



ARTIGO ORIGINAL

Arcângelo Loss<sup>1\*</sup>  
Marcos Gervasio Pereira<sup>2</sup>  
Sidinei Julio Beutler<sup>2</sup>  
Adriano Perin<sup>3</sup>  
Lúcia Helena Cunha dos Anjos<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia Rural, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Rod. Admar Gonzaga, 1346, 88034-000, Florianópolis, SC, Brasil

<sup>2</sup>Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ, Rod. BR 465, Km 7, 23890-000, Seropédica, RJ, Brasil

<sup>3</sup>Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Goiano, Campus Rio Verde, Rod. Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, 75901-970, Rio Verde, GO, Brasil

**Autor Correspondente:**

\*E-mail: [arcangeloloss@yahoo.com.br](mailto:arcangeloloss@yahoo.com.br)

**PALAVRAS-CHAVE**

Ciclagem e estoque de nutrientes  
Sistema radicular  
Sustentabilidade

**KEYWORDS**

Nutrient and storage cycling  
Root system  
Agricultural sustainability

## Densidade e fertilidade do solo sob sistemas de plantio direto e de integração lavoura-pecuária no Cerrado

### *Bulk Density and soil fertility under no-tillage systems and crop-livestock integration in the Cerrado*

**RESUMO:** O sistema de integração lavoura-pecuária (ILP) implantado por meio do sistema plantio direto (SPD) proporciona aumentos da fertilidade do solo e dos estoques de nutrientes. Este trabalho objetivou avaliar a densidade e a fertilidade do solo em diferentes sistemas de uso do solo no Cerrado. Foram avaliadas duas áreas com rotação de culturas: ILP (milho + braquiária/feijão/algodão/soja) e SPD (girassol/milheto/soja/milho). Uma área de Cerrado natural foi tomada como condição original do solo. Foram coletadas amostras de terra nas profundidades de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm e também até 100 cm de profundidade. Nas amostras coletadas até 100 cm, avaliou-se a densidade do solo (Ds). Para a fertilidade do solo, avaliou-se até 40 cm. Entre as áreas cultivadas, o sistema de ILP apresentou os menores valores de Ds até 10 cm de profundidade. A área de Cerrado apresentou os menores teores e estoques de nutrientes, exceto para o nitrogênio. O sistema de ILP apresentou maiores teores e estoques de nutrientes que a área de SPD. O sistema de ILP, associado às adubações realizadas nas culturas e na braquiária, acarretou maiores teores de fertilidade e estoques de nutrientes quando comparado com a área de SPD. O sistema de ILP tem potencial de uso agrícola no domínio morfoclimático do Cerrado por ser um sistema sustentável, pois apresenta manejo adequado do solo, das plantas (forrageiras e culturas comerciais) e dos animais, de forma que não causa restrições ao ambiente radicular.

**ABSTRACT:** *The crop-livestock integration system (CLI) implemented by no-tillage system (NTS) provides increases in soil fertility and nutrient stocks. This study aimed to evaluate the bulk density and soil fertility in different systems of land use in the Cerrado. Two areas with crop rotation were evaluated: CLI (corn + brachiaria/bean/cotton/soybean) and NTS (sunflower/millet/soybean/corn). An area of natural Cerrado was taken as the original condition of the soil. Soil samples were collected at 0-5, 5-10, 10-20 and 20-40 cm, and also until 100 cm depth. Bulk density (BD) was evaluated in the samples collected until 100 cm depth, while soil fertility was evaluated in the samples until 40 cm. Among the cultivated areas, the CLI system presented the lowest values of BD at 10 cm depth. The Cerrado area presented the lowest concentrations and nutrient stocks, except for nitrogen. The CLI system showed higher contents of nutrients and stocks than the NTS area. The CLI system, associated with fertilization performed in cultures and Brachiaria led to higher levels of fertility and nutrient stocks compared to the NTS area. The CLI system shows potential for agricultural use in the morphoclimatic field of the Cerrado, once it is a sustainable system because it presents adequate soil, plants (grasses and crops) and animals, in a way that no restrictions to the rooting medium are caused.*

## 1 Introdução

O Cerrado é o segundo maior bioma brasileiro, sendo superado apenas pelo Amazônico. Originalmente ocupava uma área em torno de 2.100.000 km<sup>2</sup>, sendo que, deste total, mais de 900.000 km<sup>2</sup> encontram-se desmatados (IBGE, 2010). Em menos de três décadas, o Cerrado transformou-se na principal área de produção agrícola do país, sendo hoje uma das maiores áreas cultivadas do mundo (SIQUEIRA NETO et al., 2009; LOSS, 2011). Os solos, na maioria, são ácidos, têm baixa capacidade de troca de cátions (CTC) e alta saturação por alumínio, com destaque para a ordem dos Latossolos, que representam 45% da área total (VENDRAME et al., 2010).

Com práticas de calagem e adubação, grande parte dos solos do Cerrado pode ser cultivada. No entanto, o monocultivo e outras práticas inadequadas têm causado redução da produtividade e degradação do solo, com diminuição dos teores de matéria orgânica do solo (MOS) e consequente redução da fertilidade e aumento da erosão (MARCHÃO et al., 2007; SIQUEIRA NETO et al., 2009; VENDRAME et al., 2010). Entre as formas de reverter este processo, destaca-se o sistema de integração lavoura-pecuária (ILP), implantado por meio do sistema plantio direto (SPD), que são sistemas de manejo de produção agrícola que contribuem para o aumento do sequestro de carbono e dos estoques de nutrientes no solo, principalmente quando associados à rotação de culturas (HEID; VITORINO; TIRLONI, 2009; LOSS, 2011; LOSS et al., 2012a). A utilização da ILP associada ao SPD pode contribuir para aumentar os teores de MOS e, consequentemente, para a melhoria da fertilidade do solo e dos estoques de nutrientes (ANGHINONI et al., 2011).

Entretanto, deve-se atentar para os efeitos do sistema de ILP nas propriedades físicas do solo, destacando a densidade do solo (Ds). Avaliando as propriedades físicas de Latossolo Vermelho no Cerrado, após quatro anos da fase pastagem, Marchão et al. (2007) verificaram que a compactação resultante do pisoteio animal nos sistemas de ILP não atingiu valores críticos, que pudessem limitar cultivos anuais subsequentes. Apesar de alguns trabalhos relatarem que o pastejo adequado na ILP influencia nas propriedades físicas do solo, mas não causam perdas no rendimento agrícola das culturas

subsequentes, essas pesquisas ainda são poucas e recentes para o Cerrado brasileiro (SILVA et al., 2011). Avaliando diferentes formas de manejo do solo no Cerrado, Souza et al. (2009) concluíram que a ILP reduz a porosidade total e aumenta a Ds. Avaliações por período de tempo maior são necessárias para verificar se essa tendência é real (SILVA et al., 2011).

