

UFRRJ
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
CIÊNCIA DO SOLO

DISSERTAÇÃO

**Atributos Edáficos e Agronômicos em Sistema de
Integração Lavoura-Pecuária sob Intensidades de
Pastejo em Plantio Direto no Cerrado Goiano**

Wanderlei Bieluczyk

2014



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
CIÊNCIA DO SOLO**

**ATRIBUTOS EDÁFICOS E AGRONÔMICOS EM SISTEMA DE
INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA SOB INTENSIDADES DE
PASTEJO EM PLANTIO DIRETO NO CERRADO GOIANO**

WANDERLEI BIELUCZYK

Sob a Orientação do Professor
Marcos Gervasio Pereira

Dissertação submetida como
requisito parcial para obtenção do
grau de **Mestre**, no Curso de Pós-
Graduação em Agronomia, Área de
Concentração em Ciência do Solo

Seropédica, RJ
Fevereiro de 2014

631.4
B587a
T

Bieluczyk, Wanderlei, 1986-

Atributos edáficos e agronômicos em sistema de integração lavoura-pecuária sob intensidades de pastejo em plantio direto no cerrado goiano / Wanderlei Bieluczyk – 2014.

128 f. : il.

Orientador: Marcos Gervasio Pereira.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo.

Bibliografia: f. 115-128.

1. Solos – Qualidade – Teses. 2. Solos – Manejo – Teses. 3. Solos – Agregação – Teses. 4. Fertilidade do solo – Teses. 5. Pastagens – Manejo – Teses. I. Pereira, Marcos Gervasio, 1965-. II. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo. III. Título.

É permitida a cópia parcial ou total desta dissertação, desde que seja citada a fonte.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA – CIÊNCIA DO SOLO**

WANDERLEI BIELUCZYK

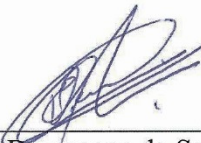
Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre**, no Curso de Pós-Graduação em Agronomia, área de Concentração em Ciência do Solo.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 25/02/2014.

Marcos Gervasio Pereira. Dr. UFRRJ



Marisa de Cássia Piccolo. Dra. CENA



Edicarlos Damacena de Souza. Dr. UFMT

*A Deus, aos meus pais, Waldir e Ivone Bieluczyk,
ao meu irmão, Leandro Bieluczyk,
aos agricultores
e aos professores*

Dedico

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela sua presença, amparo, conforto, guia, motivação e por tornar essa etapa possível na minha vida.

À minha família, pela preocupação, dedicação, apoio, ensino, conforto e amor. Pela força nos momentos difíceis e alegria nos momentos de glória. Meu objetivo principal na vida é deixar vocês orgulhosos do filho, e você Leandro do irmão que têm.

Ao meu orientador Marcos Gervasio Pereira, pelos ensinamentos, conselhos, paciência, atenção e pela dedicação ao ensino.

À professora Lúcia Helena Cunha dos Anjos pelos ensinamentos, apoio, conselhos, motivação e puxões de orelha.

Aos amigos do Laboratório de Gênese e Classificação do Solo pela colaboração na pesquisa, amparo, ensino e momentos de descontração, convívio e por me aturarem com minhas loucuras.

Aos que me ajudaram nas coletas, extremamente laboriosas, João Bonetti, Marcos Gervasio Pereira, Alessandro Samuel Rosa, Geanderson Nascimento, Vanessa Fréo e Cláudia Reis.

Aos que me ajudaram nas análises laboratoriais principalmente o Eduardo Neto, e também Felipe Cipriano, Vanessa Fréo e Jaqueline Jesus.

Ao pessoal da secretaria da pós graduação pelo apoio.

Aos meus amigos que desde a graduação estiveram me ajudando incondicionalmente, estando perto ou longe, Thayani Velasco, Itaynara Batista, Júlio César Feitosa, João Paulo Francisco, André Moraes.

À minha namorada Tamires Medeiros, pela paciência, motivação, companhia, conselhos e por compartilhar de momentos de alegria e também de dificuldades.

À Maria Helena de Castro Soares por ter feito a análise granulométrica e a Adriana França por trabalhar com as minhas incontáveis amostras, fazendo as análises de carbono e nitrogênio.

A Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro pela oportunidade de formação acadêmica, à Universidade Federal de Goiás pela parceria, ao CPGA-CS pelo ensino de pós-graduação e à CAPES pela concessão da bolsa e apoio financeiro, através do Projeto Casadinho.

Enfim, a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

Wanderlei Bieluczyk, nascido em 09 de março de 1986 em Áurea, estado do Rio Grande do Sul, filho de Waldir Fabiano Bieluczyk e Ivone Irene Cachanoski Bieluczyk. Ingressou na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro no primeiro semestre de 2007 no curso de agronomia onde graduou-se em dezembro de 2011. Foi bolsista de iniciação científica de agosto de 2009 a janeiro de 2012 no Laboratório de Gênese e Classificação do Solo. Em março de 2012 ingressou no mestrado em Agronomia-Ciência do Solo da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

RESUMO GERAL

BIELUCZYK, W. **Atributos edáficos e agronômicos em sistema de integração lavoura-pecuária sob intensidades de pastejo em plantio direto no Cerrado Goiano**. 2014. 128 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2014.

O sistema de integração lavoura-pecuária (SILP) é a chave para intensificar a produção agrícola e pecuária. A sinergia entre o sistema de plantio direto (SPD) e os animais em pastejo na entressafra conduzem à melhorias na qualidade do solo, em decorrência da maior ciclagem de nutrientes e aporte de carbono. Diante disso, o objetivo deste trabalho foi utilizar indicadores de qualidade do solo e atributos agronômicos para avaliar o SILP, identificando fatores a serem aprimorados, tais como a intensidade de pastejo. Foi estudado um SILP-SPD, implantado em 2009, na Universidade Federal Goiás, campus Jataí, GO (17° 56' S e 51° 43' O). Na área experimental foi semeada, anualmente, a cultura da soja no verão, sob SPD. Após a colheita foi semeado *Urochloa ruziziensis*. Os atributos foram avaliados após o ciclo de pastejo (PP) e após a colheita da lavoura (PL). Os tratamentos consistiram de diferentes intensidades de pastejo: alta (IA), moderada (IM) e baixa (IB), uma área sem pastejo (SP) e uma área de Cerradão (CE). O delineamento utilizado foi o de blocos inteiramente casualizados (DBC) com seis repetições. Foram coletadas amostras para avaliar a fertilidade do solo e a matéria orgânica (0–5, 5–10, 10–20 e 20–40 cm), a porosidade do solo (0–5, 5–10, 10–20 e 20–30 cm), a estabilidade de agregados (0–5 e 5–10 cm) e as raízes (0–10, 10–20 e 20–30 cm). No CAPÍTULO I foi avaliada a fertilidade do solo e a produtividade da soja. O fósforo apresentou baixa disponibilidade em todas as intensidades de pastejo. Nas camadas abaixo de 5 cm a saturação por bases foi menor que 35 % e o balanço de potássio aparenta ser negativo no SILP. O carbono orgânico total (COT) se correlacionou positivamente com as bases trocáveis e capacidade de troca de cátions do solo. A produtividade da soja não foi influenciada pelas intensidades de pastejo no SILP. No CAPÍTULO II foram avaliados atributos físicos do solo e a emergência de plântulas de soja. Os agregados do solo apresentaram alta estabilidade. A macroporosidade e porosidade total do solo foram aumentadas, enquanto a densidade do solo reduziu nas duas últimas avaliações. A emergência das plântulas de soja foi prejudicada pelo aumento da palha sobre o solo nas menores intensidades de pastejo. No CAPÍTULO III foram estudados os fracionamentos granulométrico e oxidável da matéria orgânica do solo (MOS) e o índice de manejo de carbono (IMC). A fração oxidável lábil (F1) e o carbono particulado (Cp) se correlacionaram positivamente com o COT ($p \leq 0,01$), podendo ser usadas como indicadores de qualidade do solo. O IMC considerou a área de Cerradão como referência. Quando obtido a partir do fracionamento granulométrico apresentou valores menores que 64 % sugerindo que o SILP não está consolidado. Já o IMC do fracionamento oxidável, maior que 100 % nas áreas de cultivo em época PP sugere incremento de MOS pela palha e/ou raízes da *Urochloa ruziziensis*. No CAPÍTULO IV foi avaliada a matéria orgânica leve em água com uso e sem uso de dispersante do solo, MOL_{NaOH} e $MOL_{água}$, respectivamente. Para a última foram separadas três classes com o uso de peneiras e estimadas as raízes nesse material ($RL_{água}$). Foram verificados maiores teores de MOL_{NaOH} e estoques de $MOL_{água}$ e $RL_{água}$ para a época PP em todas as profundidades avaliadas. A MOL -Classe-3 apresentou padrão similar aos estoques totais de $MOL_{água}$. Estimou-se que mais de 50 % da $MOL_{água}$ foram raízes. Os resultados mostram que o pastejo da *Urochloa ruziziensis* aumentaram a MOL no solo.

