



**GEANDERSON NASCIMENTO DA SILVA**

**SISTEMAS DE MANEJO E USO DO SOLO  
SOBRE AS FRAÇÕES E ESTOQUES DE  
CARBONO E NITROGÊNIO EM LATOSSOLO  
SOB CERRADO**

**LAVRAS-MG**

**2016**

**GEANDERSON NASCIMENTO DA SILVA**

**SISTEMAS DE MANEJO E USO DO SOLO SOBRE AS FRAÇÕES E  
ESTOQUES DE CARBONO E NITROGÊNIO EM LATOSSOLO SOB  
CERRADO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração em Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, para a obtenção do título de Doutor.

Orientador

Dr. Marco Aurélio Carbone Carneiro

**LAVRAS-MG  
2016**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Silva, Geanderson Nascimento da.

Sistemas de manejo e uso do solo sobre as frações e estoques de carbono e nitrogênio em Latossolo sob cerrado / Geanderson Nascimento da Silva. – Lavras : UFLA, 2016. 44 p.

Tese(doutorado)–Universidade Federal de Lavras, 2016.  
Orientador(a): Marco Aurélio Carbone Carneiro.  
Bibliografia.

1. Plantio direto. 2. Integração lavoura-pecuária. 3. Carbono orgânico particulado. 4. Índice de manejo de carbono. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

**GEANDERSON NASCIMENTO DA SILVA**

**SISTEMAS DE MANEJO E USO DO SOLO SOBRE AS FRAÇÕES E  
ESTOQUES DE CARBONO E NITROGÊNIO EM LATOSSOLO SOB  
CERRADO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração em Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 15 de junho de 2016.

Dr. Nilton Curi	UFLA
Dr. Antonio Eduardo Furtini Neto	ITV
Dr. Helder Barbosa Paulino	UFG
Dr. Edicarlos Damacena de Souza	UFMT

Dr. Marco Aurélio Carbone Carneiro  
Orientador

**LAVRAS - MG  
2016**

*Aos meus pais, Sebastião Balbino da Silva e Maria Joselaide do Nascimento Silva pelo amor, ensinamentos, esforços e incentivo.*

*Aos meus irmãos, pelos incentivos e amizade.*

*À minha querida Sidy pelo amor, carinho e companheirismo.*

*Às minhas filhas Anallu e Alícia, motivo de alegria em minha vida.*

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus.

Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Departamento de Ciência do Solo (DCS), pela oportunidade de realização do Doutorado.

Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - (CNPq) e à Fundação de Apoio a Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG), pelo fomento para o desenvolvimento do projeto.

À Associação dos Mineradores de Pains, Arcos e Região – Central de Negócios (AMPAR) e todas as empresas associadas a ela, pelo patrocínio da presente pesquisa.

Aos membros da banca pelas sugestões apresentadas para a melhoria do trabalho, e aos professores do Departamento de Ciência do Solo da UFLA, pelos ensinamentos transmitidos e boa convivência.

Ao professor Dr. Marco Aurélio Carbone Carneiro, pela orientação, auxílio na interpretação dos dados, sugestões, por toda paciência e ensinamentos.

Aos professores Dr. Antonio Eduardo Furtini Neto e Dr. Nilton Curi pela dedicação, paciência e oportunidade de convivência.

Aos professores Dr. Edicarlos Damacena de Souza e Dr. Helder Barbosa Paulino pela disposição para ajudar e ensinamentos.

Aos técnicos e funcionários do DCS, pelo apoio e ajuda nos trabalhos.

A Dirce, secretária do programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, pela atenção, boa vontade e apoio constante.

Aos colegas da pós-graduação pela convivência e troca de conhecimentos.

Aos amigos adquiridos em Lavras-MG: Raphael, Rimena, Luciane, Fabrício, João Paulo, Soraya, Jodean, Hércio, Leandro, Rodrigo e Rennan e demais colegas.

Aos familiares e demais amigos, pelo apoio e confiança.

E a todos que de alguma forma contribuíram, de forma direta ou indireta, para a realização deste trabalho.

## RESUMO GERAL

O uso inadequado do solo promove a redução do carbono orgânico, o que propicia condições favoráveis para perda de sua qualidade. O objetivo deste trabalho foi avaliar o teor e estoque de carbono, nitrogênio e suas frações no solo em diferentes sistemas de uso e manejos no Cerrado. Os tratamentos foram: cerrado nativo (referência), plantio direto há 18 anos, área com café por 11 anos e sistema integrado de produção agropecuária por 2 anos. Os estoques de carbono orgânico total foram influenciados pelos sistemas de uso e manejo do solo, sendo que o cerrado apresentou estoque de  $74,3 \text{ Mg ha}^{-1}$ , seguido pelo plantio direto com  $58,8 \text{ Mg ha}^{-1}$ , café com  $56,4 \text{ Mg ha}^{-1}$  e integração lavoura-pecuária com  $50,8 \text{ Mg ha}^{-1}$ . Os estoques de nitrogênio total seguiram comportamento semelhante aos estoques de carbono, em que o cerrado apresentou  $4,84 \text{ Mg ha}^{-1}$ , seguido pelo plantio direto com  $3,71 \text{ Mg ha}^{-1}$ , café com  $2,87 \text{ Mg ha}^{-1}$  e integração lavoura-pecuária com  $2,47 \text{ Mg ha}^{-1}$ . Já os estoques de carbono orgânico particulado foram de 8,7, 10,1, 12,8 e  $16,5 \text{ Mg ha}^{-1}$  para o plantio direto, café, integração lavoura-pecuária e cerrado, respectivamente. Sistemas conservacionistas como integração lavoura pecuária em plantio direto por 2 anos e plantio direto por 18 anos não foram suficientes para elevar os estoques de carbono orgânico total, nitrogênio total e suas frações aos níveis originais (CE).

Palavras-chave: Plantio direto. Integração lavoura-pecuária. Carbono orgânico particulado. Índice de manejo de carbono.



## GENERAL ABSTRACT

The misuse of the soil promotes the reduction of organic carbon, which provides favorable conditions for loss of quality. The objective of this study was to evaluate the content and stock of carbon, nitrogen and its fractions in soils under different land uses and managements in the Cerrado. The treatments were: native Cerrado (reference), no-tillage 18 years, area under coffee for 11 years and crop-livestock integration for 2 years. The total organic carbon were influenced by land use systems and soil management, where the native Cerrado had stock of 74.3 Mg ha<sup>-1</sup>, followed by no-tillage with 58.8 Mg ha<sup>-1</sup>, coffee with 56.4 Mg ha<sup>-1</sup> and crop-livestock integration with 50.8 Mg ha<sup>-1</sup>. The stocks of total nitrogen followed similar behavior to the total organic carbon stocks in the native Cerrado presented 4.84 Mg ha<sup>-1</sup>, followed by no-tillage with 3.71 Mg ha<sup>-1</sup>, coffee with 2.87 Mg ha<sup>-1</sup> and crop-livestock integration with 2.47 Mg ha<sup>-1</sup>. The stocks of particulate organic carbon were at 8.7, 10.1, 12.8 and 16.5 Mg ha<sup>-1</sup> to no-tillage, coffee, crop-livestock integration and native Cerrado, respectively. Crop-livestock integration systems such as conservation tillage on for 2 years and no-tillage for 18 years were not enough to lift the stocks of total organic carbon, total nitrogen and its fractions to the original levels (Cerrado).

Keywords: No-tillage. Integration crop-livestock systems. Particulate organic carbon. Carbon management index.

