu uma decomposição mais moderada deste material. O processo de decomposição ocorrendo em menor intensidade pode minimizar a intensa liberação e/ou imobilização de N mineral que ocorrem na decomposição de materiais com baixa e alta relação C/N, respectivamente.

A redução no estoque de C e N na pastagem com menor fertilização e nas áreas com lavoura pode ter ocorrido pela menor taxa de adição de resíduos vegetais, e logo de raízes que estes sistemas apresentaram, causados por fatores diferentes. Na pastagem esse comportamento pode ter ocorrido por limitações nutricionais e a

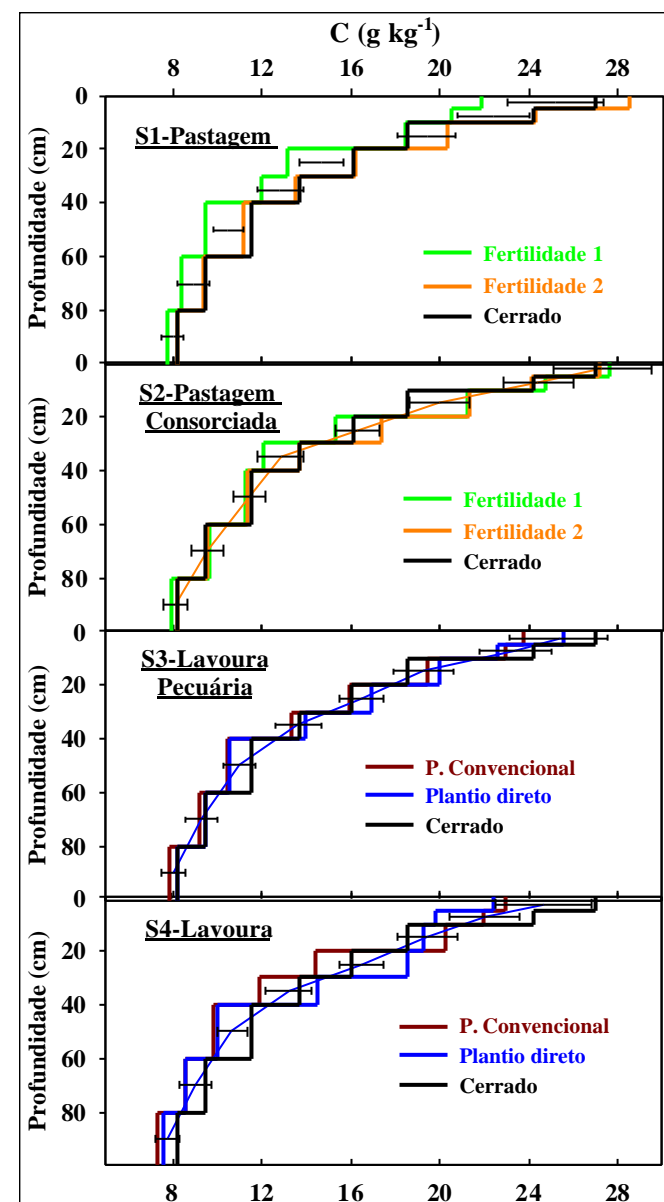


Figura 1. Concentrações de Carbono Total no perfil do solo sob os diferentes tratamentos.