Os benefícios do SPD, como o aumento dos teores de nutrientes do solo, também podem ser verificados quando da conversão de lavouras em SPD para sistemas de ILP. Por outro lado, o cultivo mais intensivo do solo pode levar à maior extração de nutrientes nas áreas sob ILP. Contudo, existem poucos estudos conclusivos sobre mudanças nos atributos edáficos, com destaque para a Ds e a fertilidade do solo, após a implantação destes sistemas de ILP (MARCHÃO et al., 2007; SOUZA et al., 2009; LOSS et al., 2011).

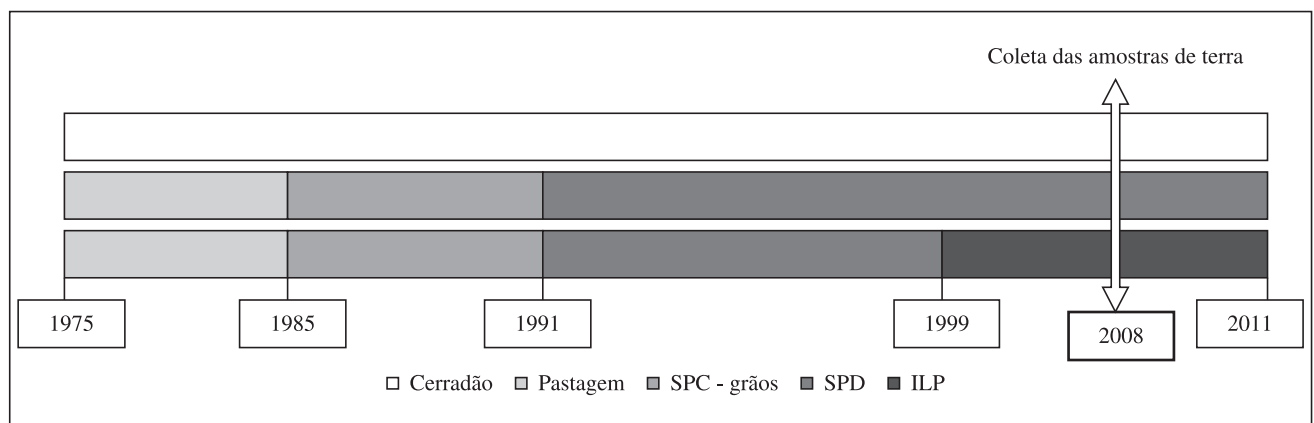
Desta forma, infere-se que o sistema de ILP implantado por meio do SPD acarreta aumentos da fertilidade do solo e dos estoques de nutrientes.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a densidade e a fertilidade do solo, com posterior quantificação dos estoques de nutrientes em diferentes sistemas de uso do solo no Cerrado goiano.

## 2 Material e Métodos

O estudo foi realizado na Fazenda Vargem Grande, pertencente à Agropecuária Peeters, localizada em Montividiu-GO. O clima da região se caracteriza por duas estações: uma seca (maio a setembro) e outra chuvosa (outubro a abril), conforme dados da Estação Meteorológica da Universidade de Rio Verde (FESURV) (17° 48' S e 50° 55' W, Rio Verde-GO). Para o ano agrícola de 2008, época da coleta das amostras de terra, os valores médios anuais de precipitação pluviométrica e temperaturas máximas e mínimas foram 1774 mm, 30 °C e 17,6 °C.

O solo das áreas avaliadas foi classificado como Latossolo Vermelho Distrófico, apresentando textura argilosa. A cobertura vegetal original da área é o Cerradão, retirado em 1975 para implantação de pastagens (*Urochloa decumbens*), que permaneceram na área sob uso contínuo por dez anos, até 1985 (Figura 1).



**Figura 1.** Histórico dos usos e processos de mudança do uso da terra, com as respectivas datas de implantação, na Fazenda Vargem Grande da Agropecuária Peeters, em Montividiu-GO.

O delineamento foi inteiramente casualizado, com três sistemas de uso do solo (tratamentos): Sistema de Plantio Direto (SPD), Integração Lavoura-Pecuária (ILP) e Cerradão, com quatro repetições cada.

As áreas foram manejadas por meio de aração e gradagem niveladora (Sistema de Preparo Convencional - SPC) até o ano de 1991 (7 anos), para o cultivo de grãos (milho, feijão, soja e girassol). Posteriormente, foi implantado o SPD com rotação de culturas – milho, soja, algodão, feijão – (1991 a 2008) e, a partir de 1999, parte do SPD foi convertida em Integração Lavoura-Pecuária (ILP) (1999 a 2008) (Figura 1).

Os sistemas avaliados consistiram de duas áreas cultivadas em SPD por 17 anos: uma área somente com rotação de culturas (girassol-milho-soja-milho), nas coordenadas 17° 21.120' S e 51° 29.461' W, e altitude de 958 m, e outra com braquiária (*Urochloa ruziziensis*) em consórcio ao milho safrinha, para intensificar a produção de palhada no período seco do ano (milho-braquiária-feijão-algodão-soja), de coordenadas 17° 21.854' S e 51° 28.599' W, e altitude de 859 m. Nesta área, foi utilizado o sistema de ILP, com o milho e a braquiária semeados simultaneamente, sendo a braquiária na entrelinha. Após a colheita do milho, foi feita a introdução de bovinos na área (2,0 UA por ha, sendo UA, a unidade animal), com permanência dos animais por 90 dias (julho a setembro). Após a retirada do gado, permaneceram apenas as touceiras de braquiária na área. Em seguida, esperou-se que ocorressem as primeiras chuvas e realizou-se uma adubação em cobertura na braquiária com 200 kg ha<sup>-1</sup> do formulado N P K (20:00:20) a lanco, na primeira quinzena de setembro. Após a rebrota, quando a área estava totalmente coberta pela capineira, foi feita a dessecação e o plantio do feijão. Uma área de Cerrado (Cerradão) natural adjacente às áreas cultivadas (17° 26.642' S e 51° 22.522' W, e altitude de 951 m) foi considerada como condição original do solo.

Na área de ILP, foi feita uma calagem em julho de 2005, utilizando-se uma dose de 3,60 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico, com PRNT = 70%, para elevar a saturação de bases para 70%. E, na área de SPD, foi realizada, também em julho de 2005, uma calagem na dose de 2,90 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico, com PRNT = 70%, para elevar a saturação de bases para 60%. A sequência de culturas e adubações utilizadas nas duas áreas, desde o ano de 2002 até 2008, é descrita na Tabela 1.