## LISTA DE FIGURAS

### ARTIGO 1

- Figura 1 Teores de carbono orgânico total (COT) (a) carbono orgânico particulado (COP) (b) do solo em profundidade sob diferentes sistemas de uso e manejo. CA: café; SPD: lavoura plantio direto, SIPA: sistema integrado de produção agropecuária e CE: cerrado nativo. As barras referem-se a diferenças mínimas significativas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ) .....32
- Figura 2 Teores de nitrogênio total (NT) (a) e nitrogênio na matéria orgânica particulada (NP) (b) do solo em profundidade sob diferentes sistemas de uso e manejo. CA: café; SPD: lavoura plantio direto, SIPA: sistema integrado de produção agropecuária e CE: cerrado nativo. As barras referem-se a diferenças mínimas significativas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ) .....35
- Figura 3 Estoques de carbono orgânico total (COT) (a) e particulado (COP) (b) do solo em profundidade sob diferentes sistemas de uso e manejo. CA: café; SPD: lavoura plantio direto, SIPA: sistema integrado de produção agropecuária e CE: cerrado nativo. Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si, pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ) .....36
- Figura 4 Estoques de nitrogênio total (NT) (a) e particulado (NP) (b) do solo em profundidade sob diferentes sistemas de uso e manejo. CA: café; SPD: lavoura plantio direto, SIPA: sistema integrado de produção agropecuária e CE: cerrado nativo. Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si, pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ).....37
- Figura 5 Índice de manejo de carbono (IMC) sob diferentes sistemas de uso e manejo na profundidade de 0-20 cm. CA: café; SPD: lavoura plantio direto, SIPA: sistema integrado de produção agropecuária e CE: cerrado nativo. Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si, pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ) .....38

## **LISTA DE TABELAS**

### **ARTIGO 1**

Tabela 1	Históricos das áreas de estudo. ....	29
Tabela 2	Atributos na camada de 0-20 cm de um Latossolo Vermelho distroférico no Cerrado.....	30

## SUMÁRIO

<b>PRIMEIRA PARTE</b> .....	12
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	12
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	14
<b>2.1 Matéria orgânica do solo em sistemas de uso e manejo</b> .....	14
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	19
<b>ARTIGO 1 - SISTEMAS DE MANEJO E USO DO SOLO SOBRE AS FRAÇÕES E ESTOQUES DE CARBONO E NITROGÊNIO EM LATOSSOLO SOB CERRADO</b> .....	23

## **PRIMEIRA PARTE**

### **1 INTRODUÇÃO**

A matéria orgânica do solo pode sofrer alterações em função do sistema de uso e manejo do solo, e vêm sendo utilizada como indicador de sua qualidade (BALDOTTO et al., 2015; BATISTA et al., 2014). O carbono e nitrogênio são os principais componentes da matéria orgânica do solo, e também são afetados pelo uso e manejo do solo, porém somente a quantificação dos teores totais não permite inferir sobre as alterações ocorrentes em curto período de tempo (SOUZA et al.; 2009; BAYER et al., 2004). Assim, os compartimentos do carbono e nitrogênio têm sido utilizados para este fim, sendo a fração particulada destes mais sensível em demonstrar os efeitos dos sistemas de manejo do solo a curto prazo, visto que essa fração está fracamente associada aos minerais refletindo os diferentes aportes de resíduos orgânicos vegetal e animal (BAYER et al., 2004; ROSSI et al., 2012).

O sistema de plantio direto (SPD) é bastante utilizado na região sul e centro-oeste do país, porém no Cerrado há dificuldade de manutenção da cobertura do solo durante todo o ano, reduzindo a sua eficiência em função das altas temperaturas e taxas pluviométricas que favorecem a rápida decomposição dos resíduos orgânicos (CARNEIRO et al., 2008; GUARESCHI; PEREIRA; PERIN, 2012). No entanto, é possível associar o sistema de plantio direto com a pecuária, numa técnica denominada de sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA) que são mais vantajosos em aspectos econômicos e ambientais comparados a sistemas isolados de cultivos em plantio direto. No SIPA o aporte de resíduos orgânicos é diferenciado comparativamente ao sistema unitário de produção de SPD (ASSAMANN, 2013). Assim, o estudo do carbono, nitrogênio e suas frações poderão indicar a qualidade destes sistemas de manejo.

Diante do exposto, os objetivos deste trabalho foi avaliar os efeitos dos sistemas de manejo e uso do solo sobre as frações e estoques de carbono e nitrogênio em um Latossolo Vermelho distroférico no Cerrado.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Matéria orgânica do solo em sistemas de uso e manejo

A matéria orgânica do solo (MOS) é constituída de organismos vivos, resíduos vegetais e animais em grau de decomposição fraco ou avançado (SOUZA, 2013). A MOS exerce influência nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo (FIGUEIREDO, 2009; ROSSI et al, 2012; BALDOTTO et al., 2015). Dentre estes atributos, atenção especial nos sistemas de manejo e uso do solo deve ser dada ao carbono orgânico, assim como nitrogênio visto que os dois são intimamente relacionados (D'ANDRÉA et al., 2004; POTUGAL et al., 2008; FIGUEIREDO, 2009).

A conversão de áreas nativas ao agronegócio por meio da substituição de áreas de vegetação, promove alterações nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, sendo dependentes das práticas de manejo adotadas (MARCHIORI JÚNIOR; MELO, 2000; CARNEIRO et al., 2009; CARVALHO et al., 2010; LOURENTE et al., 2011; SALTON et al., 2014). Vale ressaltar que nas áreas sob agricultura, o sistema de uso e manejo adotado promove alteração na dinâmica da MOS, e devido a sua relação com as propriedades relatadas anteriormente (MARCHIORI JÚNIOR; MELO, 2000; CHENG et al., 2007; BALDOTTO et al., 2015), tem sido utilizada com indicador de qualidade do solo.

A MOS possui alta diversidade de grupamentos funcionais eletricamente carregados, que aumentam a CTC e diminuem a adsorção específica de P, disponibiliza nutrientes e tem a capacidade de complexar o  $Al^{3+}$ , reduzindo sua toxicidade às plantas. Apresenta grande importância nos solos brasileiros visto que a maioria dos solos possuem limitações de ordem química ao adequado desenvolvimento das plantas, principalmente os Latossolos. Sendo as principais baixa capacidade de retenção de cargas, alta capacidade de adsorção de fósforo,

baixa disponibilidade de nutrientes e as altas concentrações de Al e Mn (BALDOTTO et al., 2015).

O sistema de manejo e uso do solo adotado nas áreas cultivadas exerce influência no fluxo carbono no solo pelo aporte diferenciado de resíduos, práticas de preparo do solo, número de cultivos, espécies de plantas cultivadas, adubação mineral e de adubos orgânicos (LAL; BRUCE, 1999). O acúmulo de carbono no solo pode ocorrer em frações lábeis ou estáveis da matéria orgânica, afetando diretamente tempo de retenção do carbono da atmosfera (BAYER et al., 2004).

Têm sido bastante utilizadas técnicas de fracionamento físico da MOS para demonstrar em quais compartimentos o carbono está acumulando, podendo ser granulométrico (CAMBARDELLA; ELLIOT, 1992; BAYER et al., 2004) densimétrico (GOLCHIN et al., 1994; CONCEIÇÃO et al., 2008; CONCEIÇÃO et al., 2014) ou a junção dos dois (SIX et al., 1998; CONCEIÇÃO et al., 2015). As frações lábeis da MOS estão fracamente associada aos minerais ou livre, denominado de carbono orgânico particulado (COP), e as estáveis que estão fortemente associadas às partículas minerais, formando complexos organominerais (COAM) (BAYER et al., 2004; GAZOLLA et al., 2015).

No fracionamento granulométrico é realizada a separação da MOS de acordo com o tamanho da partícula à qual está associada. A separação da MOS é feita por peneiramento após a dispersão. A fração nas dimensões de areia ( $>53 \mu\text{m}$ ) equivale à matéria orgânica particulada, que é constituída por resíduos orgânicos com baixo grau de decomposição e apresenta curto tempo de residência no solo. Já à fração com dimensão de silte e argila ( $<53 \mu\text{m}$ ) corresponde à matéria orgânica associada aos minerais e está protegida coloidalmente pela sua alta interação com a superfície das partículas minerais, apresentando tempo de reciclagem lento (CAMBARDELLA; ELLIOT, 1992).

A fração particulada da matéria orgânica têm sido apontada como bom indicador das práticas de manejo e uso do solo a curto período de tempo, pois ela



é relacionada com o aporte de resíduos orgânicos e a sua manutenção na superfície do solo (BAYER et al., 2004; ROSSI et al., 2012), o que pode indicar se determinado manejo empregado na área está adicionando, mantendo e, ou, degradando a matéria orgânica, permitindo alterações no manejo voltado para o aumento da MOS. Já a fração associada aos minerais é menos influenciada pelos sistemas de uso e manejo do solo em curto prazo de tempo (SANTOS et al., 2012), devido à predominância de materiais altamente decompostos e estabilizados pela interação com as partículas minerais do solo (BAYER et al., 2004).