Palavras Chave: Indicadores de qualidade do solo. Sistemas conservacionistas. Sazonalidade.

GENERAL ABSTRACT

BIELUCZYK, W. **Edaphic and agronomic attributes in integrated crop-livestock system under grazing intensities in no tillage in the Cerrado of Goiás.** 2014. 128 p. Dissertation (Master Science in Agronomy, Soil Science). Institute of Agronomy, Soils Department, Federal Rural University of Rio de Janeiro, Seropédica, 2014.

The system of crop-livestock integration (CLI) is key to intensify agricultural and livestock production. The synergy between the no-tillage system (NT) and the off-season grazing lead to improvements in soil quality due to the cycling of nutrients and highest soil carbon supply. Therefore, the aim of this study was to use indicators of soil quality and agronomic traits to evaluate the CLI, identifying factors to be improved, such as grazing intensity. A CLI-NT, site implemented in 2009, in an area located in the Goiás Federal University, campus of Jataí, GO (17° 56' S e 51° 43' W) was studied. In the experimental area, the soybean was sown in the summer, annually and under NT. After harvesting the *Urochloa ruziziensis* was sown. The attributes were evaluated after the pasture grazing cycle (PG), and post soybean cultivation (PSC). The treatments consisted of high (HI), moderate (MI) and low (LI) grazing intensity, a non grazed area (NG) and a Cerradão (natural vegetation) area. The design was a completely randomized block design (RBD) with six replications. Samples were taken to evaluate soil fertility and organic matter (0-5, 5-10, 10-20 and 20-40 cm), soil porosity (0-5, 5-10, 10-20 and 20-30 cm), aggregate stability (0-5 and 5-10 cm), and root development (0-10, 10-20 and 20-30 cm). In Chapter I, the soil fertility and yield of soybean were evaluated. Phosphorus availability was very low in all areas. The soil layers below 5 cm showed base saturation values under 35 %, and the potassium balance appeared to be negative in the CLI. The total organic carbon (TOC) was positively correlated with the values of bases and cation exchange capacity of the soil. Soybean yield did not differ between assessed areas. In Chapter II the soil physical properties and soybean seedling emergence were evaluated. The soil aggregates showed strong stability. The soil macroporosity and total porosity increased, while the soil bulk density decreased in the last two evaluations. The emergence of soybean seedlings was impaired by increasing the straw on the ground, in the lowest grazing intensities. In Chapter III the granulometric and oxidizable fractionation of soil organic matter (SOM), and the carbon management index (CMI) were studied. The oxidizable labile fraction (F1) and particulate carbon (Cp) were positively correlated with TOC ($p \leq 0.01$); therefore, they might be used as indicators of soil quality. For calculating the CMI the area of Cerradão was considered as a reference. CMI obtained from granulometric fractions showed values lower than 64 %. This suggests that the CLI is not consolidated yet. CMI of oxidizable fractions values were greater than 100 % in the growing season on PG, suggesting the increase of SOM by straw and/or roots of *Urochloa ruziziensis*. In the Chapter IV the light organic matter in water was measured with and without soil dispersant, LOM_{NaOH} and LOM_{water} , respectively. For the LOM_{water} three classes were separated by using sieves, and the root amounts in this material (LR_{water}) were estimated. Higher contents of LOM_{NaOH} , stocks of LOM_{water} and LR_{water} were verified for the PG evaluation at all depths. LOM-Class-3 showed similar pattern to the LOM_{water} stocks. It was estimated that over 50 % of roots were LOM_{water} . The results show that the grazing of *Urochloa ruziziensis* increased the soil LOM.

Key words: Soil quality indicators. Conservation tillage systems. Seasonality.

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Composição granulométrica do solo (g kg^{-1}) e classe textural para os diferentes blocos e áreas de referência, para a coleta pós pastejo na área experimental estudada.	25
Tabela 2. Composição granulométrica do solo (g kg^{-1}) e classe textural para os diferentes blocos e áreas de referência, para a coleta pós lavoura na área experimental estudada.	26
Tabela 3. Atributos químicos do complexo sortivo, na camada de 0–5 cm para uma área de vegetação natural (Cerradão) e em sistema de integração lavoura-pecuária submetido a intensidades de pastejo em plantio direto.	27
Tabela 4. Atributos químicos do complexo sortivo, na camada de 5-10 cm para uma área de vegetação natural (Cerradão) e em sistema de integração lavoura-pecuária submetido a intensidades de pastejo em plantio direto.	28
Tabela 5. Atributos químicos do complexo sortivo, na camada de 10-20 cm para uma área de vegetação natural (Cerradão) e em sistema de integração lavoura-pecuária submetido a intensidades de pastejo em plantio direto.	29
Tabela 6. Atributos químicos do complexo sortivo, na camada de 20-40 cm para uma área de vegetação natural (Cerradão) e em sistema de integração lavoura-pecuária submetido a intensidades de pastejo em plantio direto.	30
Tabela 7. Teores de carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (N), fósforo disponível (P Mehlich ¹) e fósforo remanescente (P rem) para uma área de vegetação natural (Cerradão) e em sistema de integração lavoura-pecuária submetido a intensidades de pastejo em plantio direto, para as camadas de 0-5 e 5-10 cm.	31
Tabela 8. Teores de carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (N), fósforo disponível (P Mehlich ¹) e fósforo remanescente (P rem) para uma área de vegetação natural (Cerradão) e em sistema de integração lavoura-pecuária submetido a intensidades de pastejo em plantio direto, para as profundidades de 10-20 e 20-40 cm.	32
Tabela 9. Correlação de Pearson (r) entre atributos químicos do solo da área de referência do estudo (Cerradão) em Jataí, GO.	33
Tabela 10. Correlação de Pearson (r) entre os atributos químicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária submetido a intensidades de pastejo em plantio direto em Jataí, GO.	33
Tabela 11. Diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG), índice de estabilidade de agregados (IEA), percentagem de agregados maiores que 2 mm (AGRI) e índice de sensibilidade em sistema de integração lavoura-pecuária submetido a intensidades de pastejo em plantio direto.	49
Tabela 12. Valores de macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi), porosidade total (Pot) e densidade do solo (Ds), nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm, em sistema de integração lavoura-pecuária submetido a intensidades de pastejo em plantio direto... ..	50
Tabela 13. Valores de macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi), porosidade total (Pot) e densidade do solo (Ds), nas profundidades de 10-20 e 20-40 cm, em sistema de integração lavoura-pecuária submetido a intensidades de pastejo em plantio direto... ..	51
Tabela 14. Correlação de Pearson (r) para os atributos físicos solo em sistema de integração lavoura-pecuária submetido a intensidades de pastejo em plantio direto... ..	57