As áreas eram cultivadas com girassol em SPD e milho + braquiária em ILP quando da coleta das amostras de terra para avaliação. Os sistemas de uso do solo estavam sob as mesmas condições topográficas e edafoclimáticas, diferindo apenas no sistema de uso da terra. Dessa forma, delimitou-se uma área em torno de 600 m<sup>2</sup>, na qual foram abertas quatro trincheiras transversais às linhas de semeadura em cada área, para a coleta das amostras, realizadas em março de 2008. Foram amostradas as camadas de 0-5; 5-10; 10-20, e 20-40 cm para se avaliar a fertilidade do solo; também foi feita uma amostragem até 100 cm de profundidade (0-5; 5-10; 10-20; 20-30; 30-40; 40-50; 50-60; 60-80 e 80-100 cm), para fins de se determinar a densidade do solo (Ds) pelo método do anel volumétrico (EMBRAPA, 1997) e, posteriormente, calcular os estoques de nutrientes. Foram coletadas três amostras em cada profundidade amostrada, formando uma composta, com quatro repetições por sistema avaliado. Após a coleta,

as amostras foram identificadas e acondicionadas em sacos plásticos, sendo, em seguida, transportadas para o laboratório, secas ao ar e peneiradas a 2 mm de malha.

Foram mensurados, segundo Embrapa (1997), os seguintes parâmetros: pH em água, Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup>, Al<sup>+3</sup>, K<sup>+1</sup> e P assimilável, e segundo Tedesco et al. (1995), o nitrogênio total. Para o cálculo dos estoques dos nutrientes, foi utilizado o método da massa equivalente (ELLERT; BETTANY, 1995).

Os resultados foram analisados quanto à normalidade e à homogeneidade dos dados por meio dos testes de Lilliefors e de Cochran e Bartlett, respectivamente. Não foi necessário o uso de transformações de dados. Depois, estes foram submetidos à análise de variância com aplicação do teste F e os valores médios, quando significativos, foram comparados entre si pelo teste LSD-student a 5%.

### 3 Resultados e Discussão

Os maiores valores de Ds foram encontrados nas áreas de SPD e ILP, e os menores, na área de Cerradão, independentemente da profundidade avaliada (Figura 2). Esse padrão pode ter decorrido do manejo realizado nas áreas em SPD e ILP, com uso de máquinas agrícolas para plantio e colheita, contribuindo para os maiores valores de Ds nas áreas cultivadas em comparação aos menores valores na área de Cerradão, que não foi submetida à ação antrópica. Entre as áreas cultivadas, o solo sob ILP apresentou menores valores de Ds no intervalo compreendido entre 0-10 cm e, para a última camada avaliada, no intervalo de 80-100 cm, sendo nesta profundidade observados valores iguais aos da área de Cerradão (Figura 2).

Os menores valores de Ds observados no sistema de ILP podem ser atribuídos à utilização da braquiária, que possui um sistema radicular bem desenvolvido, contribuindo, assim, para um maior aporte de MOS (LOSS, 2011), o que pode favorecer maiores índices de agregação do solo (LOSS et al., 2011). Desta forma, pode-se inferir que provavelmente houve aumento da porosidade do solo e, conseqüentemente, uma redução dos valores de Ds. Estes resultados corroboram os obtidos por Fonseca et al. (2007), quando os autores avaliaram a Ds sob Cerrado sob duas rotações de culturas e verificaram que a área com braquiária apresentou os menores valores de Ds e maiores valores de agregação. Os autores concluíram que os menores valores de Ds encontrados foram ocasionados pelo sistema radicular da braquiária por meio de sua rizodeposição, com conseqüente aumento dos teores de MOS.

Em estudo sobre a evolução da qualidade física em uma unidade de referência tecnológica, em Querência-MT, após um ano de ILP, Franchini et al. (2010) verificaram que os resultados obtidos por meio da determinação da resistência à penetração (RP) evidenciaram que o uso de forrageiras tropicais (*Urochloa* sp.) em sistemas de ILP melhorou a qualidade física do solo, proporcionando, em um ano, a eliminação de camadas compactadas produzidas pelo uso contínuo do solo com maquinários agrícolas. A partir dos resultados obtidos por Franchini et al. (2010), pode-se inferir que, provavelmente, a diminuição da RP está associada à diminuição dos valores de Ds e à maior umidade.

**Tabela 1.** Sequência de culturas e adubações utilizadas nas áreas avaliadas da Fazenda Vargem Grande da Agropecuária Peeters, em Montividiu-GO.