Ao determinar as frações lábeis e estáveis da MOS em áreas de sistema de semeadura direta e sistema de plantio convencional, tendo como referência área de Cerrado Nativo em Goiás, observou-se que as principais alterações resultantes da substituição da área de Cerrado nativo por áreas agrícolas ocorreram na fração particulada da MOS (COP) (FIGUEIREDO; RESCK; CARNEIRO, 2010). Os autores também encontraram correlação negativa entre o COP e CAM (carbono associado aos minerais), sugerindo mecanismos opostos de acumulação de C nestas frações, ou seja, para haver maior acúmulo de CAM é necessário ocorre decomposição do COP, e sua posterior associação com a fração mineral do solo.

A decomposição dos resíduos orgânicos depositados na superfície do solo é alta em regiões tropicais, em função das elevadas temperaturas e índices pluviométricos que favorecem o incremento da atividade microbiana do solo (CARNEIRO et al., 2008; SILVA et al., 2011; BELO et al., 2012). Com isso ocorre menor eficiência dos sistemas de manejo adotados na manutenção e conservação da matéria orgânica e do nitrogênio total do solo (CARNEIRO et al., 2009; GUARESCHI; PEREIRA; PERIN, 2012). Portanto, a implantação de sistemas de manejos do solo que promovam maior produção de resíduos orgânicos, que sejam capazes de manter o solo coberto durante todo o ano, evitando a perda de matéria orgânica e exposição do solo a processos erosivos, são extremamente importantes para a manutenção da sustentabilidade do sistema.

O sistema de plantio direto tem como premissas básicas a manutenção da cobertura do solo eficientemente (por culturas ou resíduos culturais), a rotação de culturas e o não revolvimento do solo (RIBEIRO; SKORA NETO; SANTOS, 2001). Contudo, em virtude das condições climáticas da região do cerrado torna-se difícil a manutenção da cobertura do solo nesta região. A associação do sistema de plantio direto com a sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA) que consiste na integração entre agricultura e pecuária, surge com o intuito de diversificar o sistema de produção promovendo maior estabilidade e sustentabilidade (SOUZA et al., 2008), além de propiciar diversificação de renda para o agronegócio. Além disso, o sistema é considerado economicamente vantajoso em relação a prática da agricultura ou pecuária isoladas (BALBINOT JÚNIOR et al., 2009; SCHIAVO et al., 2011; SALTON et al., 2014).

O comportamento do carbono em sistema integrados de produção é diferenciado em relação a sistemas isolados (ASSMANN, 2013). De acordo com Nicoloso et al. (2008), o sistema de manejo integrado de produção agropecuária é capaz de promover acúmulo de carbono no solo sendo um dreno potencial deste da atmosfera. A presença de gramíneas no sistema de manejo aumenta a eficiência de acúmulo de carbono, devido ao maior crescimento do sistema radicular, explorando maior volume de solo, e o efeito rizosférico das gramíneas (D'ANDRÉA et al., 2004). Apesar disto, ainda são poucos os estudos que relacionam os sistemas de manejo e uso do solo e os estoques das frações de carbono e nitrogênio no solo, principalmente no Bioma de Cerrado.

Silva et al. (2011) avaliando a dinâmica da MOS em sistemas de integração lavoura-pecuária com diferentes idades de implantação no Mato Grosso do Sul encontraram, após 8 anos de adoção do sistema integrado de produção agropecuária, um acúmulo de carbono e nitrogênio total em nível semelhante ao sistema de plantio direto com 23 anos de implantação, bem como aumento nas frações lábeis e estáveis da MOS.

A dinâmica da MOS também pode ser analisada através do índice de manejo de carbono (IMC), proposto por Blair; Lefroy; Lisle (1995), que considera aspectos relacionados a labilidade da MOS sendo possível inferir sobre alterações ocorrentes no carbono orgânico total e lábil devido ao uso e manejo adotado no solo. Valor de IMC inferior ou igual a 100%, que representa o sistema de referência, é indicativo do impacto negativo das práticas de manejo e uso do solo sobre a MOS (BLAIR; LEFROY; LISLE 1995).

Souza et al. (2009) avaliaram sistema de produção lavoura-pecuária com diferentes alturas de manejo de pasto (10, 20 e 40 cm), no Rio Grande do Sul, encontraram valores de IMC de 100 e 107% nas alturas de pastejo de 20 e 40 cm, respectivamente, demonstrando que essas áreas conseguem manter a labilidade da matéria orgânica equivalente a área da área de referência (sem pastejo). Silva et al. (2011) também reportaram que o sistema de integração lavoura-pecuária pode elevar o IMC a valores semelhantes a vegetação nativa em Latossolo Vermelho distroférico no Mato Grosso do Sul.

## REFERÊNCIAS

- ASSAMANN, J. M. **Estoque de carbono e nitrogênio no solo e ciclagem de nutrientes em sistema de integração soja-bovinos de corte em plantio direto de longa duração**. 2013. 151p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo)- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.
- BATISTA, I. et al. Frações oxidáveis do carbono orgânico total e macrofauna edáfica em sistema de integração lavoura-pecuária. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 38, n. 3, Maio/Jun. 2014.
- BALBINOT JÚNIOR, A. A. et al. Integração lavoura-pecuária: intensificação de uso de áreas agrícolas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 6, Set. 2009.
- BALDOTTO, M. A. et al. Estoque e frações de carbono orgânico e fertilidade de solo sob floresta, agricultura e pecuária. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 62, n. 3, p. 301-309, Maio/Jun. 2015.
- BAYER, C. et al. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 7, p. 677-683, Jul. 2004.
- BELO, E. S. et al. Decomposição de diferentes resíduos orgânicos e efeito na atividade microbiana em um Latossolo Vermelho de Cerrado. **Global Science and Technology**, Uberlândia, v. 5, n. 3, p. 107-116, Set./Dez. 2012.
- BLAIR, G. J.; LEFROY, R. D. B.; LISLE, L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a Carbon Management Index, for agricultural systems. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 46, n. 7, p. 1459-1466, 1995.
- CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOT, E. T. Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of America Journal**, Kansas, v. 56, n. 3, p. 777-783, May/June 1992.
- CARNEIRO, M. A. C. et al. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de Cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 33, n. 1, p. 147-157, Jan./Fev. 2009.

- CARNEIRO, M. A. C. et al. Produção de fitomassa de diferentes espécies de cobertura e alterações na atividade microbiana em solo de Cerrado. **Bragantia**, Campinas, SP, v. 67, n. 2, p. 261-266, 2008.
- CARVALHO, J. L. N. et al. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil: uma revisão de literatura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 34, n. 2, p. 277-289, Mar./Abr. 2010.
- CHENG, L. et al. Dynamics of labile and recalcitrant soil carbon pools in a sorghum free-air CO<sub>2</sub> enrichment (FACE) agroecosystem. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 39, n. 9, p. 2250-63, Sept. 2007.
- CONCEIÇÃO P. C. et al. Fracionamento densimétrico com politungstato de sódio no estudo da proteção física da matéria orgânica em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Brasília, v. 32, n. 2, Mar./Abr. 2008.
- CONCEIÇÃO, P. C. et al. Eficiência de soluções densas no fracionamento físico da matéria orgânica do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Brasília, v. 39, n. 2, Mar./Abr. 2015.
- CONCEIÇÃO, P. C. et al. Fracionamento físico da matéria orgânica e índice de manejo de carbono de um Argissolo submetido a sistemas conservacionistas de manejo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 44, n.5, p. 794-800, Maio 2014
- D'ANDRÉA, A. F. et al. Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 2, p. 179-186, Fev. 2004.
- FIGUEIREDO, C. C. **Compartimentos da matéria orgânica do solo sob sistemas de manejo e vegetação natural de cerrado**. 2009. 100p. Tese (Doutorado em Agronomia)-Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2009.
- FIGUEIREDO, C. C.; RESCK, D. V. S.; CARNEIRO M. A. C. Labile and stable fractions of soil organic matter under management systems and native Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 34, n. 3, May/June 2010.
- GAZOLLA, P. R. et al. Frações da matéria orgânica do solo sob pastagem, sistema plantio direto e integração lavoura-pecuária. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 36, n. 2, p. 693-704, Mar./Abr. 2015.