Tabela 15. Carbono total (CT), carbono associado aos minerais (Cam), carbono particulado (Cp) em uma área com vegetação natural (Cerradão) e áreas com sistema de integração lavoura-pecuária submetido a intensidades de pastejo em plantio direto.	68
Tabela 16. Estoques de carbono (EstC), índice de estoque de carbono (IEC), labilidade da matéria orgânica do solo (L), índice de labilidade da matéria orgânica do solo (IL) e índice de manejo de carbono (IMC) utilizando o fracionamento granulométrico em sistema de integração lavoura-pecuária submetido a intensidades de pastejo em plantio direto.....	72
Tabela 17. Carbono orgânico total (COT), fração muito facilmente oxidável (F1), fração facilmente oxidável (F2), fração moderadamente oxidável (F3), fração resistente (F4) e taxa de recuperação do fracionamento oxidável (TR) em uma área com vegetação natural (Cerradão) e áreas com sistema de integração lavoura-pecuária submetido a intensidades de pastejo em plantio direto.....	74
Tabela 18. Estoques de carbono (EstC), índice de estoque de carbono (IEC), labilidade da matéria orgânica do solo (L), índice de labilidade da matéria orgânica do solo (IL) e índice de manejo de carbono (IMC) utilizando o fracionamento oxidável em sistema de integração lavoura-pecuária submetido a intensidades de pastejo em plantio direto.	80
Tabela 19. Correlação de Pearson (r) entre atributos as frações granulométricas e oxidáveis do carbono do solo em sistema de integração lavoura-pecuária submetido a intensidades de pastejo em plantio direto.....	81
Tabela 20. Matéria orgânica leve pós lavagem em peneiras de 2 mm (Classe 3), 1 mm (Classe 2) e 0,5 mm (Classe 1) e total de massa seca para uma área com Cerradão e áreas com sistema de integração lavoura-pecuária submetido a intensidades de pastejo em plantio direto.....	96
Tabela 21. Correlação de Pearson (r) entre as diferentes classe de $MOL_{\text{água}}$, Est- $MOL_{\text{água}}$ e MOL_{NaOH} do solo em sistema de integração lavoura-pecuária submetido a intensidades de pastejo em plantio direto.....	99
Tabela 22. Massa seca de raízes leves em água pós lavagem, em peneiras de 2 mm (Ordem 3), 1 mm (Ordem 2) e 0,5 mm (Ordem 1) em sistema de integração lavoura-pecuária submetido a intensidades de pastejo em plantio direto.	101
Tabela 23. Relação C:N para o solo, para a fração areia e para a matéria orgânica leve para uma área com vegetação natural (Cerradão) e áreas com sistema de integração lavoura-pecuária submetido a intensidades de pastejo em plantio direto.....	106

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localização da área experimental do sistema de integração lavoura-pecuária, em Jataí, no campus experimental da Universidade Federal de Goiás, GO.....	17
Figura 2. Precipitação pluviométrica e temperaturas médias mensais contemplando uma série histórica de 1980 a 2012 (33 anos).....	18
Figura 3. Precipitação pluviométrica e temperaturas médias mensais para a safra de 2012/2013.....	18
Figura 4. Histórico de uso das áreas avaliadas, calagens e momento das amostragens realizadas para o estudo.....	19
Figura 5. Área experimental do sistema de integração lavoura-pecuária (SILP) no campus experimental da Universidade Federal de Goiás (UFG).....	20
Figura 6. Cultivo da soja no período chuvoso na área experimental do sistema de integração lavoura-pecuária (SILP) no campus experimental da Universidade Federal de Goiás	21
Figura 7. Croqui esquemático das diferentes áreas com respectivos tratamentos avaliados	21
Figura 8. Trincheiras abertas na área para posterior coleta das amostras de terra, raízes e agregados.....	22
Figura 9. Coleta de amostras para: A) avaliação da agregação do solo. B) caracterização da fertilidade do solo.....	22
Figura 10. Coleta de amostras de solo para quantificação de raízes.....	23
Figura 11. Produtividade de soja em sistema de integração lavoura-pecuária submetido a intensidades de pastejo sob plantio direto.....	34
Figura 12. Dinâmica da densidade do solo em sistema de integração lavoura pecuária submetido a intensidades de pastejo em plantio direto.....	54
Figura 13. Dinâmica da macroporosidade do solo em sistema de integração lavoura pecuária submetido a intensidades de pastejo em plantio direto.....	55
Figura 14. Dinâmica da microporosidade do solo em sistema de integração lavoura pecuária submetido a intensidades de pastejo em plantio direto.....	56
Figura 15. Dinâmica da porosidade total do solo em sistema de integração lavoura pecuária submetido a intensidades de pastejo em plantio direto.....	57
Figura 16. População de plantas de soja 30 dias pós semeadura direta em áreas anteriormente submetidas a intensidades de pastejo sob sistema de integração lavoura pecuária.....	58
Figura 17. Emergência de plântulas de soja após submissão das áreas a intensidades de pastejo sob sistema de integração lavoura pecuária.....	59
Figura 18. Participação em percentual dos teores das frações oxidáveis no carbono orgânico total do solo, para a profundidade de 0–5 cm, em uma área com vegetação natural (Cerradão) e áreas com sistema de integração lavoura-pecuária submetido a intensidades de pastejo em plantio direto.....	76
Figura 19. Participação em percentual dos teores das frações oxidáveis no carbono orgânico total do solo, para a profundidade de 5-10 cm, em uma área com vegetação	

natural (Cerradão) e áreas com sistema de integração lavoura-pecuária submetido a intensidades de pastejo em plantio direto.....	77
Figura 20. Índices de labilidade do carbono oxidável (ILCO) em uma área com vegetação natural (Cerradão) e áreas com sistema de integração lavoura-pecuária submetido a intensidades de pastejo em plantio direto.....	78
Figura 21. Carbono orgânico total (COT), Fração muito facilmente oxidável (F1) e carbono particulado (Cp) em g kg^{-1} para a época pós pastejo (PP) e época pós agricultura (PA) em sistema de integração lavoura-pecuária submetido a intensidades de pastejo em plantio direto.....	82
Figura 22. Teores de matéria orgânica leve em água pós dispersão do solo, para uma área com vegetação natural (Cerradão) e áreas com sistema de integração lavoura-pecuária submetido a intensidades de pastejo em plantio direto.	93
Figura 23: Estoques de matéria orgânica leve em água (Est-MOL _{água}) em sistema de integração lavoura-pecuária submetido a intensidades de pastejo em plantio direto...	97
Figura 24. Estoques de matéria orgânica leve em água (Est-MOL _{água}) na camada de 0–30 cm em sistema de integração lavoura-pecuária submetido a intensidades de pastejo em plantio direto.....	98
Figura 25. Porcentagem de massa de raízes leves na MOL _{água} retida nas diferentes peneiras utilizadas para as profundidades e épocas avaliadas em sistema de integração lavoura-pecuária submetido a intensidades de pastejo em plantio direto.....	100
Figura 26. Estoques estimados de massa seca de raízes leves em água (Est-RL _{água}) em sistema de integração lavoura-pecuária submetido a intensidades de pastejo em plantio direto.....	102
Figura 27. Teores de carbono e nitrogênio em diferentes frações da matéria orgânica do solo, na profundidade de 0-10 cm, em sistema de integração lavoura-pecuária submetido a intensidades de pastejo em plantio direto.	104
Figura 28. Teores de carbono e nitrogênio em diferentes frações da matéria orgânica do solo, na profundidade de 0-10 cm, em as áreas de sistema de plantio direto (Sem Pastejo) e Cerradão.....	105
Figura 29. Análise de componentes principais, na profundidade de 0–5 cm em sistema de integração lavoura-pecuária submetido a intensidades de pastejo em plantio direto (Jataí – GO).	112
Figura 30. Análise de componentes principais, na profundidade de 0–5 cm, para a área de Cerradão, utilizada como referência na avaliação de áreas com diferentes usos em sistema de integração lavoura-pecuária (Jataí - GO).....	113
Figura 31. Análise de componentes principais, na profundidade de 5-10 cm em sistema de integração lavoura-pecuária submetido a intensidades de pastejo em plantio direto (Jataí – GO).	114
Figura 32. Análise de componentes principais, na profundidade de 5–10 cm, para a área de Cerradão, utilizada como referência na avaliação de áreas com diferentes usos em sistema de integração lavoura-pecuária (Jataí - GO).....	115