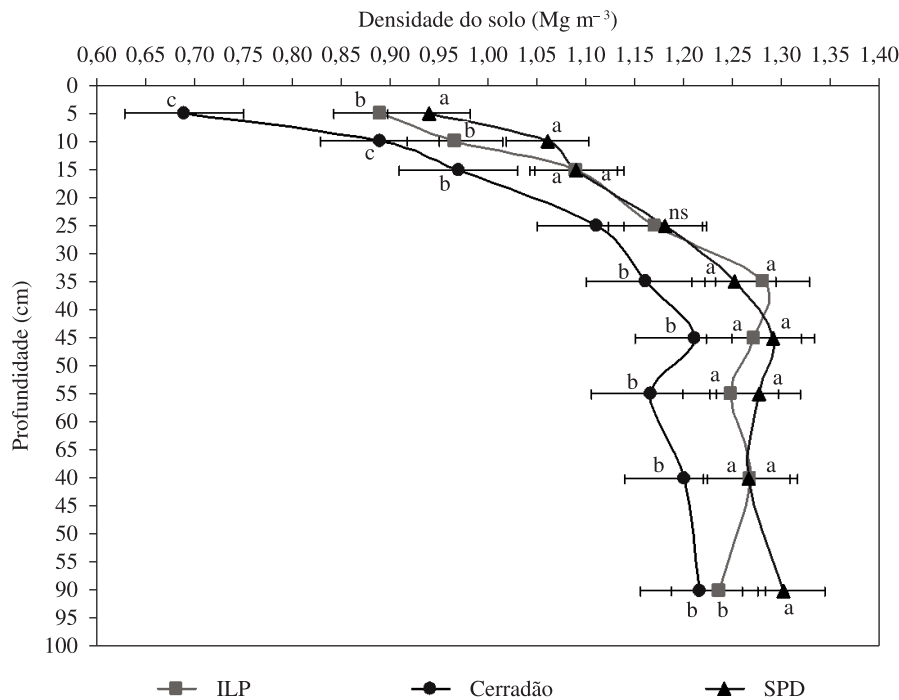
Ano	Mês	Cultura	Adubação	
			Plantio	Cobertura
Área de ILP (milho-braquiária-feijão-algodão-soja)				
2002	Outubro	Soja	580 kg ha <sup>-1</sup> de 02:20:18	-----
2003	Fevereiro	Milho + Braquiária	500 kg ha <sup>-1</sup> de 07:28:14	100 kg ha <sup>-1</sup> de ureia
2003	Outubro	Soja	580 kg ha <sup>-1</sup> de 02:20:18	-----
2004	Fevereiro	Milho + Braquiária	450 kg ha <sup>-1</sup> de 07:28:14	100 kg ha <sup>-1</sup> de ureia
2004	Outubro	Soja	500 kg ha <sup>-1</sup> de 02:20:18	-----
2005	Fevereiro	Milho + Braquiária	490 kg ha <sup>-1</sup> de 07:28:14	100 kg ha <sup>-1</sup> de ureia
2005	Setembro	Feijão	400 kg ha <sup>-1</sup> de 05:20:10	90 kg ha <sup>-1</sup> de ureia
2005	Dezembro	Algodão	500 kg ha <sup>-1</sup> de 10:30:10	250 kg ha <sup>-1</sup> de 20:00:20
2006	Outubro	Soja	500 kg ha <sup>-1</sup> de 02:20:18	-----
2007	Fevereiro	Milho + Braquiária	450 kg ha <sup>-1</sup> de 07:28:14	100 kg ha <sup>-1</sup> de ureia
2007	Outubro	Soja	450 kg ha <sup>-1</sup> de 02:20:18	-----
2008	Fevereiro	Milho + Braquiária	450 kg ha <sup>-1</sup> de 07:28:14	100 kg ha <sup>-1</sup> de ureia
2008	Setembro	Feijão	400 kg ha <sup>-1</sup> de 05:20:10	90 kg ha <sup>-1</sup> de ureia
2008	Dezembro	Algodão	500 kg ha <sup>-1</sup> de 10:30:10	250 kg ha <sup>-1</sup> de 20:00:20
Área de SPD <sup>1</sup> (girassol-milheto-soja-milho)				
2002	Agosto	Milheto	-----	-----
2002	Outubro	Soja	550 kg ha <sup>-1</sup> de 02:20:18	-----
2003	Fevereiro	Milho	450 kg ha <sup>-1</sup> de 07:28:14	100 kg ha <sup>-1</sup> de ureia
2003	Agosto	Milheto	-----	-----
2003	Outubro	Soja	550 kg ha <sup>-1</sup> de 02:20:18	-----
2004	Fevereiro	Milho	450 kg ha <sup>-1</sup> de 07:28:14	100 kg ha <sup>-1</sup> de ureia
2004	Agosto	Milheto	-----	-----
2004	Outubro	Soja	550 kg ha <sup>-1</sup> de 02:20:18	-----
2005	Fevereiro	Milho	450 kg ha <sup>-1</sup> de 07:28:14	100 kg ha <sup>-1</sup> de ureia
2005	Agosto	Milheto	-----	-----
2005	Outubro	Soja	550 kg ha <sup>-1</sup> de 02:20:18	-----
2006	Fevereiro	Girassol	300 kg ha <sup>-1</sup> de 02:20:20	100 kg ha <sup>-1</sup> de ureia
2006	Agosto	Milheto	-----	-----
2006	Outubro	Soja	500 kg ha <sup>-1</sup> de 02:20:18	-----
2007	Fevereiro	Milho	400 kg ha <sup>-1</sup> de 07:28:14	100 kg ha <sup>-1</sup> de ureia
2007	Agosto	Milheto	-----	-----
2007	Outubro	Soja	500 kg ha <sup>-1</sup> de 02:20:18	-----
2008	Fevereiro	Girassol	300 kg ha <sup>-1</sup> de 02:20:20	100 kg ha <sup>-1</sup> de ureia
2008	Agosto	Milheto	-----	-----
2008	Outubro	Soja	500 kg ha <sup>-1</sup> de 02:20:18	-----

<sup>1</sup>Na área de SPD, em todo mês de agosto de cada ano (2002 a 2008), era semeado o milheto para produção de palhada para o SPD da soja no mês de outubro. Antes de 2002, não era feita a safrinha e nem semeado o milheto. A área permanecia em pousio nos meses de maio a setembro, nascendo na área plantas da família das gramíneas, como o colônio e a braquiária.

Em relação aos valores de Ds em profundidade (0-100 cm), estes foram menores na superfície e aumentaram em profundidade, principalmente entre as camadas de 10-20 e 30-40 cm para os três sistemas de uso do solo avaliados. O aumento da Ds em profundidade pode apresentar relação com as pressões exercidas pelas camadas superiores, podendo promover compactação pela redução da porosidade. Além disso, o aumento da Ds em profundidade também está associado à redução dos teores de carbono (LOSS, 2011), à menor agregação do solo e à maior proximidade do material

de origem, ou seja, um material menos intemperizado, com menor porosidade.

Um dos principais entraves apontados para o sistema de ILP está na integração de atividades agrícolas com a pecuária, pois podem ocorrer alterações nas propriedades físicas do solo; dentre estas, o aumento da Ds pelo pisoteio animal. Segundo Flores et al. (2007), a atuação do gado, por meio do pisoteio, parece ser potencializada por períodos de déficit hídrico. Contudo, o manejo eficiente do pastejo animal não compromete o rendimento agrícola das culturas seguintes,



**Figura 2.** Valores da densidade do solo até 100 cm de profundidade nos diferentes sistemas de uso do solo em Montividiu-GO. (Barras de erro indicam o erro padrão da média, de quatro repetições). Médias seguidas de mesma letra não diferem entre as áreas avaliadas, em cada profundidade, pelo teste LSD-student a 5%.

apesar de ocorrerem alterações nas propriedades físicas do solo, com destaque para a Ds (MARCHÃO et al., 2007). Entretanto, neste estudo, não foram observadas diferenças entre as áreas cultivadas (ILP e SPD) para os valores de Ds, sendo verificado padrão contrário aos encontrados por Souza et al. (2009). Esses autores encontraram maiores valores de Ds nas áreas com ILP em comparação às áreas somente com lavoura. Estas diferenças podem ser decorrentes do número de animais por hectare: neste estudo, foi aplicada a relação de 2 UA/ha durante 9 anos e, no estudo de Souza et al. (2009), aplicou-se a relação de 4 UA/ha durante 6 anos.

A ausência de diferenças para os valores de Ds entre ILP e SPD corrobora os resultados obtidos por Moreira et al. (2012). Esses autores avaliaram a Ds em sistema de integração lavoura-pecuária sob Latossolo Vermelho no Paraná após 8 anos de implantação, variando a intensidade de pastejo (7, 14, 21 e 28 cm de altura), com média de 2,4 UA/ha. Segundo Moreira et al. (2012), não foram verificadas diferenças para os valores de Ds entre as áreas pastejadas e a área testemunha (sem pastejo) para as profundidades de 0-7,5 e 7,5-15 cm.

A área de Cerradão apresentou os menores valores de pH (0-5, 5-10 e 10-20 cm), sendo estes reflexos da condição natural do solo, com altos teores de Al (0,75, 0,65 e 0,55 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, respectivamente, para 0-5, 5-10 e 10-20 cm). As áreas de SPD e ILP não apresentaram diferenças entre si quanto ao pH, sendo os valores diretamente influenciados pelos valores de Ca e Mg encontrados nas áreas (Tabela 2). Note-se que os valores de Ca e Mg estão diretamente relacionados com a calagem realizada, nas duas áreas, no ano agrícola de 2005.