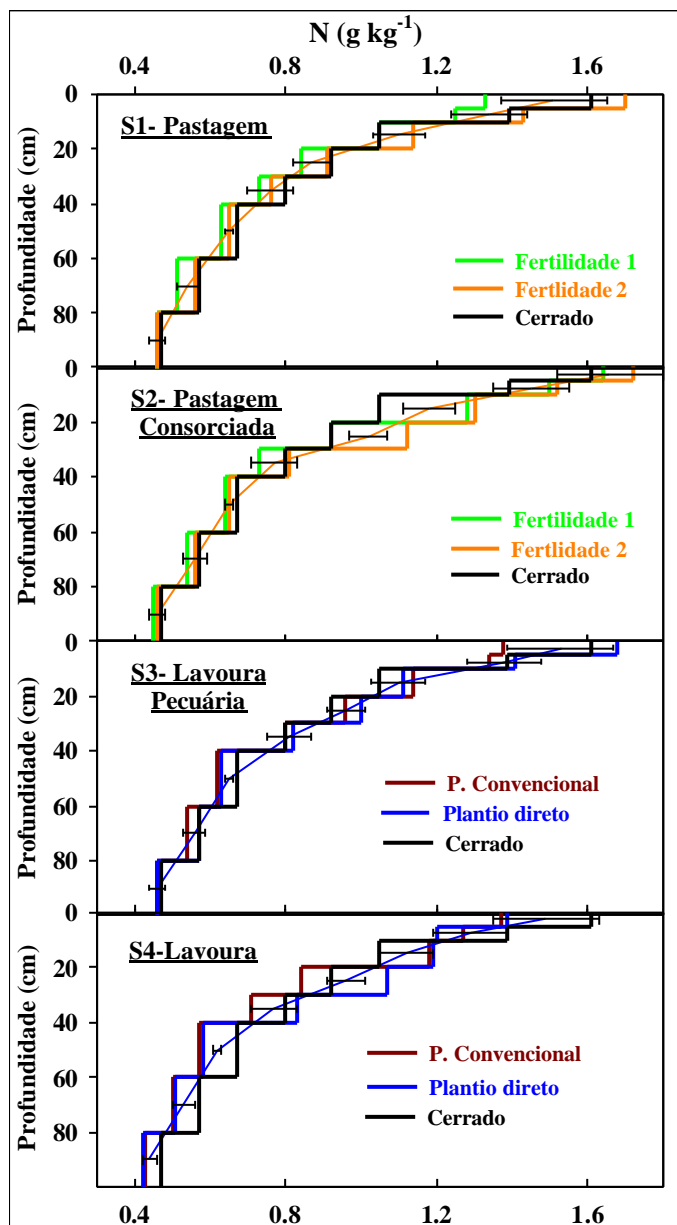


Figura 2. Concentrações de Nitrogênio Total no perfil do solo sob os diferentes tratamentos

CORAZZA et al. (1999), avaliaram os estoques de C do solo até 1 m sob diferentes sistemas agrícolas (pastagem, plantação de eucalipto, e áreas com produção de grãos sob PD e PC com arado de aiveca e grade pesada) com cerca de 15 anos após a substituição do cerrado. O estoque de C do solo não foi corrigido pela equivalência de massa no perfil. Em relação à vegetação de cerrado utilizada como referência foram observados acúmulos de C numa taxa de $1,43 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ na área sob plantio direto. Nas áreas de plantio convencional, registrou-se uma taxa de perda de C de $0,32 \text{ Mg ha}^{-1}$. Os resultados mostraram que o solo (0 a 100 cm) sob a pastagem apresentou 150 Mg C ha^{-1} , $16,6 \text{ Mg C ha}^{-1}$ a mais do que sob a vegetação do cerrado. A taxa de acúmulo foi, em média, $0,92 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ durante os 18 anos desde o estabelecimento da pastagem. Porém todos estes valores encontrados devem estar superestimados uma vez que não foi feita a correção pela massa do solo contido no perfil.

Em um estudo realizado por da SILVA et al. (2004), também conduzido na estação experimental de Embrapa Cerrados num Latossolo Vermelho-Escuro, foram comparados os estoques de C sob 6 pastagens diferentes, consorciadas com leguminosas ou não, com o estoque de C sob pastagem nativa. O solo foi amostrado e analisado, e os dados processados da mesma maneira que o trabalho discutido anteriormente. Os resultados mostraram que sob algumas pastagens (pastagem de *P. maximum*, áreas de produção de sementes de *B. brizantha* e *Paspalum atratum* que não foram pastejadas, consórcio entre *B. brizantha* e leguminosas) houve acúmulos de C de até 13 Mg ha^{-1} acima do observado no solo sob a pastagem nativa. O consórcio entre *A. gayanus* e leguminosas houve um acúmulo de 5 Mg C ha^{-1} e a pastagem de *B. decumbens* que foi descrita como degradada na época de amostragem apresentou uma redução de $2,6 \text{ Mg C ha}^{-1}$.