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	1
2	REVISÃO DE LITERATURA GERAL	3
2.1	O Sistema de Integração Lavoura-Pecuária (SILP) no Cerrado.....	3
2.2	Atributos Edáficos como Indicadores de Qualidade no SILP	4
2.2.1	Indicadores físicos de qualidade do solo	4
2.2.2	Compartimentos da Matéria Orgânica como Indicadores de Qualidade do Solo	6
2.2.3	Avaliação de atributos edáficos em SILP.....	7
2.3	A Braquiária no SILP	8
2.4	Impactos do Manejo sobre a Produtividade de Carne, Pasto e Culturas Anuais. 10	
3	CAPÍTULO I - FERTILIDADE DO SOLO E PRODUTIVIDADE DA SOJA EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA EM PLANTIO DIRETO NO CERRADO GOIANO	12
3.1	RESUMO	13
3.2	ABSTRACT	14
3.3	INTRODUÇÃO.....	15
3.4	MATERIAL E MÉTODOS.....	17
3.4.1	Localização, clima e solo da área de estudo.....	17
3.4.2	Sistemas avaliados e histórico de uso.....	19
3.4.3	Coleta de amostras.....	21
3.4.4	Caracterização do complexo sortivo.....	23
3.4.5	Fósforo remanescente	23
3.4.6	Carbono e nitrogênio total do solo	23
3.4.7	Composição granulométrica do solo	23
3.4.8	Produtividade da soja	24
3.4.9	Análises estatísticas	24
3.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
3.5.1	Análise granulométrica.....	25
3.5.2	Caracterização do complexo sortivo.....	26
3.5.3	Carbono, nitrogênio, fósforo disponível e fósforo remanescente.....	31
3.5.4	Correlação de atributos.....	33
3.5.5	Produtividade da soja	34
3.5.6	Análise conjunta dos atributos químicos e produtividade da soja.....	34
3.6	CONCLUSÕES	41
4	CAPÍTULO II - ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO E EMERGÊNCIA DE PLANTAS EM DIFERENTES ÉPOCAS E INTENSIDADES DE PASTEJO SOB SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA EM PLANTIO DIRETO	42
4.1	RESUMO	43
4.2	ABSTRACT	44
4.3	INTRODUÇÃO.....	45
4.4	MATERIAL E MÉTODOS.....	46
4.4.1	Localização, clima e solo da área de estudo.....	46
4.4.2	Sistemas avaliados e histórico de uso.....	46
4.4.3	Coleta de amostras.....	46

4.4.4	Densidade do solo (Ds)	46
4.4.5	Macroporosidade, microporosidade e porosidade total do solo	46
4.4.6	Distribuição dos agregados.....	46
4.4.7	População de plantas de soja	47
4.4.8	Análises estatísticas	47
4.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
4.6	CONCLUSÕES	60
5	CAPÍTULO III - FRAÇÕES OXIDÁVEIS E GRANULOMÉTRICAS DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO SOB SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA EM PLANTIO DIRETO (JATAÍ - GO)	61
5.1	RESUMO	62
5.2	ABSTRACT	63
5.3	INTRODUÇÃO.....	64
5.4	MATERIAL E MÉTODOS.....	66
5.4.1	Localização, clima e solo da área de estudo.....	66
5.4.2	Sistemas avaliados e histórico de uso.....	66
5.4.3	Coleta de amostras.....	66
5.4.4	Carbono orgânico total (COT).....	66
5.4.5	Carbono total (C).....	66
5.4.6	Fracionamento granulométrico da matéria orgânica do solo.....	66
5.4.7	Fracionamento oxidável da matéria orgânica do solo	66
5.4.8	Índices de manejo de carbono (IMC)	67
5.4.9	Análises estatísticas	67
5.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	68
5.5.1	Fracionamento granulométrico da matéria orgânica do solo.....	68
5.5.2	Fracionamento oxidável da matéria orgânica do solo	73
5.5.3	Análise conjunta do fracionamento granulométrico e fracionamento oxidável da MOS	81
5.6	CONCLUSÕES	84
6	CAPÍTULO IV - MATÉRIA ORGÂNICA LEVE E CARACTERIZAÇÃO DAS FRAÇÕES DE MAIOR LABILIDADE DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA PECUÁRIA (JATAÍ - GO)	85
6.1	RESUMO	86
6.2	ABSTRACT	87
6.3	INTRODUÇÃO.....	88
6.4	MATERIAL E MÉTODOS.....	90
6.4.1	Localização, clima e solo da área de estudo.....	90
6.4.2	Sistemas avaliados e histórico de uso.....	90
6.4.3	Coleta de amostras.....	90
6.4.4	Matéria orgânica leve em água com uso de dispersante de solo (MOL).....	90
6.4.5	Sistema radicular presente em matéria orgânica leve em água.	90
6.4.6	Frações de maior labilidade da matéria orgânica do solo.....	91
6.4.7	Análises estatísticas	91
6.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	92
6.5.1	Matéria orgânica leve em água com uso de dispersante (MOL _{NaOH}).....	92
6.5.2	Sistema radicular presente em matéria orgânica leve em água (MOL _{água}).	95
6.5.3	Teores de carbono (C), nitrogênio (N) e relação C/N de compartimentos da matéria orgânica do solo.....	103
6.6	CONCLUSÕES	108

7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	109
8	CONCLUSÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES	116
9	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	117

1 INTRODUÇÃO GERAL

A necessidade de suprimento da demanda por alimentos desencadeou um rumo desenfreado da utilização das terras pela agricultura brasileira, caracterizado por sistemas padronizados e simplificados de monocultura. Esses sistemas atualmente encontram-se produtivamente saturados, pois demandam de elevado custo energético e recursos naturais.

Nesse contexto, manejos conservacionistas do uso do solo vêm sendo estudados objetivando recuperar áreas degradadas pelos cultivos e/ou pastejo estabelecidos. Dentre estes manejos destacam-se o sistema de plantio direto (SPD) e o sistema de integração lavoura-pecuária (SILP), que atualmente são constantemente avaliados e aprimorados.

As grandes vantagens da associação de sistemas de lavoura e pecuária são a melhoria dos atributos de qualidade dos solos e a diversificação da renda na propriedade rural, que efetivam a sinergia na produção de grãos e carne. Dentre os inúmeros benefícios do sistema destacam-se os incrementos nos teores de matéria orgânica do solo (MOS), que promovem melhorias nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo.

Mesmo com o avanço científico no aprimoramento do SILP, a adoção deste pelos produtores rurais ainda é pequena. Esse fato provavelmente é resultado de um paradigma da compactação do solo promovida pelo componente animal, a qual pode ocorrer após revolvimento do solo com posterior pastejo e/ou inapropriada intensidade de pastejo na área.

Atenção especial deve ser direcionada às condições edafoclimáticas do local, pois estas determinarão a adequada estratégia de manejo a ser adotada no sistema. Quando as práticas de manejo são realizadas de forma apropriada, o solo é beneficiado pela intensificada produção de biomassa vegetal no inverno, pelo sistema radicular das espécies forrageiras utilizadas e pela adubação aplicada para a cultura de verão, dentre outros.

As espécies de braquiária (gênero *Urochloa*) merecem destaque nos SILPs, especialmente em regiões de clima tropical, onde as condições para decomposição da MOS são intensivamente favorecidas. O sistema radicular da braquiária é estruturador do solo, recicla água e nutrientes e incrementa teores de MOS. Também há a produção de elevadas quantias de biomassa vegetal, que pós senescência e/ou dessecação formam uma abundante palhada sobre o solo. A palhada atua como barreira física, que minimiza impactos ambientais e favorece um microclima propício à atividade da biota e à incorporação de carbono no solo.

São escassos os estudos sobre SILP que avaliem fracionamentos da MOS e o sistema radicular das espécies vegetais usadas no sistema no domínio morfoclimático do Cerrado. O fracionamento da MOS pode ser uma ferramenta útil na identificação dos impactos do manejo, havendo frações que sejam indicadoras em curto prazo pós prática adotada. Já estudos que caracterizem o sistema radicular podem provar os inúmeros benefícios atribuídos ao sistema radicular das braquiárias por estudos na literatura, sendo essas considerações muitas vezes feitas sem que exista uma comprovação científica.

Dentro deste contexto este estudo teve como hipóteses: 1) As intensidades de pastejo influenciam de forma diversa nos impactos sobre os atributos indicadores de qualidade do solo; 2) A produtividade da soja (*Glycine max L.*) se diferencia em função da intensidade de pastejo adotado; 3) Indicadores de qualidade do solo apresentam diferentes padrões quando comparados as áreas de pastejo com a área de Plantio Direto sem Pastejo e/ou Cerrado.