A área de ILP apresentou maiores valores de Ca e K em todas as profundidades avaliadas quando comparada às

demais áreas. Entre estas, destaca-se a área de Cerradão, com os menores valores de Ca e K em todas as profundidades avaliadas. Para o Mg, a área de SPD (5-10 e 20-40 cm) apresentou maiores valores do que a área de ILP, também se destacando a área de Cerradão, com os menores teores de Mg em todas as profundidades avaliadas. Resultados semelhantes ao deste estudo foram verificados por Siqueira Neto et al. (2009), ao avaliarem a fertilidade de Latossolos com diferentes usos em Rio Verde-GO. Os autores encontraram menores teores de Ca e Mg na área de Cerrado em comparação às áreas em SPD, sendo nestas observados maiores teores de Ca e Mg nas áreas com maior tempo de uso em SPD (12 anos).

As áreas cultivadas (SPD e ILP) apresentaram boa disponibilidade dos elementos Ca e Mg, principalmente na camada superficial. Segundo Van Raij et al. (1997), este padrão pode ser decorrente do uso de calcário nas áreas de SPD e ILP, o que promoveu o suprimento dos elementos além de realizar a correção da acidez, sendo os maiores valores de Ca encontrados na área de ILP (Tabela 2) decorrentes da maior dose de calcário aplicada (3,60 Mg ha<sup>-1</sup>) em comparação à do SPD (2,90 Mg ha<sup>-1</sup>). Estudos realizados com aplicação de diferentes doses de calcário em superfície em SPD num Latossolo Vermelho Distrófico mostraram que a correção da acidez do solo ocorreu tanto em superfície (0-20 cm) quanto em camadas mais profundas (20-40 cm) (CAIRES et al., 1999). Este padrão pode ser observado nas áreas cultivadas, com destaque para área de ILP que, até a profundidade de 20,0-40,0 cm, não apresentou teores de Al tóxicos às plantas (Tabela 2).

Os maiores valores de pH, Ca e Mg nas áreas cultivadas quando comparados com a área de Cerradão estão associados

**Tabela 2.** Caracterização química dos solos sob diferentes sistemas de uso no Cerrado, Montividiu-GO.

Sistemas de uso do solo	0-5 cm						
	pH	Ca	Mg	Al	K	P	N
	-----	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>					mg kg <sup>-1</sup>
SPD	6,65a	4,46b	4,17ns	0,0b	0,23b	10,89a	1,46c
ILP	6,64a	6,12a	3,01ns	0,0b	0,28a	10,89a	2,35b
Cerradão	5,34b	2,36c	2,56ns	0,75a	0,20c	2,37b	3,21a
CV (%)	3,64	39,24	22,98	9,67	12,12	12,69	12,69
	5-10 cm						
SPD	6,51a	3,68b	2,53a	0,0b	0,17b	5,35b	1,17c
ILP	6,49a	5,61a	2,06b	0,0b	0,20a	13,28a	1,65b
Cerradão	5,31b	0,81c	1,19c	0,65a	0,11c	1,43c	1,83a
CV (%)	5,17	16,30	15,45	7,93	15,96	6,54	17,25
	10-20 cm						
SPD	6,11a	1,01b	0,95a	0,0b	0,10b	2,77b	1,25b
ILP	6,19a	2,75a	0,90a	0,0b	0,18a	4,09a	1,18b
Cerradão	5,49b	0,25c	0,35b	0,55b	0,06c	1,01c	1,55a
CV (%)	5,64	18,93	27,61	9,96	18,07	23,74	11,06
	20-40 cm						
SPD	5,81ns	0,96b	0,90a	0,30ns	0,08b	2,27b	0,89c
ILP	5,99ns	1,55a	0,70b	0,20ns	0,11a	3,34a	1,01b
Cerradão	5,39ns	0,15c	0,35c	0,40ns	0,05c	1,01c	1,64a
CV (%)	5,64	18,93	27,61	9,96	18,07	23,74	11,06

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre as áreas avaliadas pelo teste LSD-student a 5%. CV = coeficiente de variação.

à calagem, principalmente nas camadas superficiais do solo. Em profundidade, pode-se associar, além da calagem, que os maiores teores de Ca e Mg podem ser carregados (movimentação dos mesmos no perfil do solo) por ácidos orgânicos de baixo peso molecular, liberados pela decomposição das plantas de cobertura, como a braquiária no ILP e o milho no SPD.

De acordo com Pavinato e Rosolem (2008), um dos principais mecanismos responsáveis pela eficiência da correção da acidez do solo, com a aplicação superficial de calcário em sistema plantio direto, são os ácidos hidrossolúveis de baixa massa molar. Segundo os autores, esses compostos provenientes de decomposição da palhada das plantas de coberturas podem interagir com a fase sólida e ocupar os sítios de absorção de nutrientes, competindo diretamente com estes e aumentando a sua disponibilidade no solo. A presença desses compostos é capaz de potencializar o efeito da calagem, mobilizando a chamada frente alcalina, com capacidade de complexar Ca e Mg, elevar o pH e neutralizar o alumínio em profundidade. Esses compostos hidrossolúveis de baixa massa molar também aumentam a mobilidade no perfil do solo dos produtos originados da dissolução do calcário aplicado em superfície. Também é normal se observar o aumento na disponibilidade de P no solo, com a adição de resíduos vegetais, tanto pelo P presente no resíduo como por competição de compostos orgânicos dos resíduos pelos sítios de troca no solo (PAVINATO; ROSOLEM, 2008).

Em estudo sobre os atributos químicos de um Latossolo de Cerrado com plantas de cobertura de milho e consórcio de milho + braquiária, Silveira et al. (2010) verificaram que os teores de Ca e Mg aumentaram (0-5, 5-10 e 10-20 cm) entre

dois anos agrícolas, independentemente da planta de cobertura utilizada; também relataram que, na área com milho, verificaram-se maiores teores de Mg quando comparados aos teores da área de milho + braquiária até 20 cm de profundidade. Este padrão também foi observado neste estudo para o Mg, que apresentou maiores teores na área de SPD, com o uso do milho como planta de cobertura. Esse fato pode sugerir maior liberação de compostos hidrossolúveis de baixa massa molar pela palhada do milho e estes terem acarretado maior mobilização do Mg em profundidade quando comparada com a área de ILP.