No estudo realizado por ROSCOE & BUURMAN (2003) avaliando o efeito do manejo do solo em duas áreas sob cultivo irrigado de milho e feijão nas diferentes frações da matéria orgânica do solo, foi realizada a correção de massa do solo e análise da abundância natural de $\delta^{13}\text{C}$ para estimar a participação do C derivado no milho na MOS. Em uma destas áreas a vegetação de cerrado foi

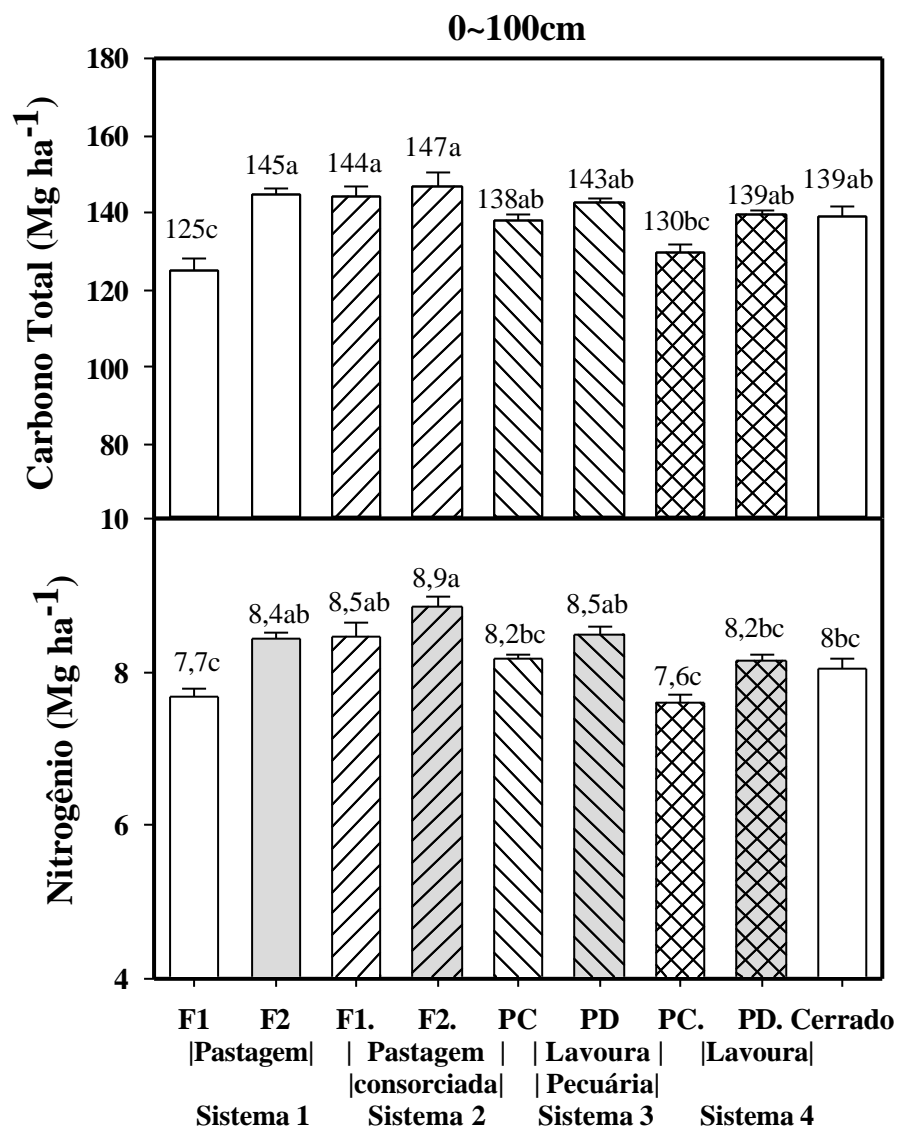


Figura 4. Estoque de carbono e nitrogênio no perfil de solo no cerrado e nos diferentes tratamentos, na camada de 0-100 cm de profundidade

Estoque de Carbono e Nitrogênio totais do solo.