Para uma melhor discussão dos dados gerados este estudo foi dividido em quatro capítulos, com os seguintes objetivos: avaliar a fertilidade do solo e a produtividade da soja no Capítulo I; avaliar atributos físicos do solo e a emergência de plântulas de soja no Capítulo II; estudar os fracionamentos granulométrico e oxidável da matéria orgânica do solo (MOS) e o índice de manejo de carbono (IMC) no Capítulo III; e, finalmente, no Capítulo IV, avaliar a

matéria orgânica leve em água com uso e sem uso de dispersante do solo, e caracterizar essas frações quanto aos seus teores de carbono e nitrogênio.

O objetivo geral do estudo foi avaliar o efeito das intensidades de pastejo no inverno e o efeito da presença da soja (safra) nas frações da matéria orgânica do solo e nos atributos físicos indicadores de qualidade do solo, inter-relacionar esses atributos e analisar os possíveis impactos causados pelo componente animal na produtividade da soja.

Os objetivos específicos foram:

(a) Quantificar atributos químicos e físicos do solo e correlacioná-los com produtividade de vegetal visando identificar manejo mais apropriado.

(b) Avaliar o efeito das intensidades de pastejo no inverno e o efeito da presença da soja (safra) nas frações da matéria orgânica do solo e atributos físicos indicadores de qualidade do solo.

(c) Inferir possíveis relações entre atributos físicos e químicos com as frações da matéria orgânica do solo.

(d) Avaliar relações quantitativas entre o sistema radicular da braquiária e a adição de matéria orgânica ao solo, bem como relacionar massa de raízes nas diferentes profundidades com a ciclagem de nutrientes e melhorias nas características físicas do solo.

(e) Avaliar de forma conjunta os atributos do solo para uma maior compreensão da inter-relação destes.

(f) Verificar a presença ou ausência de limitações de manutenção e/ou melhoria qualidade do solo e produtividade da soja promovidas pelo pisoteio animal.

2 REVISÃO DE LITERATURA GERAL

2.1 O Sistema de Integração Lavoura-Pecuária (SILP) no Cerrado

Os sistemas convencionais de manejo do solo, bem como aqueles que ignoram a visão conservacionista tem gerado perdas na diversidade biológica, poluição do ambiente advinda de resíduos de fertilizantes e de defensivos agrícolas e a fragmentação de habitats. Contrastando com esse cenário os sistemas de integração lavoura-pecuária (SILP) podem, por meio de propriedades emergentes oriundas da integração entre o componentes do sistema, promover ganhos econômicos, sociais e ambientais. (Anghinoni et al., 2011).

Propriedades emergentes não são redutíveis à soma dos efeitos isolados, não estão presentes no nível inferior de ordem e não podem ser explicadas e nem reduzidas aos elementos que interagiram para gerá-las (Odum, 1983; Anghinoni et al., 2011), assim no SILP essas propriedades são obrigatoriamente resultantes da interação entre seus três componentes: a lavoura, as espécies forrageiras e os animais que pastejam nas áreas.

O SILP consiste na alternância temporária ou rotação do cultivo de grãos e pastejo de animais em pastagens de gramíneas e/ou leguminosas e seus consórcios, sendo essas atividades conduzidas em uma mesma área (Moraes et al., 1998).

Estima-se que cerca de 70 % do Bioma Cerrado seja adequado para a agricultura (Marchão, 2007) e embora esses solos, de maneira geral, sejam caracterizados pelo elevado grau de desenvolvimento pedogenético, apresentem-se intemperizados, ácidos, com baixa fertilidade natural e possuam concentrações elevadas de Al (Lourente et al., 2007) as suas características físicas são adequadas para desenvolvimento de plantas e mecanização agrícola (Camargo et al, 2010).

A conservação de recursos naturais e a melhoria na sustentabilidade de sistemas agrícolas têm recebido grande atenção na última década (Muniz et al., 2012). O avanço das fronteiras agrícolas no Cerrado e na Amazônia vem tomando rumos descontrolados. Nesse cenário as práticas conservacionistas como o sistema de plantio direto (SPD) e o sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto (SILP-PD) são opções de destaque para assegurar a expansão da agropecuária sem que seja necessário a abertura de novas áreas, contemplando também uma estratégia de baixo carbono (Martha Júnior, 2011). As áreas agrícolas utilizadas para SILP estão se tornando recentemente mais expressivas no Brasil em virtude de proporcionarem inúmeros benefícios, tomando como principal a diversificação e incremento da renda ao produtor rural (Macedo, 2009).

Em SILP associados ao plantio direto são criadas novas rotas de ciclagem de nutrientes. A FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) reconhece os benefícios da adoção do SILP-SPD mencionando o aumento da diversidade biológica, a melhoria da qualidade do solo, a mitigação das mudanças climáticas e a melhoria nos processos de produção, fatores estes que incrementam a resiliência ambiental e econômica em uma propriedade rural (Anghinoni et al., 2011).

Os SILP podem melhorar a produtividade agrícola, a qualidade ambiental, a eficiência operacional e o desempenho econômico em comparação a sistemas puros de produção (Liebig et al., 2011). O uso das culturas e seus resíduos para alimentação dos animais e a ciclagem de nutrientes pela pastagem para cultivo subsequente são benefícios que identificam a sinergia de produção nesses sistemas.

Deve ser tomada devida atenção à lotação de animais nas áreas com SILP, pois esta determinará se o sistema será bem ou mal sucedido (Carvalho et al., 2005), pois a superlotação no pastejo em solos úmidos e argilosos favorece as alterações negativas nos atributos físicos do solo (Conte et al., 2011), o que pode refletir na sustentabilidade em longo

prazo. Contudo essas alterações tem sido predominantes na camada superficial do solo e os impactos tem sido temporários e reversíveis após cultivo da lavoura de verão em sistema de semeadura direta (Carvalho et al, 2005; Vilela et al., 2011).

Diante disso, o sucesso a ser obtido no SILP é dependente da interação dos seus três principais componentes: a cultura anual no verão e a pastagem e o animal no inverno. O animal é um novo componente dentro do sistema e o manejo da lotação de animais nas áreas será determinante para a melhoria ou degradação dos recursos naturais ali presentes (Lunardi et al., 2008). As características físicas do solo e o balanço de carbono são dependentes da lotação animal e manejo do pastejo, sendo em muitos casos a influência do sistema radicular da braquiária sob pastejo extremamente benéfica ao incremento de atributos indicadores de qualidade do solo (Anghinoni et al., 2011).

2.2 Atributos Edáficos como Indicadores de Qualidade no SILP

Os sistemas de manejo do solo influem de forma diversa no acúmulo de matéria orgânica do solo (MOS), principalmente na superfície do solo. A MOS é reguladora da atividade biológica do solo e esta desempenha papel essencial na ciclagem de nutrientes, mudanças nas características físicas e químicas do solo e decomposição da MOS (Green et al., 2007). A adoção do SILP promove mudanças nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo (Anghinoni et al., 2011). A capacidade do SILP manter níveis adequados de MOS sob intensidade de pastejo moderada é fator crucial para incremento de estabilidade dos agregados (Souza, 2008), assim o SILP pode ser bastante eficiente na melhoria da estruturação do solo.

2.2.1 Indicadores físicos de qualidade do solo

Um adequado manejo agrícola visa preservar e/ou melhorar as estruturas físicas do solo, pois os mesmas fornecem serviços ecossistêmicos essenciais como o crescimento das plantas, disponibilidade de água, fluxo de gases e atividade biológica do solo (Piron, 2012).

Embora solos do Cerrado geralmente se caracterizem por possuir adequadas propriedades físicas, os impactos causados por manejos convencionais têm gerado danos à agregação do solo, alterando a forma e a estabilidade de agregados. O aumento da intensidade de cultivo tem gerado, de forma geral nesse bioma, a redução de tamanho de agregados no solo, o aumento da densidade do solo, a redução da porosidade total e o aumento da resistência do solo à penetração (Silva et al., 2005). De acordo com Flores (2004) o tráfego de animais e máquinas agrícolas, principalmente quando os solos são muito argilosos e se encontram sob condição muito úmida, causam compactação do solo. Em paralelo a esta, ocorre o aumento da suscetibilidade a degradação do solo podendo afetar de forma direta ou indireta a produção vegetal.