A área de ILP apresentou maiores valores de N, P e K em comparação à área de SPD, em todas as profundidades avaliadas, exceto para P (0,0-5,0 cm) e N (10,0-20,0 cm), em que não se observaram diferenças entre as áreas. A área de Cerradão apresentou os menores teores de K e P, e os maiores teores de N (Tabela 2). Os maiores teores de P e K nas áreas cultivadas quando comparados com a área de Cerradão são decorrentes das adubações realizadas nas áreas agrícolas (Tabela 1). Para o N, os menores teores encontrados nas áreas cultivadas quando comparados aos da área de Cerradão podem ser devidos à maior extração deste nutriente pelo sistema radicular das culturas comerciais, principalmente para o enchimento dos grãos de milho, soja e girassol.

Entre as áreas cultivadas, os maiores teores de N, P e K no solo da área de ILP podem ser explicados pela adubação realizada nesta área (Tabela 1) e, no que tange ao N, também se soma a utilização de duas leguminosas (feijão e soja) no sistema de ILP contra apenas uma (soja) no SPD. Aliados a estas diferenças, há a grande capacidade de absorção e

o acúmulo desses nutrientes pela braquiária (CRUSCIOL; BORGHI, 2007), sendo os mesmos liberados para o solo a partir da decomposição de sua palhada.

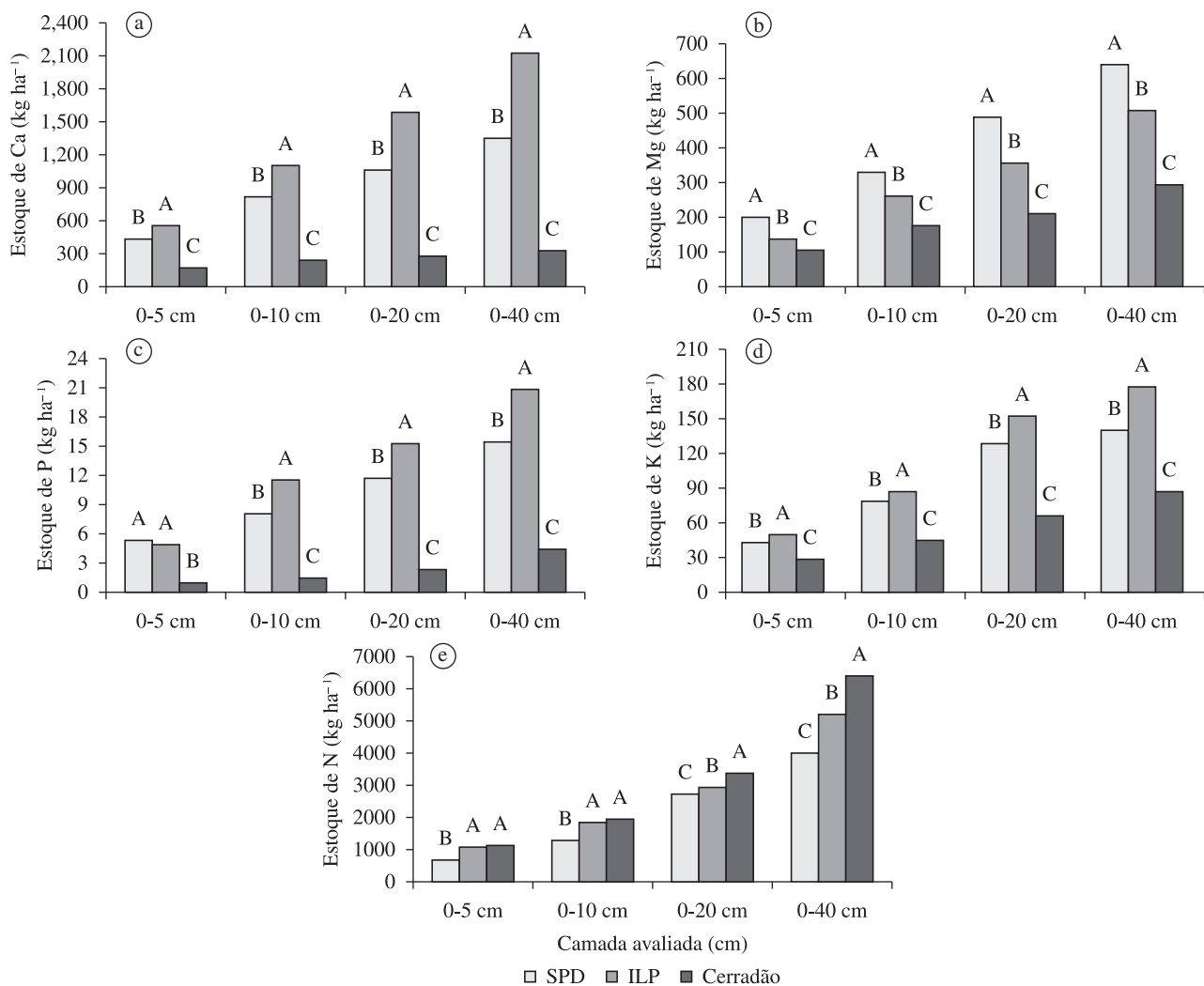
Os maiores estoques de Ca foram verificados na área de ILP em todas as camadas avaliadas, sendo observados valores de 2.151 kg ha<sup>-1</sup> neste sistema contra 1.148 kg ha<sup>-1</sup> na área de SPD, para a camada de 0-40 cm (Figura 3a). Para os estoques de Mg, verificaram-se maiores valores na área de SPD em todas as camadas avaliadas, sendo observados, na camada de 0-40 cm, valores variando entre 640 kg ha<sup>-1</sup> (SPD) e 506 kg ha<sup>-1</sup> (ILP) (Figura 3b).

Em relação aos estoques de P, não foram verificadas diferenças na camada de 0-5 cm entre as áreas cultivadas. Entretanto, para as camadas de 0-10, 0-20 e 0-40 cm, a área de ILP apresentou os maiores estoques de P em comparação às demais áreas avaliadas, com valores variando entre 11,28; 15,06 e 20,78 kg ha<sup>-1</sup> para as camadas de 0-10, 0-20 e 0-40 cm, respectivamente. A área de SPD apresentou valores variando entre 7,95; 11,50 e 15,27 kg ha<sup>-1</sup>, para as mesmas camadas avaliadas (Figura 3c).

Para os estoques de K, a área de ILP apresentou os maiores valores em todas as camadas avaliadas, sendo na camada de 0-40 cm verificados valores de 177 kg ha<sup>-1</sup> na área de ILP, em comparação à área de SPD, com 138 kg ha<sup>-1</sup> (Figura 3d). A dinâmica do K em sistemas de ILP diverge daquela de outros sistemas de manejo, porque é mais complexa e envolve, além das práticas relacionadas à cultura de grãos, a introdução dos animais (FERREIRA et al., 2009).