O estoque de C e N sob a vegetação de cerrado foi de 81 Mg C ha⁻¹ e 4,7 Mg N ha⁻¹ na camada de 0-40 cm e 139 Mg C ha⁻¹ e 8 Mg N ha⁻¹ na camada de 0-100 cm de profundidade (Figura 3 e Figura 4). O estoque encontrado de 0-40 cm foi muito semelhante ao observado por FREITAS et al. (2000), de 81,9 Mg C ha⁻¹, sob uma vegetação de cerrado antropizada na região de Goiás sob o mesmo tipo de solo deste experimento (Latossolo vermelho escuro), e foi cerca de 10 Mg C ha⁻¹ superior em ao estoque encontrado por CORAZZA et al. (1999). Em todos os tratamentos, o estoque de C e N na camada de 0-40 cm representou em média 60% do estoque entre 0-100 cm de profundidade.

Em relação ao estoque de C da área de cerrado, o tratamento S1F1 apresentou uma redução significativa de 8 Mg C ha⁻¹ na camada de 0-40 cm, e de 14 Mg C ha⁻¹ entre 0-100 cm. O estoque de N na camada de 0-40 cm em S1F1 também foi significativamente menor. No tratamento S2F2 foi observado um acréscimo em relação ao cerrado, no estoque de N na camada 0 – 40 e 0-100 cm.

Entre os tratamentos, os estoques de C e N observados após 11 anos desde a implantação destes, determinaram os tratamentos S2F2, S2F1 e S1F2 como aqueles com maior potencial de acúmulo/manutenção de C e N no solo, enquanto os tratamentos S1F1 e S4PC resultaram nos menores estoques destes elementos.

A avaliação das camadas do solo abaixo de 40 cm de profundidade contribuiu para um melhor entendimento dos efeitos dos diferentes sistemas sobre a dinâmica de C e N do solo. Se as avaliações do estoque de C e, principalmente de N se restringissem à camada de 0-40 cm, não seriam observadas as alterações que estes sistemas provocaram em profundidade, principalmente de 40-60 cm, o que poderia acarretar uma análise incompleta de toda esta dinâmica. Outro fator que também contribuiu para uma análise mais consistente dos efeitos da substituição do cerrado pelos sistemas de uso do solo, foi a comparação sob a mesma massa de solo.

Quando a avaliação de diferentes sistemas e da área natural é realizada apenas na camada superficial, e não é realizada da

correção da massa do solo entre as áreas, pode comprometer o entendimento sobre os efeitos da substituição da vegetação natural.

FREITAS et al. (2000) avaliaram o estoque de C em um Latossolo Vermelho Escuro distrófico da região dos cerrados, em área de cerrado antropizada e áreas onde se conduziam sistemas de pastagens e de rotação de culturas para produção de grãos. Os estoques de C do solo foram calculados com os dados de densidade, espessura e teor de C de cada camada do solo em cada sistema independentemente, sem fazer a correção de massa entre estes. O plantio convencional proporcionou um acúmulo de C no solo superior ao observado na área de vegetação de cerrado em cerca de 2,5 Mg ha⁻¹, após 4 anos da instalação do experimento. O efeito do plantio direto foi bem menor, ultrapassando o observado na área de cerrado em 0,6 Mg ha⁻¹, neste mesmo período. Na pastagem não degradada foi observada uma redução de 7,7 Mg C ha⁻¹ e na pastagem degradada esta redução foi de 10,8 Mg C ha⁻¹ em relação ao cerrado.