GOLCHIN, A. et al. Study of free and occluded particulate organic matter in soils by solid state  $^{13}\text{C}$  CP/MAS NMR spectroscopy and scanning electron microscopy. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, v. 32, n. 2. p. 285-309, Jan. 1994.

GUARESCHI, R. F.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A. Deposição de resíduos vegetais, matéria orgânica leve, estoques de carbono e nitrogênio e fósforo remanescente sob diferentes sistemas de manejo no Cerrado Goiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 36, n. 3, p. 909-920, Maio/Jun. 2012.

LAL, R.; BRUCE, J. P. The potential do world cropland soils to sequester C and mitigate the greenhouse effect. **Environmental Science & Policy**, v.2, n. 2, p. 177-185, May 1999.

LOURENTE, E. R. P. et al. Atributos microbiológicos, químicos e físicos de solo sob diferentes sistemas de manejo e condições de Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Brasília, v. 41, p. 20-28, Jan./Mar. 2011.

MARCHIORI JÚNIOR, M.; MELO, W. J. Alterações na matéria orgânica e na biomassa microbiana em solo de mata natural submetido a diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Brasília, v. 35, n. 6, p. 1177-1182, Jun. 2000.

NICOLOSO, R. S. et al. Balanço do carbono orgânico no solo sob integração lavoura-pecuária no Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 6, p. 2425-2433, Nov./Dec. 2008.

PORTUGAL, A. F. et al. Determinação de estoques totais de carbono e nitrogênio e suas frações em sistemas agrícolas implantados em Argissolo Vermelho-Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 5. p.2091-2100, Set./Out. 2008.

RIBEIRO, M. F. S.; SKORA NETO, F. S.; SANTOS, J. A. B. Plantio Direto na pequena propriedade. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 22, n. 208, p.100-108, 2001.

ROSSI, C. Q. et al. Frações lábeis da matéria orgânica em sistema de cultivo com palha de braquiária e sorgo. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 43, n. 1, p. 38-46, Jan./Mar. 2012

SALTON, J. C. et al. Integrated crop-livestock system in tropical Brazil: Toward a sustainable production system. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 190, p. 70-79, June 2014.

SANTOS, D. C. et al. Agregação e proteção física da matéria orgânica em Planossolo háplico sob diferentes sistemas de manejo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, p.28:54-63, 2012.

SOUZA, E. D. et al. Estoques de carbono orgânico e de nitrogênio no solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 33, n. 6, p.1829-1836, Nov./Dec. 2009.

SCHIAVO, J. A. et al. Índice de manejo de carbono e atributos químicos de Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 10, p. 1332-1338, Out. 2011.

SILVA, E. F. et al. Frações lábeis e recalcitrantes da matéria orgânica em solos sob integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n.10, p. 1321-1331, Out. 2011.

SIX, J. et al. Aggregation and soil organic matter accumulation in cultivated and native grassland soils. **Soil Science Society of America Journal**, Kansas, v. 62, p. 1367-1377, Sept./Oct. 1998.

SOUZA, E.D. et al. Organic carbon and microbial phosphorus in a no-till integrated croplivestock system under different grazing intensities. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, MG, v. 32 n. 3, May/June 2008.

SOUZA, G. P. **Frações lábeis e humificadas do carbono orgânico do solo sob sistemas de manejo com sucessão soja-milho no cerrado**. 2013. 102p. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

**ARTIGO 1 - SISTEMAS DE MANEJO E USO DO SOLO SOBRE AS  
FRAÇÕES E ESTOQUES DE CARBONO E NITROGÊNIO EM  
LATOSSOLO SOB CERRADO**



## RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar o teor e estoque de carbono, nitrogênio e suas frações no solo em diferentes sistemas de uso e manejo no Cerrado. Os tratamentos foram: cerrado nativo (referência), plantio direto há 18 anos, área com café por 11 anos e sistema integrado de produção agropecuária por 2 anos. Os estoques de carbono orgânico total foram influenciados pelos sistemas de uso e manejo do solo, sendo que o cerrado apresentou estoque de  $74,3 \text{ Mg ha}^{-1}$ , seguido pelo plantio direto com  $58,8 \text{ Mg ha}^{-1}$ , café com  $56,4 \text{ Mg ha}^{-1}$  e integração lavoura-pecuária com  $50,8 \text{ Mg ha}^{-1}$ . Os estoques de nitrogênio total seguiram comportamento semelhante aos estoques de carbono, em que o cerrado apresentou  $4,84 \text{ Mg ha}^{-1}$ , seguido pelo plantio direto com  $3,71 \text{ Mg ha}^{-1}$ , café com  $2,87 \text{ Mg ha}^{-1}$  e integração lavoura-pecuária com  $2,47 \text{ Mg ha}^{-1}$ . Já os estoques de carbono orgânico particulado foram de 8,7, 10,1, 12,8 e  $16,5 \text{ Mg ha}^{-1}$  para o plantio direto, café, integração lavoura-pecuária e cerrado, respectivamente. Sistemas conservacionistas como integração lavoura pecuária em plantio direto por 2 anos e plantio direto por 18 anos não foram suficientes para elevar os estoques de carbono orgânico total, nitrogênio total e suas frações aos níveis originais.

Palavras-chave: Plantio direto. Integração lavoura-pecuária. Carbono orgânico particulado. Índice de manejo de carbono.

## ABSTRACT

The objective of this study was to assess the content and stock of carbon, nitrogen and its fractions in soils under different land uses and managements in the Cerrado. The treatments were: native Cerrado (reference), no-tillage 18 years, area under coffee for 11 years and crop-livestock integration for 2 years. The total organic carbon were influenced by land use systems and soil management, where the native Cerrado had stock of 74.3 Mg ha<sup>-1</sup>, followed by no-tillage with 58.8 Mg ha<sup>-1</sup>, coffee with 56.4 Mg ha<sup>-1</sup> and crop-livestock integration with 50.8 Mg ha<sup>-1</sup>. The stocks of total nitrogen followed similar behavior to the total organic carbon stocks in the native Cerrado presented 4.84 Mg ha<sup>-1</sup>, followed by no-tillage with 3.71 Mg ha<sup>-1</sup>, coffee with 2.87 Mg ha<sup>-1</sup> and crop-livestock integration with 2.47 Mg ha<sup>-1</sup>. The stocks of particulate organic carbon were at 8.7, 10.1, 12.8 and 16.5 Mg ha<sup>-1</sup> to no-tillage, coffee, crop-livestock integration and native Cerrado, respectively. Crop-livestock integration systems such as conservation tillage on for 2 years and no-tillage for 18 years were not enough to lift the stocks of total organic carbon, total nitrogen and its fractions to the original levels.

Keywords: No-tillage. Integration crop-livestock systems. Particulate organic carbon. Carbon management index.

## 1 INTRODUÇÃO

A região do Cerrado é uma importante fronteira agrícola no Brasil, com área de 203,4 milhões de ha (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA, 2014), o que representa 24% do território nacional. Cerca de 80 milhões de ha, equivalente a 39% da área total, vem sendo utilizada para fins de pecuária e agricultura (GUARESCHI; PEREIRA; PERIN, 2012). Nestas áreas a substituição da vegetação nativa e a introdução de sistemas de produção agrícola promovem alterações nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo, sendo dependentes das condições climáticas, do tipo de cultura e das práticas de manejo adotadas (CARNEIRO et al., 2009; CARVALHO et al., 2010; SIQUEIRA-NETO et al., 2010; SALTON et al., 2014).