A ciclagem de nutrientes é mais complexa sob ILP em razão do pastejo, em função da distribuição heterogênea dos excrementos animais nas pastagens e dos efeitos do pisoteio, que contribuem para aumentar a compactação do solo no local e as perdas de nutrientes (HAYNES; WILLIAMS, 1993). Entretanto, Souto (2006) concluiu que a presença dos animais em sistema de ILP resultou em aumento nos teores de K do solo, sendo este resultado da influência dos animais na redistribuição dos nutrientes pelo consumo, via desfolhação da pastagem, e pelo seu retorno para o solo, via excreção.

Os estoques de N foram todos maiores na área de ILP quando comparados à área de SPD, com valores variando entre



**Figura 3.** a, b, c, d, e). Estoques de Ca, Mg, P, K e N, respectivamente, avaliados nos diferentes sistemas de uso do solo em Montividiu-GO. Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre as áreas avaliadas pelo teste LSD-student a 5%.

1.046, 1.845, 2940 e 5.214 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, para as camadas de 0-5, 0-10, 0-20 e 0-40 cm (Figura 3e). Apenas para o nitrogênio, a área de Cerradão apresentou maiores teores do que as áreas cultivadas, na camada de 0-40 cm. Os estoques de N são modificados principalmente pela quantidade e pelo tipo de resíduo depositado no solo, sendo que, na área de Cerradão, tem-se constante aporte de serapilheira ao solo (LOSS, 2011) e, provavelmente, uma menor extração de N pelo sistema radicular, uma vez que o sistema encontra-se mais estável, com uma relação C/N mais próxima da biomassa microbiana. Nas áreas cultivadas, no sistema de ILP, tem-se a utilização de duas leguminosas (soja e feijão), em comparação à área de SPD, que tem somente a soja, além da adubação diferenciada utilizada nas áreas (Tabela 1), ocasionando as diferenças de teores (Tabela 2) e estoques de N (Figura 3e) entre as áreas cultivadas.

As áreas cultivadas (SPD e ILP), quando comparadas com a área de Cerradão, apresentaram maiores estoques dos nutrientes Ca, Mg, K e P em todas as camadas avaliadas (Figuras 3a-d). Este padrão está associado às adubações realizadas nas áreas cultivadas (Tabela 1) e, entre estas, se destaca a área de ILP, que apresentou maiores teores de Ca, P, K e N na camada de 0-40 cm, em comparação a área de SPD, na ausência da braquiária. Estes resultados demonstram que a rotação de culturas da área de ILP (milho-braquiária-feijão-algodão-soja), com o uso de duas leguminosas e duas gramíneas mais os dejetos animais deixados aleatoriamente na superfície do solo, reflete diretamente no aumento da fertilidade do solo, reduzindo a acidez e aumentando os teores desses macronutrientes em comparação à área de SPD (girassol-milheto-soja-milho), que tem em sua rotação apenas uma leguminosa.

Em estudos sobre a fertilidade do solo em SPD por longo tempo, em uma cronosequência sob Latossolo no Paraná, Sá et al. (2009) também verificaram que o uso do SPD é uma estratégia útil para melhorar a fertilidade dos solos com carga variável. Segundo Crusciol e Borghi (2007), o cultivo consorciado do milho com braquiária beneficiou diretamente os teores de P, K, Ca e Mg, com reflexo direto no valor T e na saturação por bases (V%), quando comparado às áreas sob SPD com cultivo exclusivo de milho no verão e pousio no período de outono/inverno/primavera, ou milho/aveia. Esses autores relataram que os resultados foram decorrentes do grande aporte de palhada somado ao grande volume de raízes em profundidade proporcionado pela braquiária, evidenciando ainda o fato de as espécies forrageiras serem mais eficientes no aproveitamento do P do solo do que as culturas anuais.

Não obstante serem gramíneas, a relação C/N dos resíduos vegetais (matéria orgânica leve em água) na área de ILP (milho + braquiária) foi de 18,06 e, na área de SPD, 17,54 (LOSS et al., 2012b). Esses valores similares de relação C/N entre os sistemas avaliados, somados à produção de massa seca da braquiária (11.300 kg ha<sup>-1</sup>) no sistema de ILP em comparação ao milheto (7.800 kg ha<sup>-1</sup>) no SPD, corroboram os melhores resultados para fertilidade do solo na área de ILP. Observe-se que esta melhor fertilidade está refletindo em maiores produtividades de soja e milho safrinha na área de ILP quando comparadas à área de SPD (LOSS, 2011).

De maneira geral, os maiores estoques de Ca, K, P e N encontrados na área de ILP, quando comparados ao SPD, demonstram que o sistema de ILP tem grande potencial de uso agrícola no domínio morfoclimático do Cerrado. Este resultado, segundo Ferreira et al. (2011), indica também que o sistema de ILP é sustentável, pois tem como premissa o manejo adequado do solo, das plantas (forrageiras e culturas comerciais) e dos animais, de forma que, ao mesmo tempo, não cause restrições ao ambiente radicular e produza quantidades de resíduos suficientes para a consolidação do sistema.

## 4 Conclusões

O sistema de integração lavoura-pecuária (ILP) apresentou menores valores de Ds em comparação ao sistema plantio direto (SPD) até 10 cm de profundidade.

O sistema de ILP, associado às adubações realizadas nas culturas e na braquiária, resultou em maiores teores de fertilidade do solo e estoques de nutrientes, quando comparado com a área de SPD.

O sistema de ILP tem grande potencial de uso agrícola no domínio morfoclimático do Cerrado em virtude de apresentar um manejo adequado do solo, das plantas (forrageiras e culturas comerciais) e dos animais, de forma que não causa restrições ao ambiente radicular e produz quantidades de resíduos suficientes para a consolidação do sistema.

## Referências

- ANGHINONI, I.; MORAES, A.; CARVALHO, P. C. F.; SOUZA, E. D.; CONTE, O.; LANG, C. R. Benefícios da integração lavoura-pecuária sobre a fertilidade do solo em sistema plantio direto. In: FONSECA, A. F.; CAIRES, E. F.; BARTH, G. *Fertilidade do solo e nutrição de plantas no sistema plantio direto*. Ponta Grossa: AEACG/Inpag, 2011. p. 1-31.
- CAIRES, E. F.; FONSECA, A. F.; MENDES, J.; CHUEIRI, W. A.; MADRUGA, E. F. Produção de milho, trigo e soja em função das alterações das características químicas do solo pela aplicação de calcário e gesso na superfície, em sistema de plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 23, n. 2, p. 315-327, 1999.
- CRUSCIOL, C. A. C.; BORGHI, E. Consórcio de milho com braquiária: produção de forragem e palhada para o plantio direto. *Revista Plantio Direto*, Passo Fundo, edição 100, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590%2FS0100-204X2007000200004>
- ELLERT, B. H.; BETTANY, J. R. Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. *Canadian Journal Soil Science*, Ottawa, v. 75, n. 2, p. 529-538, 1995. <http://dx.doi.org/10.4141%2FCjss95-075>
- EMBRAPA. *Manual de Métodos de análise de solo*. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 1997. 212 p.
- FERREIRA, E. V. O.; ANGHINONI, I.; ANDRIGHETTI, M. H.; MARTINS, A. P.; CARVALHO, P. C. F. Ciclagem e balanço de potássio e produtividade de soja na integração lavoura-pecuária sob semeadura direta. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 35, n. 1, p. 161-169, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590%2FS0100-06832011000100015>