Fazendo-se o ajuste de massa com os dados de FREITAS et al. (2000), encontra-se que em ambos os sistemas de manejo do solo (PC e PD) houve uma perda, em valores absolutos, de 1,6 Mg ha⁻¹ em relação ao solo sob vegetação de cerrado. Os estoques de C sob as duas pastagens foram semelhantes, sendo de aproximadamente 12 Mg ha⁻¹ abaixo do estoque de C do solo sob a vegetação nativa do cerrado na camada 0-40 cm (corrigido por massa igual de solo no perfil). Ou seja, os sistemas de plantio avaliados ainda não promoveram um acúmulo de C ao nível do observado na área de vegetação nativa, contrariando a conclusão obtida sem a correção de massa.

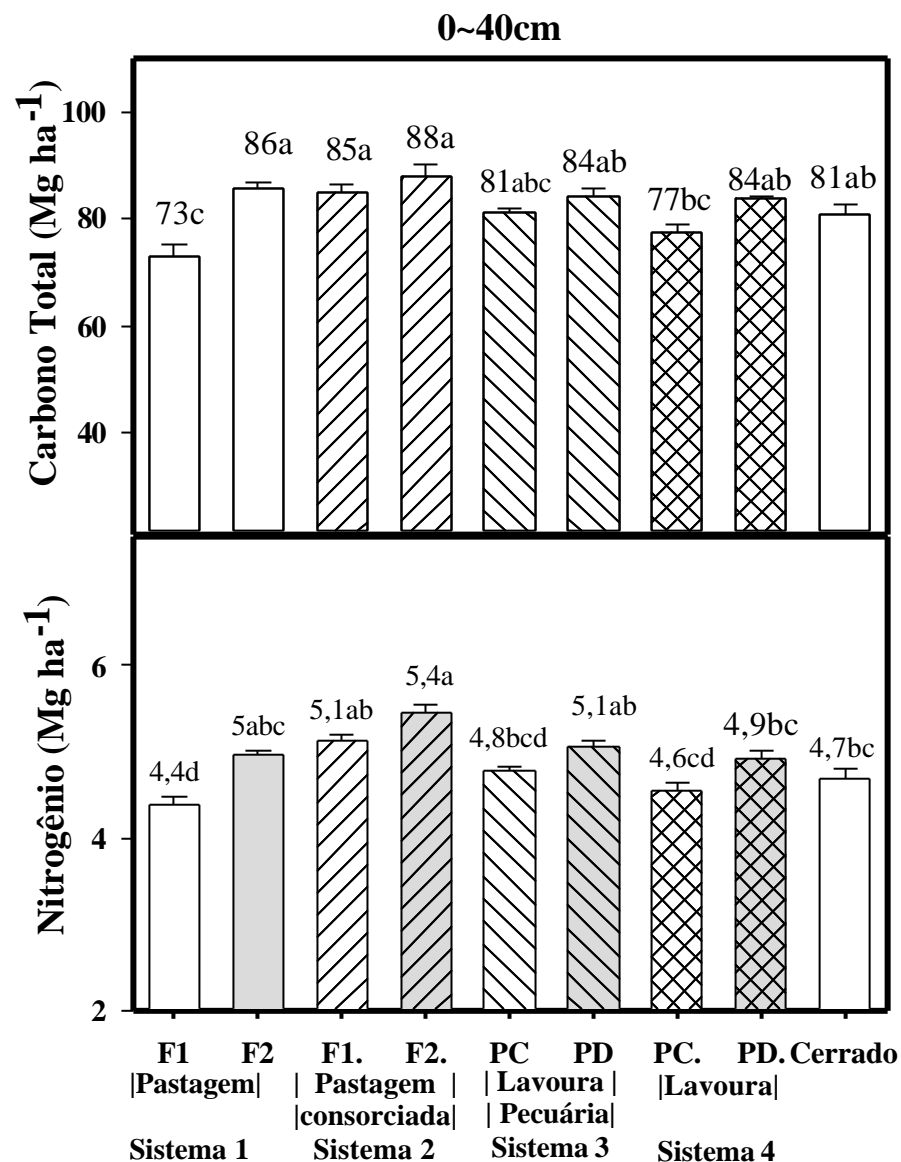


Figura 3. Estoque de carbono e nitrogênio no perfil de solo no cerrado e nos diferentes tratamentos, na camada de 0-40 cm de profundidade.