Dentre os sistemas de manejo de solo adotados no Brasil, o sistema de plantio direto (SPD) que consiste na rotação de culturas, manutenção de resíduos vegetais sob a superfície do solo e na preservação da estrutura do solo tem contribuído com significativas melhorias nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo (CARNEIRO et al., 2009; CARVALHO et al., 2010; CARNEIRO et al., 2013). Associado ao plantio direto, o sistema integrado de produção agropecuária (SIPA) consiste na integração entre agricultura e pecuária e tem sido apontado como vantajoso economicamente e ambientalmente quando comparado às atividades isoladas de agricultura ou pecuária (BALBINOT JUNIOR et al., 2009; SCHIAVO et al., 2011; SILVA et al., 2011; SALTON et al., 2014). Nesse sistema torna-se possível aumentar o aporte de resíduos orgânicos no solo melhorando sua cobertura e contribuindo para incremento da matéria orgânica do solo e do teor nitrogênio total (TRACY; ZHANG, 2008, CARVALHO et al., 2010; SILVA et al., 2011).

Porém, em regiões tropicais, devido às elevadas temperaturas e índices pluviométricos, ocorre o incremento da atividade microbiana do solo, propiciando

rápida decomposição dos resíduos orgânicos depositados na superfície do solo (CARNEIRO et al., 2008; SILVA et al., 2011; BELO et al., 2012), diminuindo a eficiência dos sistemas de manejos adotados na manutenção, e conservação da matéria orgânica e do nitrogênio total do solo (CARNEIRO et al., 2009; GUARESCHI; PEREIRA; PERIN, 2012).

Devido sua grande importância para a manutenção dos sistemas de produção, o carbono e o nitrogênio e suas frações são utilizados na avaliação e monitoramento da qualidade do solo (SIQUEIRA-NETO et al., 2010; VEZZANI; MIELNICZUK, 2011). Segundo Conceição et al. (2005), a matéria orgânica do solo afeta diretamente diversos atributos do solo, como a infiltração e retenção de água, a susceptibilidade à erosão, a complexação de elementos tóxicos, a estruturação do solo e a ativação da microbiota do solo, sendo esse atributo importante também na mitigação das emissões de gases do efeito estufa para a atmosfera.

Uma fração importante da matéria orgânica do solo é a particulada, sendo constituída por resíduos de plantas em decomposição, macrofauna edáfica e biomassa microbiana do solo, que possui alta taxa de decomposição e curto tempo de residência no solo. Essa fração desempenha a importante função de fornecimento de nutrientes às plantas e energia aos microrganismos do solo via mineralização (SILVA; MENDONÇA, 2007), pois é facilmente decomponível e um substrato de decomposição rápida.

A avaliação de diferentes sistemas de manejo e uso do solo é importante a fim de direcionar estratégias para manutenção do carbono e nitrogênio no solo, diminuição das perdas de matéria orgânica promovendo a manutenção da capacidade produtiva do solo.

O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos dos sistemas de manejo e uso do solo sobre as frações e estoques de carbono e nitrogênio em um Latossolo Vermelho distroférico sob Cerrado.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

O trabalho foi realizado na área experimental da Universidade Federal de Goiás (UFG), localizada no Campus de Jataí/GO, a 17°55'34" S e 51°42'51" O, em uma altitude de 800 m e pluviosidade média anual de 1700 mm sendo o clima classificado, segundo Köppen, como tropical chuvoso (Aw), com temperatura média de 22 °C. O solo foi classificado como Latossolo Vermelho distroférico (EMBRAPA, 2013), relevo plano a suavemente ondulado.

As áreas apresentam condições topográficas, climáticas e de solo semelhantes e são contíguas, diferindo apenas nos sistemas de uso e manejo do solo. Os históricos das áreas selecionadas estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1 Históricos das áreas de estudo

Área	Descrição
Sistema de Plantio Direto (SPD)	Área sob cultivo de grãos há 18 anos (1993). Em 2001 iniciou-se o sistema de plantio direto com aplicação de 3,5 Mg ha <sup>-1</sup> de calcário dolomítico sendo incorporado a uma profundidade 20 cm com o uso de grade niveladora e a partir deste ano não houve revolvimento do solo. Sequencia soja/milho ou sorgo com aplicação de 350 kg ha <sup>-1</sup> de NPK (formulação 02-18-18) no plantio da soja e de 200 kg ha <sup>-1</sup> de superfosfato simples no plantio da safrinha. Área total 30 ha.
Café (CA)	Implantado no ano de 2001 em espaçamento 3x4 m, com aplicação de calcário dolomítico para elevar a saturação por bases a 60% e incorporação até 20 cm com auxílio de uma aração e duas gradagens. A cultura foi submetida à irrigação por gotejamento até o ano de 2006, quando foi realizada a última adubação. Nas entrelinhas era realizado anualmente o manejo das plantas espontâneas, com pulverização, e roçada em agosto. Área total 7,2 ha.
Sistema integrado de produção agropecuária (SIPA)	Pastagem degradada até o ano de 2008, implantando o sistema integrado de produção agropecuária em 2009, aplicando 2 Mg ha <sup>-1</sup> de calcário dolomítico incorporado há 20 cm, com uma aração e duas gradagens. Posteriormente não houve revolvimento do solo. A partir da safra 2009/2010 a sequência foi plantio de soja na safra, com a aplicação de 350 kg ha <sup>-1</sup> de NPK (formulação 02-18-18) e <i>Urochloa ruziziensis</i> na safrinha com aplicação de 250 kg ha <sup>-1</sup> de ureia. Após a gramínea atingir altura de 20 cm, o gado foi colocado na área na lotação de 3,5 unidades animal ha <sup>-1</sup> . Área total 6,0 ha.
Cerrado Nativo (CE)	Área nativa com vegetação diversificada e densa, solo coberto por uma espessa camada de serapilheira (Cerradão). Área total 10 ha.

O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado com cinco repetições. A amostragem de solo foi realizada no mês de outubro de 2011 em trincheiras de 30x20x25 cm (largura, comprimento e profundidade, respectivamente) em cada uma das áreas nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm, coletando-se dez sub amostras simples para fazer uma amostra composta. As amostras de solo foram secas ao ar, tamisadas em peneira com malha de 2 mm e armazenadas em frascos plásticos para posterior análise. Para a determinação dos

atributos físicos e químicos das amostras das áreas (Tabela 2), foram empregadas as metodologias descritas em Embrapa (1997).

Tabela 2 Atributos na camada de 0-20 cm de um Latossolo Vermelho distroférico no Cerrado

Áreas	pH-H <sub>2</sub> O	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup> + Al <sup>3+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	P
	-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----						mg dm <sup>-3</sup>
SPD <sup>(1)</sup>	6	0	4,1	2,8	1,1	0,1	11
CA	6,5	0	3,3	3,1	1,3	0,2	9
SIPA	4,8	0,2	6,3	0,8	0,4	0,1	1,4
CE	5,5	0,1	6,8	2,8	0,9	0,3	1,2
	Argila		Silte		Areia		
	-----g kg <sup>-1</sup> -----						
SPD <sup>(1)</sup>	520		300		180		
CA	480		330		190		
SIPA	520		220		260		
CE	570		230		200		

<sup>(1)</sup>SPD: Lavoura Plantio Direto; CA: Café; SIPA: Sistema integrado de produção agropecuária; CE: Cerrado Nativo

O fracionamento físico da matéria orgânica foi realizado seguindo a metodologia proposta por Cambardella; Elliot (1992), onde foram pesados 15 g de solo de cada área e profundidade, tamisado em malha 2 mm, colocados em frascos do tipo “snap-cap” de 180 mL e adicionados 60 mL de solução de hexametáfosfato de sódio (7,5 g L<sup>-1</sup>). As amostras foram então agitadas por 15 h em agitador horizontal; posteriormente, a suspensão foi passada em peneira de 53 µm com auxílio de jato de água, sendo o material retido na peneira seco em estufa a 50 °C até massa constante. Depois de mensurada a massa, o material foi moído em gral de porcelana e, posteriormente, determinado o teor de carbono orgânico, sendo este considerado o carbono orgânico particulado (COP). O carbono orgânico associado aos minerais (CAM) foi calculado pela diferença entre o

carbono orgânico total (COT) e o carbono orgânico particulado (COP) (DIEKOW et al., 2005).

O carbono orgânico total (COT) e (COP) foram determinados por oxidação a quente com dicromato de potássio e titulação com sulfato ferroso amoniacal (EMBRAPA, 1997). O nitrogênio total (NT) e particulado (NP) foram determinados pelo método Kjeldahl, segundo Tedesco; Gianello; Bissani (1995).