Em sistemas conservacionistas de manejo do solo há a tendência de haver maior eficiência da ação estruturadora de raízes e demais organismos do solo (Silva et al., 2005). De acordo com Flores (2004) sob sistemas já consolidados de SILP-SPD há maior resiliência do solo à compactação que ocorre predominantemente nos primeiros 5 cm de profundidade, sendo que o solo se recompõe estruturalmente dos impactos dos cascos dos animais no cultivo de verão. Para Carvalho et al. (2011) sistemas de ILP incrementam características físicoquímicas e biológicas ao solo decorrentes da manutenção de resíduos sobre o solo, da ciclagem de nutrientes e melhorias no habitat para os organismos ali presentes.

Os benefícios do SILP supracitados não são gerados quando o manejo do pastejo é inadequado, sendo que em áreas superlotadas o impacto dos cascos dos animais pode resultar em degradação física do solo (Flores et al., 2007; Conte et al., 2011; Debiasi & Franchini, 2012). Diante disso, atributos físicos como a textura do solo, a macroporosidade, a microporosidade, a densidade do solo e a distribuição e estabilidade dos agregados tornam-se

ferramentas importantes na avaliação da adequação desses sistemas de manejo (Flores, 2004; Conte, 2007).

A agregação de um solo é definida como o arranjo das partículas e sua associação com os poros no solo, que podem ser resultantes de processos pedoclimáticos, biológicos e/ou antropogênicos, sendo que esses processos contribuem de diferentes formas para a qualidade de solo (Piron, 2012). O manejo agrícola reflete em benefícios ou danos na estruturação de um solo. Sistemas conservacionistas podem promover maior agregação (Batista et al., 2013a) e esses agregados, por sua vez, podem proteger fisicamente a MOS diminuindo sua velocidade de decomposição. Esses fatores podem influenciar a qualidade e quantidade de insumos orgânicos no sistema (Pulleman & Marinissen, 2004).

De acordo com Silva e Mielniczuk (1998) a alta densidade de gramíneas perenes utilizadas em sistemas conservacionistas promove a formação e estabilização de agregados. Segundo os autores essas raízes aumentam a aproximação das partículas do solo em consequência da constante absorção de água pelas mesmas, da renovação do sistema radicular e do aumento da atividade microbiana estimulado pela liberação de exsudatos no solo. Zangerlé et al. (2011) ressaltam que raízes de algumas plantas produzem mucilagens e outros exsudatos que unem as partículas do solo em um processo de pressão pelas raízes aliado ao umedecimento e secagem do solo.

Adicionalmente e não menos importante ao supracitado é necessário considerar que a união das partículas do solo é procedente de inúmeros ciclos no solo. Esses ciclos podem ser decorrentes de processos de ordem física por meio de aproximação mecânica de partículas, química pelo incremento de agentes cimentantes, onde a MOS exerce função indispensável, e biológica por meio da dinâmica de organismos contribuintes no transporte e adição de agentes cimentantes ao solo. Agentes biológicos também dispõem da capacidade de aproximar partículas com sua movimentação no solo e, no caso das minhocas, há a formação de complexos organo-minerais por ação de seu aparelho digestivo (Lavelle et al., 2006).

Destacam-se alguns fatores importantes que interferem no processo de agregação do solo: (i) tipo e teor de argila; (ii) cátions polivalentes; (iii) alumínio; (iv) carbonatos de cálcio; (v) compostos orgânicos provenientes da ação de microorganismos e plantas; (vi) agentes cimentantes como os óxidos e hidróxidos de ferro; (vii) ciclos de umedecimento e secagem nos solos; (viii) ação compressiva de hifas de fungos; (ix) e processos pedogenéticos alternativos como agregados biogênicos originados da atividade da macrofauna do solo (Bastos et al., 2005; Silva Neto et al., 2010).

A densidade do solo e a resistência à penetração também tem sido amplamente utilizadas como indicativos para avaliar a limitação do crescimento do sistema radicular das plantas cultivadas (Albuquerque et al., 2001). A densidade do solo é a relação entre a massa do solo e o volume do solo (Corsini & Ferraud, 1999) e está relacionada com a mineralogia, MOS, agregação do solo e práticas de manejo. Por isso influencia diretamente o crescimento radicular, a disponibilidade de água e de nutrientes para as plantas e a produtividade em sistemas agrícolas (Menezes, 2008).

O tráfego de máquinas e animais pode simultaneamente aumentar a densidade e a resistência à penetração de raízes no solo, reduzindo a macroporosidade e a infiltração de água no solo. Dessa forma, as raízes por estarem impedidas de explorar a porosidade do solo, tendem a se concentrar nas camadas mais superficiais, tornando as plantas mais suscetíveis a déficits hídricos e, conseqüentemente, nutricionais. Esses impactos são favorecidos por texturas mais argilosas, maior intensidade de pastejo, maior umidade do solo e menor quantidade de resíduos vegetais sobre o solo (Lanzanova et al., 2007).

Entretanto, os impactos promovidos pelo pastejo dos animais podem ser benéficos. A ausência de preparo do solo durante o ciclo da pastagem e a presença de um denso sistema radicular desta, que atua como agente agregante e aumenta atividade da macrofauna do solo,

podem contribuir para incremento da estabilidade de agregados, macroporosidade e da condutividade hidráulica (Marchão, 2007).

Em áreas submetidas ao pastejo moderado a porosidade não é afetada, não comprometendo o desenvolvimento vegetal (Conte et al., 2011). O autor também atenta ao fato de sistemas de plantio direto já consolidados apresentarem elevada resiliência ao impacto causado pelo pisoteio animal. Segundo Loss (2011) os efeitos benéficos advindos do pastejo de animais são principalmente decorrentes da constante renovação do sistema radicular após pastejo de gramíneas do gênero *Urochloa sp.*

A porosidade de um solo está relacionada com a densidade, pois a massa de um solo não muda e sim o volume do mesmo. Assim, quando ocorre a compactação do solo há uma redução do espaço poros. Como consequência direta o fluxo de água e ar no solo e o crescimento de raízes diminuem, causando impactos danosos sobre a produtividade agrícola e/ou pecuária (Conte, 2007).

2.2.2 Compartimentos da Matéria Orgânica como Indicadores de Qualidade do Solo

A MOS é composta de resíduos vegetais e animais em estádios diversos de decomposição (Wander, 2004). As formas que a MOS se apresenta é resultado de vários fatores, incluindo o manejo e a quantidade de resíduos adicionados pela cobertura do solo (Batista, 2011).

O carbono (C) pode ser acumulado em frações lábeis (biodegradável, leve) ou estáveis (humificada, pesada) da MOS, o que pode ter implicações na durabilidade do seu efeito quanto à retenção de C atmosférico, bem como em alterações nas propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos (Bayer & Mieleniczuk, 2008).

Frações mais lábeis da MOS podem estar relacionadas com o tamanho das partículas do material orgânico (Cambardella & Elliot, 1992), sendo o de maior tamanho mais sensível às práticas de manejo, pois no mesmo predomina material recentemente adicionado ao solo (Chan, 2001). Parte da MOS macroscópica flota em água, e é a fonte de nutrientes e carbono mais disponível aos organismos do solo. Essa fração leve apresenta características semelhantes a do material que lhe deu origem e tem ciclo mais reduzido no solo, sendo que este último aumenta quanto a MOS está retida intra-agregados do solo (Demolinari et al., 2008).

A MOS pode estar não-complexada (MONC) ou estar formando complexos organo-minerais (COM). Os agregados (COM-secundários) podem proteger a MOS e essa é denominada MONC-oclusa, sendo a mesma menos acessível à microbiota do solo. A MONC que não está aprisionada dentro dos agregados é denominada MONC-livre. (Roscoe & Machado, 2002).

Diante dos aspectos supracitados foram desenvolvidas diversas metodologias de fracionamento da MOS, visando melhor compreensão da sua dinâmica nos solos, sendo que alguns desses fracionamentos se destacam.