- FERREIRA, E. V. O.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. F.; COSTA, S. E. V. G. A.; CÃO, E. G. R. Concentração do potássio do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto submetido a intensidades de pastejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 33, n. 6, p. 1675-1684, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590%2FS0100-06832009000600016>
- FLORES, J. P. C.; ANGHINONI, I.; CASSOL, L. C.; CARVALHO, P. C. F.; LEITE, J. G. D. B.; FRAGA, T. I. Atributos físicos do solo e rendimento de soja em sistema de plantio direto em integração lavoura-pecuária com diferentes pressões de pastejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 33, n. 6, p. 771-780, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590%2FS0100-06832007000400017>
- FONSECA, G. C.; CARNEIRO, M. A. C.; COSTA, A. R.; OLIVEIRA, G. C.; BALBINO, L. C. Atributos físicos, químicos e biológicos de Latossolo de Cerrado sob duas rotações de cultura. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia, v. 37, n. 1, p. 22-30, 2007.
- FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; WRUCK, F. J.; SKORUPA, L. A.; WINK, N. N.; GUIZOLPHI, I. J.; CAUMO, A. L.; HATORI, T. *Integração Lavoura-Pecuária: Alternativa para diversificação e redução do impacto ambiental do sistema produtivo no Vale do Rio Xingu*. Londrina: CNPSo, 2010. 20 p. (Circular técnica, n. 77).
- HAYNES, R. J.; WILLIAMS, P. H. Nutrient cycling and fertility in the grazed pasture ecosystem. *Advances Agronomy*, New York, v. 49, n. 1, p. 119-199, 1993. <http://dx.doi.org/10.1016%2FS0065-2113%2808%2960794-4>
- HEID, D. M.; VITORINO, A. C. T.; TIRLONI, C. Frações orgânicas e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho Distroférico sob diferentes usos. *Revista de Ciências Agrárias*, Belém, v. 51, n. 1, p. 149-171, 2009.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. *Indicadores de desenvolvimento sustentável*. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. (Estudos e pesquisas: Informação geográfica, n. 7).
- LOSS, A. *Dinâmica da matéria orgânica, fertilidade e agregação do solo em áreas sob diferentes sistemas de uso no Cerrado goiano*. 2011. 134 f. Tese (Doutorado em Agronomia - Ciência do Solo)-Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2011.
- LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C.; GIACOMO, S. G.; PERIN, A. Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo sob plantio direto com integração lavoura-pecuária. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 46, n. 10, p. 1269-1276, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590%2FS0100-204X2011001000022>
- LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A.; ANJOS, L. H. C. Carbon and nitrogen content and stock in no-tillage and crop-livestock integration systems in the Cerrado of Goiás State, Brazil. *Journal of Agricultural Science*, Toronto, v. 4, n. 8, p. 96-105, 2012a. <http://dx.doi.org/10.5539%2Fjas.v4n8p96>
- LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A.; BEUTLER, S. J.; ANJOS, L. H. C. Carbon, nitrogen and natural abundance of  $^{13}\text{C}$  e  $^{15}\text{N}$  of light-fraction organic matter under no-tillage and crop-livestock integration systems. *Acta Scientiarum. Agronomy*, Maringá, v. 34, n. 4, p. 468-474, 2012b. <http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v34i4.15061>
- MARCHÃO, R. L.; BALBINO, L. C.; SILVA, E. M.; SANTOS JÚNIOR, J. D. G.; SÁ, M. A. C.; VILELA, L.; BECQUER, T. Qualidade física de um Latossolo Vermelho sob sistemas de integração lavoura-pecuária no Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 42, n. 6, p. 873-882, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590%2FS0100-204X2007000600015>
- MOREIRA, W. H.; BETIOLI JUNIOR, E.; PETEAM, L. P.; TORMENA, C. A.; ALVES, S. J. F. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho Distroférico em sistema de integração lavoura-pecuária. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 36, n. 2, p. 389-400, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590%2FS0100-06832012000200008>
- PAVINATO, P. S.; ROSOLEM, C. A. Disponibilidade de nutrientes no solo: decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 32, n. 3, p. 911-920, 2008.
- SÁ, J. C. M.; LAL, R.; DICK, W. A.; PICCOLO, M. C.; FEIGL, B. E. Soil organic carbon and fertility interactions affected by a tillage chronosequence in a Brazilian Oxisol. *Soil Tillage Research*, Amsterdam, v. 104, n. 1, p. 56-64, 2009. <http://dx.doi.org/10.1016%2Fj.still.2008.11.007>
- SILVA, V. J.; CAMARGO, R.; WENDLING, B.; PIRES, S. C. Integração lavoura-pecuária sob sistema de plantio direto no Cerrado brasileiro. *Enciclopédia Biosfera*, Goiânia, v. 7, n. 12, p. 1-12, 2011.
- SILVEIRA, P. M.; CUNHA, P. C. R.; STONE, L. F.; SANTOS, G. G. Atributos químicos de solo cultivado com diferentes culturas de cobertura. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia, v. 40, n. 3, p. 283-290, 2010.
- SIQUEIRA NETO, M. M. PICCOLO, M. C.; SCOPEL, E.; COSTA JUNIOR, C.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M. Carbono total e atributos químicos com diferentes usos do solo no Cerrado. *Acta Scientiarum. Agronomy*, Maringá, v. 31, n. 4, p. 709-717, 2009. <http://dx.doi.org/10.4025%2Factasciagron.v31i4.792>
- SOUTO, M. S. *Pastagem de aveia e azevém na integração lavoura-pecuária: Produção de leite e características do solo*. 2006. 80 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal)-Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.
- SOUZA, E. D.; COSTA, S. E. V. G. A.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. F.; ANDRIGUETI, M.; CAO, E. Estoque de carbono orgânico e de nitrogênio no solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetidos a intensidades de pastejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 33, n. 6, p. 1829-1836, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590%2FS0100-06832009000600031>
- TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. *Análise de solo, plantas e outros materiais*. 2. ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 147 p. (Boletim Técnico, n. 5).
- VAN RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. *Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo*. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1997. 285 p.
- VENDRAME, P. R. S.; BRITO, O. R.; GUIMARÃES, M. F.; MARTINS, E. S.; BECQUER, T. Fertility and acidity status of Latossolos (Oxisols) under pasture in the Brazilian Cerrado. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Rio de Janeiro, v. 82, n. 4, p. 1085-1094, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590%2FS0001-37652010000400026>