Os estoques de COT, COP, NT e NP foram calculados pelo método da massa equivalente de solo (ELLERT; BETTANY, 1995), que leva em consideração a massa das diferentes áreas em relação ao solo da área de referência (cerrado nativo). Desta forma, o cálculo dos estoques foi baseado nas menores densidades de solo em relação à área de cerrado nativo: 1,03 Mg m<sup>-3</sup> (0-5 cm), 1,01 Mg m<sup>-3</sup> (5-10 cm) e 1,09 Mg m<sup>-3</sup> (10-20 cm).

O cálculo do Índice de Manejo de Carbono (IMC) e de seus componentes foi efetuado a partir da proposta original de Blair; Lefroy; Lisle (1995) com as adaptações de Diekow et al. (2005), que considera o COP representante da fração lábil e o CAM como não lábil, segundo a expressão abaixo:

$$\text{IMC} = \text{IEC} \times \text{ILC} \times 100$$

em que: IEC = estoque de carbono orgânico total do tratamento/estoque de carbono orgânico total da referência; ILC = Labilidade do C no tratamento/Labilidade do C na referência; LC = estoque de carbono orgânico lábil/estoque de carbono orgânico não lábil.

Os dados foram submetidos à análise de variância e aplicado o teste de Tukey (p < 0,05) para comparação dos valores médios entre as áreas avaliadas com auxílio do programa estatístico SISVAR 5.6 (FERREIRA, 2014).



### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os sistemas de uso e manejo do solo, em todas as profundidades, não foram capazes de recuperar os teores de carbono orgânico total (COT) em relação ao Cerrado Nativo (CE) (Figura 1a). Na camada superficial observou-se decréscimo no COT na ordem de 21, 33 e 46% para lavoura em plantio direto (SPD), café (CA) e sistema integrado de produção agropecuária (SIPA), respectivamente, em relação ao cerrado nativo (CE).

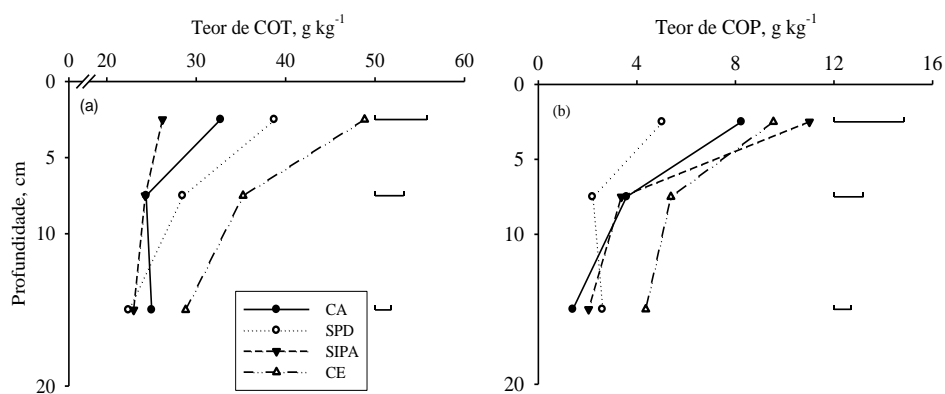


Figura 1 Teores de carbono orgânico total (COT) (a) carbono orgânico particulado (COP) (b) do solo em profundidade sob diferentes sistemas de uso e manejo. CA: café; SPD: lavoura plantio direto, SIPA: sistema integrado de produção agropecuária e CE: cerrado nativo. As barras referem-se a diferenças mínimas significativas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ )

Diversos estudos demonstram que ocorrem reduções nos teores de COT após a conversão da vegetação nativa para sistemas agrícolas, no entanto, há uma recuperação desse atributo com a consolidação de sistemas conservacionistas (DIEKOW et al., 2005; CARVALHO et al., 2010; SOUSA NETO et al., 2014), fato não observado no presente estudo, uma vez que após 10 anos de sistemas agrícolas, as áreas CA e SPD não apresentaram recuperação do teor de COT em

relação ao CE. Estudo conduzido por Siqueira-Neto et al. (2010) mostrou que a adoção do plantio direto por período superior a 12 anos foi eficiente na recuperação do COT comparando-se ao Cerrado nativo em diferentes Latossolos no estado de Goiás. As culturas utilizadas na rotação devem ser eficientes na produção de biomassa, pois, segundo Guareschi; Pereira; Perin (2012) há dificuldades de manutenção de fitomassa na região do cerrado devido a elevada temperatura e úmida, fatores que aceleram o processo de decomposição e impedem o acúmulo de carbono no solo. Portanto, para as áreas SPD e CA deve-se adotar sistemas de manejo do solo e rotações com culturas de maior aporte de fitomassa em relação ao atual para que após processos de decomposição/mineralização ha a incorporação de COT no solo.

No SIPA observou-se menor teor de COT (Figura 1a), o que pode ser explicado pelo fato do sistema ser jovem em área que anteriormente estava com pastagem em avançado estágio de degradação e que na implantação do sistema o solo foi revolvido, corrigido e adubado, fatos que aceleram o processo de decomposição da matéria orgânica nativa do solo, favorecendo ainda mais a redução de COT. No entanto, observa-se maior entrada de carbono orgânico particulado (COP) em relação à área de SPD (Figura 1b) e isso indica acúmulo de carbono com o tempo de adoção e a consolidação do sistema, corroborando com estudo de Carvalho et al. (2010).

O teor de COP na camada superficial foi menor na área de SPD em relação às demais áreas estudadas. Nas demais profundidades, os sistemas de manejo e uso do solo não diferiram entre si (Figura 1b). Essa fração de carbono é considerada como a mais sensível ao manejo, e está relacionada com a entrada no solo de compostos mais facilmente decomponíveis encontrados nos resíduos das culturas (PORTUGAL et al., 2008; SOUZA et al., 2009; CONTE et al., 2011; VEZZANI; MIELNICZUK, 2011). No presente estudo, foi observada uma correlação negativa entre o COP e o COT no sistema de plantio direto ( $r = -$

0,71\*\*), indicando que neste sistema está ocorrendo maior gasto de energia (C) sem incorporação de carbono orgânico ao solo.

No SIPA o maior teor de COP pode ser devido à deposição de material orgânico vegetal (fitomassa), de resíduos orgânicos dos animais (urina e fezes), rizodeposição das plantas e manutenção da estrutura do solo (SILVA et al., 2011; SOUZA et al., 2009). A fração particulada da matéria orgânica ativa a microbiota do solo que a utiliza como fonte de energia, e contribui para a incorporação de COT no sistema solo, fato observado pela correlação significativa e positiva entre COT e COP ( $r=0,66^*$ ), corroborando com outro estudo em diferentes sistemas de manejo e uso do solo (GUARESCHI; PEREIRA; PERIN, 2012). A deposição de resíduos culturais, a rizodeposição sobre o solo e o aumento de teor de carbono orgânico total na superfície resultam em efeitos importantes em relação à ciclagem de nutrientes, agregação, atividade microbiana, movimento e armazenamento de água do solo e troca de gases com a atmosfera. Isto pode contribuir com maior produtividade das culturas (BAYER et al., 2004).

Na área referência (CE) observou-se maiores teores de nitrogênio total (NT) em todas as profundidades avaliadas, seguido pelo SPD (Figura 2a). Verifica-se que os sistemas de manejo do solo apresentaram reduções no teor de NT em todas as profundidades, sendo que na camada superficial a redução foi de 33, 36 e 59% para o SPD, CA e SIPA, respectivamente, em relação ao CE, sendo a mesma tendência observada para as demais profundidades.

Para o nitrogênio particulado (NP) somente o SIPA apresentou redução em relação ao CE na ordem de 58% na camada superficial. A conversão de áreas nativas em sistemas agrícolas demanda revolvimento para sistematização e correção do solo, o que favorece a mineralização da matéria orgânica nativa e do próprio nitrogênio orgânico, diminuindo os teores de nitrogênio nestas áreas, sendo que sua recuperação acompanha o teor de carbono no solo como pode ser observada pela correlação positiva e significativa entre o COT e NT ( $r=0,89^{**}$ ).