O fracionamento granulométrico da MOS separa o carbono orgânico particulado (Cop), fração da matéria orgânica do tamanho da areia e que é composta principalmente por fragmentos de raízes em vários estádios de decomposição. Discerne também o carbono de tamanho menor do que areia que se associa aos minerais do solo (Coam) (Cambardella & Elliot, 1992).

O carbono orgânico particulado (Cop) é a fração da matéria orgânica do tamanho da areia (maior que 53 μm) e está predominantemente relacionado à proteção física de agregados do solo (Carmo et al., 2012; Golchin et al., 1994). O carbono orgânico associado aos minerais (Coam) é do tamanho das frações silte (2-53 μm) e argila (0-2 μm), e é a fração da MOS que está protegida pelo mecanismo de proteção coloidal interagindo com minerais e formando complexos com estes (Christensen, 1996). Enquanto o Coam apresenta elevado grau de

humificação, menor sensibilidade às práticas de manejo e associação com estabilidade de agregados no solo o Cop, por ser uma fração da MOS de maior labilidade, é relativamente sensível ao manejo e pode qualificar a dinâmica da MOS em curto prazo (Rossi et al., 2012).

O fracionamento oxidável da MOS separa quatro frações da MOS por meio de graus decrescentes de oxidação, com graus crescentes de recalcitrância ($F1 < F2 < F3 < F4$), conferindo diferentes labilidades às frações quantificadas (Chan et al., 2001).

A fração muito facilmente lábil (F1) e a fração moderadamente lábil (F2) são consideradas frações lábeis e estão associadas com a disponibilidade de nutrientes e com a formação de macro-agregados (Chan et al., 2001; Barreto et al., 2011). A fração F1 apresenta a maior labilidade no solo e está correlacionada positivamente com a fração da MOS em estágios iniciais de decomposição, sendo bastante sensíveis ao manejo, pois são mais acessíveis à biota do solo (Loss et al., 2010). Já a fração moderadamente oxidável (F3) e a fração resistente (F4) estão relacionadas a compostos de maior estabilidade química e massa molar, oriundos da decomposição e humificação da MOS (Stevenson, 1994). A fração F4 é a mais resistente no solo, sendo denominada de “compartimento passivo” nos modelos de simulação da MOS, com tempo de reciclagem de até 2.000 anos (Chan et al., 2001; Loss et al., 2010).

A matéria orgânica leve em água (MOL) tem se destacado em responder de forma bastante imediata ao manejo do solo (Rangel et al., 2012). A MOL é separada por metodologia desenvolvida por Anderson & Ingran (1989), que consiste na flotação de material leve em água e que compreenda tamanho entre 0,25 e 2,0 mm (Loss et al., 2010).

A matéria orgânica leve (MOL) é uma fração ativa no solo, sendo constituída por resíduos orgânicos vegetais, animais e de microorganismos (Ruivo et al., 2005) parcialmente humificados em vários estádios de decomposição e apresentando um tempo de residência no solo que varia de um a cinco anos (Pereira et al., 2010 *apud* Janzen et al., 1992). Em uma escala de sensibilidade das frações da MOS à alterações promovidas pelo manejo do solo a MOL ocuparia o segundo lugar, sendo menor apenas que a biomassa microbiana (Ribeiro et al., 2011). Assim a MOL é caracterizada por apresentar rápida dinâmica no solo representando em médio e curto prazo a capacidade de ciclagem de nutrientes no sistema (Compton & Boone, 2002), além do método de quantificação desta não ser oneroso e de execução simples e rápida.

2.2.3 Avaliação de atributos edáficos em SILP

Encontram-se na literatura vários estudos que avaliam atributos físicos como indicadores de qualidade do solo (Marchão et al., 2007; Conte et al., 2011; Spera et al., 2012), entretanto ainda não existe um consenso quanto a alguns impactos gerados em decorrência da adoção do SILP-SPD. De acordo com Anghinoni et al. (2011) há um desafio em encontrar manejos que promovam resiliência física do solo, ou seja, mesmo com impactos do pastejo de animais não ocorra comprometimento da produtividade, dos ciclos hidrológicos e nutritivos no solo e da capacidade de recuperação de impactos sobre o solo em um ano agrícola.

Debiasi & Franchini (2012) salientam sobre os benefícios da diversificação da renda dos produtores rurais em SILP-SPD e também afirmam que há receio destes em adotarem o SILP devido a um histórico de impactos físicos negativos sobre o solo, comprometendo o desenvolvimento das culturas de verão, principalmente da soja. Os autores destacam a importância de estudo de intensidades de pastejo para que seja encontrado de fato um manejo adequado que não proporcione compactação ao solo e perda da produtividade da soja e/ou proporcione efeitos alelopáticos, estes devidos ao acúmulo excessivo de forragem sobre o solo e curto intervalo entre dessecação e semeadura da soja.

Para Lunardi et al. (2008) o paradigma do pastejo dos animais causarem compactação do solo e perda de produtividade das culturas de verão pode ser uma herança de períodos da

agricultura convencional que expunha mais o solo, acentuando impactos causados pelos cascos dos animais.

Estudos como o de Loss et al. (2011) e Conte et al. (2011) dentre outros na literatura comprovam que um adequado manejo pode incrementar atributos indicadores de qualidade do solo. No estudo de Loss et al. (2011) em Montividiu, GO foram verificados menores valores de Ds, maiores valores de diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG) dos agregados e maior quantidade de agregados entre 8,00 mm e 2,00 mm, além de maiores teores de COT e N nesses agregados na área de ILP-SPD quando comparada a área de SPD. Os autores atribuíram os resultados encontrados ao efeito agregante do sistema radicular da braquiária e também ao maior aporte de resíduos de raízes com constante renovação no sistema de ILP-SPD.

Estudando a evolução de atributos físicos do solo em um LATOSSOLO VERMELHO no RS após sete anos de manejo com SILP, Conte et al. (2011) não verificaram alteração na densidade e porosidade do solo. Em seu estudo o autor verificou incremento no diâmetro médio ponderado de agregados estáveis em água, independentemente da intensidade de pastejo. Os autores também salientam que, embora a resistência mecânica a penetração tenha aumentado na profundidade de 0-10 cm esta não desencadeou impactos negativos sobre os demais atributos do solo ou mesmo da produtividade das culturas no verão.

A partir do observado na literatura verifica-se que SILP-SPD se diferem, havendo assim a necessidade de avaliações regionais de adequação das práticas de manejo adotadas. Considera-se assim que fatores climáticos e edáficos, e ambos relacionados com o manejo, atuam sobre a dinâmica dos atributos indicadores de qualidade do solo, bem como sobre a respectiva produtividade dos sistemas.

2.3 A Braquiária no SILP

O SPD foi criado com o objetivo de proteger o solo contra intempéries climáticas e reduzir a erosão, conservando mais o solo (Fancelli & Dourado Neto, 2000) e atualmente está consagrado como sistema conservacionista de cultivo agrícola (Neto et al., 2007). Posteriormente o SILP-PD também surgiu como uma alternativa de produção conservacionista, porém mais complexa, objetivando manter a produtividade agrícola e recuperar e renovar as pastagens (Macedo, 2001; Batista et al., 2013a). Ambos SILP e SPD visam incremento de produtividade, tem mantido e/ou incrementado os teores de MOS, tomando como o principal o incremento de qualidade do solo (QS), resultado do sinergismo entre seus componentes (Anghinoni et al., 2013).

As taxas de perdas de MOS em solos de clima tropical chegam a ser cinco vezes superiores quando comparadas àquelas de clima temperado (Salton et al., 2011). Dessa forma os autores sobrepõem a importância de manejos conservacionistas diante do favorecimento às perdas de MOS nas condições edafoclimáticas do Cerrado.

No Cerrado dificilmente o agricultor deixará de cultivar espécies agrícolas em período de disponibilidade hídrica (Guareschi, 2013), entretanto deve ser considerado que a época seca restringe o crescimento vegetal nesse bioma. Assim, o manejo das espécies utilizadas para cobertura deve preconizar o proveito do final da estação chuvosa. Essas devem devem ser capazes de estabelecer-se rapidamente e explorar profundamente o solo, o que permite que as mesmas sejam menos impactadas com os efeitos posteriores do déficit hídrico (Pitol et al., 2006).