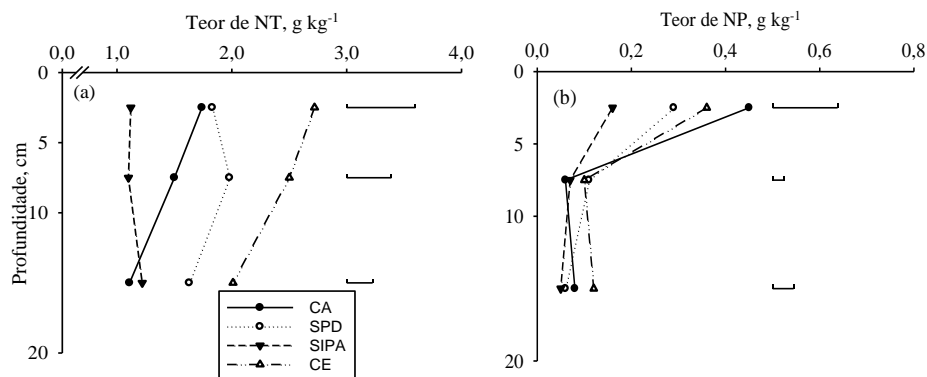


Figura 2 Teores de nitrogênio total (NT) (a) e nitrogênio na matéria orgânica particulada (NP) (b) do solo em profundidade sob diferentes sistemas de uso e manejo. CA: café; SPD: lavoura plantio direto, SIPA: sistema integrado de produção agropecuária e CE: cerrado nativo. As barras referem-se a diferenças mínimas significativas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ )

Os estoques de COT foram influenciados pelos sistemas de uso e manejo do solo, onde o CE apresentou estoque de  $74,3 \text{ Mg ha}^{-1}$ , seguido pelo SPD com  $58,8 \text{ Mg ha}^{-1}$ , CA com  $56,4 \text{ Mg ha}^{-1}$  e SIPA com  $50,8 \text{ Mg ha}^{-1}$  (Figura 3a). Já os estoques de COP foram de  $8,7$ ,  $10,1$ ,  $12,8$  e  $16,5 \text{ Mg ha}^{-1}$  para o SPD, CA, SIPA e CE, respectivamente (Figura 3b). As reduções nos estoques, em relação ao CE, foram de  $22$ ,  $39$  e  $47\%$  para a SIPA, CA e SPD, respectivamente. Os maiores estoques de COT e COP observados na área de referência (CE) é atribuído a não perturbação do sistema associado a entrada de resíduos orgânicos diversos, ou seja, a um balanço equilibrado entre entrada e saída de carbono, fato não observado nas demais áreas estudadas.

Os estoques de NT seguiram comportamento semelhante aos estoques de COT, apresentando reduções nos estoques de NT com a conversão de área nativa para sistemas agrícolas de  $23$ ,  $41$  e  $49\%$ , respectivamente, para o SPD, CA e SIPA. Com relação ao NP, a redução com relação ao CE ( $485 \text{ kg ha}^{-1}$ ) foi de  $54\%$  ( $221$

kg ha<sup>-1</sup>) quando se introduziu o SIPA por menos de 3 anos (Figura 4b). Já o SPD e CA conseguiram recuperar os estoques de NP em valores semelhantes à condição original de CE (Figura 4b).

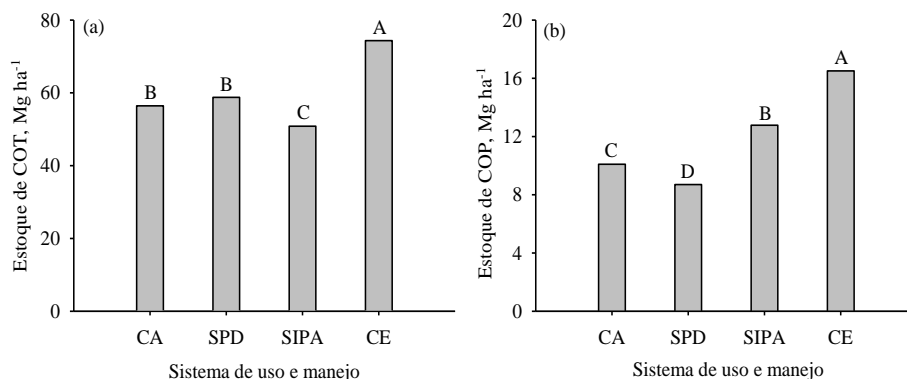


Figura 3 Estoques de carbono orgânico total (COT) (a) e particulado (COP) (b) do solo em profundidade sob diferentes sistemas de uso e manejo. CA: café; SPD: lavoura plantio direto, SIPA: sistema integrado de produção agropecuária e CE: cerrado nativo. Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si, pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ )

Os valores de estoque de COT observados no presente trabalho estão dentro da faixa de valores encontrados por outros autores em solos de cerrado (D'ANDRÉA et al., 2004; SILVA et al., 2011; GUARESCHI; PEREIRA; PERIN, 2012). Verificou-se que os sistemas de manejo e uso do solo estudados promoveram diminuição nos estoques de COT, COP e NT e não foram capazes de recuperar os teores em relação ao CE, fato que corrobora com dados de outros autores (CARVALHO et al., 2010; SILVA et al., 2011; SOUSA NETO et al., 2014).

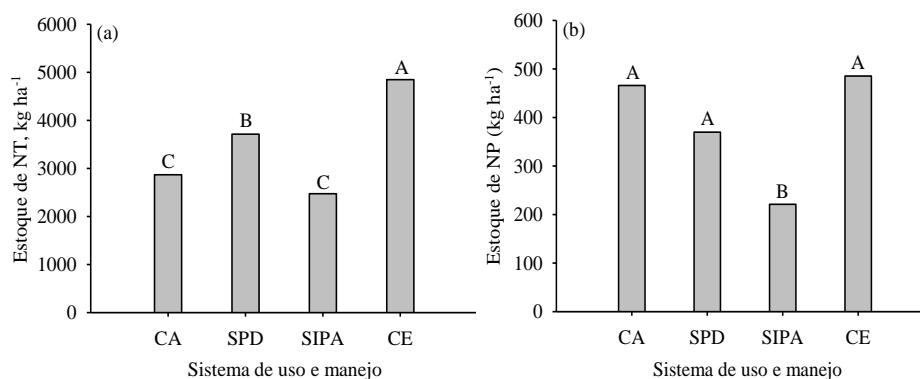


Figura 4 Estoques de nitrogênio total (NT) (a) e particulado (NP) (b) do solo em profundidade sob diferentes sistemas de uso e manejo. CA: café; SPD: lavoura plantio direto, SIPA: sistema integrado de produção agropecuária e CE: cerrado nativo. Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si, pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ )

Já com relação ao estoque de NT, entre os sistemas de manejo, verifica-se que os maiores valores são obtidos no SPD com aumento de 50 e 29% em relação à SIPA e CA, respectivamente. Esse comportamento do SPD em relação ao CA e SIPA pode ser devido à maior adição de N ao solo pela soja via fixação biológica do nitrogênio, e pelos fertilizantes aplicados na cultura de safrinha. No SIPA o revolvimento recente do solo e a busca por um novo equilíbrio favorece aumento na mineralização do N orgânico pelos microrganismos do solo, que pode favorecer as perdas do nutriente por lixiviação e ou volatilização. D'Andréa et al. (2004) não verificaram efeito dos sistemas de uso e manejo do solo sobre os estoques de NT, divergindo dos dados do presente estudo. Para Amado et al. (2001) as modificações nos estoques de N estão relacionadas principalmente com a quantidade e qualidade do resíduo depositado no solo.

O menor estoque de NP no SIPA pode estar relacionado com o baixo teor e estoque de COT encontrado no sistema e à sua recente implantação em área de pastagem degradada, associado a uma rotação de cultura que não favorece a incorporação de nitrogênio via fixação biológica. Conceição et al. (2005) comenta

que incrementos no estoque de N na fração particulada da matéria orgânica podem aumentar a disponibilidade desse nutriente às culturas, elencando dois motivos cruciais: o primeiro pela questão do tempo de meia vida da fração ser pequeno, e o segundo por estar localizado próximo a superfície do solo, facilitando o processo de absorção do N pelo sistema radicular.

Os valores de IMC foram de 58, 48 e 79 para o CA, SPD e SIPA, respectivamente (Figura 5). A melhoria na qualidade da MOS no SIPA, em relação aos demais manejos, observado nos estoques de COP, podem ser confirmados pela correlação entre o COP e IMC ( $r=0,99^{**}$ ) altamente significativa e positiva, e ao se avaliar o IMC (79%) superior ao CA e SPD. O aumento do IMC indica a capacidade do SIPA de recuperar a labilidade da MOS e com o decorrer do tempo elevar os estoques de COT. Silva et al. (2011) encontraram valores de IMC de 88% na camada de 0 a 10 cm em área sob SIPA com 8 anos de implantação, sendo superior a outros sistemas de manejo, inclusive do SPD com 23 anos em Latossolo Vermelho distroférico no estado do MS.

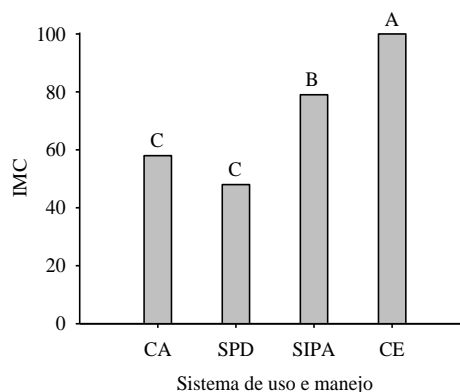


Figura 5 Índice de manejo de carbono (IMC) sob diferentes sistemas de uso e manejo na profundidade de 0-20 cm. CA: café; SPD: lavoura plantio direto, SIPA: sistema integrado de produção agropecuária e CE: cerrado nativo. Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si, pelo teste Tukey ( $p<0,05$ )

Os sistemas de manejos conservacionistas, sem revolvimento do solo, com rotação de culturas e que mantêm os resíduos culturais sob a superfície do solo proporcionam maior acúmulo de C e N nas frações totais e particuladas da matéria orgânica do solo (SOUZA et al., 2009; SILVA et al. 2011; CONTE et al., 2011).

Os resultados obtidos neste estudo são de extrema importância, pois demonstram que somente o não revolvimento do solo como no SPD e CA, não é suficiente para promover aumento nas frações e estoques de carbono e nitrogênio no solo, mesmo após mais de 18 anos. Para que haja aumento significativo nessas frações, há necessidade de adoção de manejo e uso do solo voltado para maior aporte de resíduos orgânicos no sistema, associado à rotação de culturas com o uso de leguminosas capazes de realizarem a fixação biológica de nitrogênio. Ressalta-se que o sistema integrado de produção agrícola, que ainda não está consolidado já apresenta indícios de melhoria no estoque de carbono e nitrogênio demonstrado pelo maior IMC; no entanto, seu monitoramento anual deverá indicar se o manejo atual está ou não contribuindo para o aumento das frações de carbono e nitrogênio do solo.



#### **4 CONCLUSÕES**

O carbono orgânico total, nitrogênio total e suas frações foram eficientes em distinguir o efeito do manejo e uso do solo em áreas distintas.

Os sistemas de plantio direto e café não foram eficientes em recuperar as frações e os estoques de carbono e nitrogênio do solo.

O período de três anos de implantação do sistema integrado de produção agropecuária não foi suficiente para recuperar os estoques de carbono orgânico total e nitrogênio particulado, embora, já se observe uma tendência de elevação do índice de manejo de carbono.

Os baixos valores de índices de manejo do carbono encontrados nos diferentes sistemas de manejos e uso do solo estudados indicam a perda de carbono em relação à vegetação nativa.

## REFERÊNCIAS

- AMADO, T. J. et al. Potencial de culturas de coberturas em acumular carbono no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 1, p. 25:189-197, Jan./Mar. 2001
- BALBINOT JÚNIOR, A. A. et al. Integração lavoura-pecuária: intensificação de uso de áreas agrícolas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 6, Set. 2009.
- BAYER, C. et al. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 7, p. 677-683, Jul. 2004.
- BELO, E. S. et al. Decomposição de diferentes resíduos orgânicos e efeito na atividade microbiana em um Latossolo Vermelho de Cerrado. **Global Science and Technology**, v. 5, n. 3, p. 107-116, Set./Dez. 2012.
- BLAIR, G. J.; LEFROY, R. D. B.; LISLE, L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a Carbon Management Index, for agricultural systems. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 46, n. 7, p. 1459-1466, 1995.
- CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOT, E. T. Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of America Journal**, Kansas, v. 56, n. 3, p. 777-783, May/June 1992.
- CARNEIRO, M. A. C. et al. Attributes quality indicators in cerrado soils surrounding the parque nacional das emas, state of Goiás, Brazil. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 29, n. 6, p. 1857-1868, 2013.
- CARNEIRO, M. A. C. et al. Produção de fitomassa de diferentes espécies de cobertura e alterações na atividade microbiana em solo de Cerrado. **Bragantia**, Campinas, SP, v. 67, n. 2, p. 261-266, 2008.
- CARNEIRO, M. A. C. et al. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de Cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 33, n. 1, p. 147-157, Jan./Fev. 2009.
- CARVALHO, J. L. N. et al. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil: uma revisão de literatura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 34, n. 2, p. 277-289, Mar./Abr. 2010.

CONCEIÇÃO, P. C. et al. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 9, n. 5, p. 777-788, Set./Out. 2005.

CONTE, O. et al. Densidade, agregação e frações de carbono de um Argissolo sob pastagem natural submetida a níveis de ofertas de forragem por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 35, n. 2, p.579-587, Mar./Abr. 2011.

D'ANDRÉA, A. F. et al. Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 2, p. 179-186, Fev. 2004.

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

ELLERT, B. H.; BETTANY, J. R. Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 75, n. 4, p. 529-538, 1995.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência & Agrotecnologia**, Lavras, MG, v. 38, n. 2, p. 109-112, 2014.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Notícias**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/2361250/embrapa-mapeia-degradacao-das-pastagens-do-cerrado>> Acesso em: 13 maio 2014.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de método de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 1997. 212p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Brasília, 2013. 353p.

GUARESCHI, R. F.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A. Deposição de resíduos vegetais, matéria orgânica leve, estoques de carbono e nitrogênio e fósforo remanescente sob diferentes sistemas de manejo no Cerrado Goiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 36, n. 3, p. 909-920, Maio/Jun. 2012.

- PORTUGAL, A. F. et al. Determinação de estoques totais de carbono e nitrogênio e suas frações em sistemas agrícolas implantados em Argissolo Vermelho-Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 5, p. 2091-2100, Set./Out. 2008.
- SALTON, J. C. et al. Integrated crop-livestock system in tropical Brazil: Toward a sustainable production system. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 190, p. 70-79, June 2014.
- SCHIAVO, J. A. et al. Índice de manejo de carbono e atributos químicos de Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 10, p. 1332-1338, Out. 2011.
- SILVA, E. F.; et al. Frações lábeis e recalcitrantes da matéria orgânica em solos sob integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 10, p. 1321-1331, Out. 2011.
- SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R. F. et al. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS/UFV, 2007. 1017p.
- SIQUEIRA-NETO et al. Soil carbon stocks under no-tillage mulch-based cropping systems in the Brazilian Cerrado: An on-farm synchronic assessment. **Soil and Tillage Research**, v. 110, n. 1, p. 187-195, 2010.
- SOUSA NETO, E. L.; Physical quality of an Oxisol under an integrated crop-livestock-forest system in the Brazilian Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 38, n.2, p. 608-618, Mar./Apr. 2014.
- SOUZA, E. D. et al. Estoque de carbono e nitrogênio total e nas frações da matéria orgânica do solo em sistema de integração agricultura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 33, n. 6, p. 1829-1836, Nov./Dez. 2009.
- TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p.
- TRACY, B. F.; ZHANG, Y. Soil compaction, corn yield response and soil nutrient pool dynamics within an integrated crop-livestock system in Illinois. **Crop Science**, v. 48, n. 3, p.1211-1218, 2008.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Agregação e estoque de carbono em Argissolo submetido a diferentes práticas de manejo agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 35, n. 1, p. 213-223, Jan./Fev. 2011.