Nesse contexto gramíneas do gênero (*Urochloa sp*) tem sido bastante utilizadas nas condições edafoclimáticas do Cerrado, pois apresentam sistema radicular profundo e agressivo e se adaptam ao período de restrição hídrica (Loss, 2011). A *Urochloa ruziziensis* tem se destacado para uso no SILP. Esta espécie tem sido muito utilizada em solos de baixa fertilidade do Cerrado, pois se adapta facilmente a essa condição, bem como ao período de

restrição hídrica (Carvalho et al, 2011). A *Urochloa ruziziensis* é nativa na parte oriental da República do Zaire, em Ruanda e Kenya, sendo introduzida no Brasil como planta forrageira (Kissmann & Groth, 1997). Segundo Carvalho et al., (2011) mesmo sob condições antagônicas ao crescimento e desenvolvimento de plantas no Cerrado, a *Urochloa ruziziensis* possui uma elevada produção de biomassa e funciona eficientemente como planta de cobertura do solo.

Além da elevada produção de biomassa pelas gramíneas do gênero *Urochloa*, na literatura são inúmeros os estudos que citam a importância da influência do seu sistema radicular na melhoria de atributos relacionados à qualidade do solo. Dentre eles a incorporação de carbono (Pereira, 2010; Salton et al., 2011; Loss et al., 2011; Rossi et al., 2012; Carmo et al., 2012), a agregação do solo (Salton et al., 2008; Castro et al., 2011; Loss et al., 2011; Brandão & Silva., 2012) e a ciclagem de nutrientes (Batista, 2011; Loss, 2011; Pezzoni et al., 2012). Entretanto nenhum desses autores verificou de fato aspectos quantitativos e qualitativos do sistema radicular nas diferentes áreas avaliadas.

A produtividade da forragem é influenciada pelo desenvolvimento radicular das pastagens e este é extremamente dependente das condições físicas do solo, nutrientes, umidade, temperatura e grau de desfolha (Cecato et al., 2001). Assim tem sido gerado grande interesse de estudos de relações do sistema radicular de forrageiras com o solo, plantas e outros organismos (Batista & Monteiro, 2006).

Em estudos de SILP-SPD a melhoria em atributos físicos, químicos e biológicos, que são indicadores da qualidade do solo, vem sendo atribuídos ao aporte diferenciado, tanto em superfície como pelas raízes, de resíduos vegetais quando comparado aos sistemas puros de produção de grãos. Nesse sistema há um melhor balanço entre raízes e parte aérea acumuladas no tempo, favorecendo também o acúmulo de MOS e a diversidade de macro e mesofauna no solo (Loss, 2011). Visando esses aspectos, se torna interessante o estudo da intensidade do pastejo, pois esta influencia diretamente a distribuição de resíduos vegetais e animais no solo (Anghinoni et al., 2011).

De acordo com Zonta et al. (2006) a seleção de plantas com o sistema radicular bem desenvolvido permite aumentos na produtividade, se sobressaindo ainda mais quando comparadas àquelas não adaptadas a condições climáticas e edáficas adversas. Segundo os autores as condições de estresse podem favorecer os gastos de carbono com o sistema radicular, que é comum em solos brasileiros por estes apresentarem baixa disponibilidade de nutrientes. Dessa forma quanto mais escassos os recursos do meio, maiores seriam os investimentos em sistema radicular por parte da planta.

De acordo com o supracitado, Prado (2008) ressalta que as plantas do gênero *Urochloa* apresentam maior quantidade e melhor distribuição de raízes em profundidade quando comparadas às do gênero *Panicum* e *Andropogon*, o que aumenta a área radicular e capacidade de absorção de nutrientes. Ainda, segundo o autor, essas plantas mais adaptadas translocam mais carboidratos para a raiz, minimizando prejuízos ao sistema radicular.

Ainda, as raízes exercem pressões biofísicas (axial e radial) sobre os agregados durante seu crescimento, aproximando as partículas minerais e aumentando a densidade nas regiões mais próximas a superfície radicular. Aliada a esta ação de pressão, as raízes absorvem água, ocasionando secamento de partículas adjacentes, provocando pressões capilares e intensificando a compressão dos grânulos minerais. Esses fatores associados à liberação de constituintes orgânicos e exsudatos durante o crescimento das raízes podem ser responsáveis pela formação de agregados estáveis em água e menos acessíveis a ação decompositora de microorganismos. Tomando uma análise conjunta da dinâmica radicular e seu papel na aproximação e cimentação de partículas minerais pode ser inferido que o sistema radicular é o principal formador de micro e macroagregados (Zonta et al., 2006).

Diante disso, o sistema radicular de gramíneas é mais eficiente em aumentar e manter a estabilidade de agregados do que as leguminosas (Coutinho et al., 2010), provavelmente por apresentarem uma maior biomassa radicular (Salton et al., 2008). Considerando que em SILP-SPD de maneira geral são utilizadas gramíneas do gênero *Urochloa sp.* (Loss, 2011) e que após pastejo o sistema radicular é obrigatoriamente renovado e dependente da intensidade de pastejo (Rodrigues & Zevallos, 1991) estudos que correlacionem decomposição e renovação do sistema radicular de forrageiras tropicais com fatores bióticos e abióticos no solo deveriam ser intensificados (Pagotto, 2001).

A avaliação *in loco* de raízes é dificultada pelo solo ser um ambiente opaco (Matta, 1999). De acordo com Zonta et al. (2006) há escassez de resultados de pesquisas sobre raízes em todo o mundo, provavelmente por haver dificuldades metodológicas e pelo sistema radicular apresentar-se na maioria dos casos inacessível, complexo e variável, espacialmente e temporalmente.

Segundo Brasil et al. (2007) a avaliação por escavação ainda é a metodologia mais utilizada para quantificação de raízes, sendo interessante o auxílio de outras técnicas, considerando que todas elas apresentam suas vantagens e limitações. Segundo o autor embora o método do anel volumétrico seja o mais utilizado, considerado como padrão por ser menos destrutivo e possibilitar um número maior de repetições, há necessidade de um grande número de repetições, pois a amostra é de baixo volume, o que potencializa a heterogeneidade entre amostras.

Comparando com o supracitado, o monólito seria capaz de coletar maior volume de solo por amostra e diminuir o coeficiente de variação em análises estatísticas, embora seja um método mais destrutivo. Também há a possibilidade do uso de fotos de perfil com pintura de raízes, no intuito de qualificar o sistema radicular rapidamente e fornecer um apoio aos dados verificados nas diferentes áreas avaliadas (Brasil et al., 2007).

São inúmeras as citações na literatura sobre possível influência das raízes sobre a agregação do solo (Salton, 2005; Loss et al., 2011; Batista et al., 2013), bem como incrementos nos teores de nutrientes e MOS nos SILP (Anghinoni et al., 2013). Entretanto, poucos são os trabalhos a campo que envolvam o efeito do pisoteio animal sobre o crescimento do sistema radicular e das plantas nos sistemas de cultivo (Flores, 2004).

2.4 Impactos do Manejo sobre a Produtividade de Carne, Pasto e Culturas Anuais

Mesmo que, historicamente, imigrantes europeus tenham trazido consigo a tradição de associar agricultura, pecuária e florestas, essa passou a ser ignorada e esquecida (Balbino et al., 2011). De acordo com Carvalho et al. (2010) sistemas integrados reduzem o risco de prejuízos com as lavouras no verão e os baixos preços dos produtos agrícolas no inverno, aumentando a eficiência do uso das áreas e a lucratividade da propriedade rural.

Os sistemas com práticas intensificadas independentes e dissociadas têm alcançado sua saturação, por requererem elevado custo energético e demanda destrutiva de recursos naturais. Dentre os sinais de saturação observados podem ser destacados a degradação dos solos, das pastagens e dos recursos naturais, ocorrência de pragas e doenças e principalmente a perda de produtividade das culturas. Nesse contexto os sistemas integrados podem solucionar grande parte dos problemas, entretanto no Brasil, mesmo com avanço científico, a adoção desses sistemas ainda é baixa (Balbino et al., 2011).

O SILP foi desenvolvido com objetivo de suprir o rebanho bovino de forragem em períodos críticos. Esse sistema também vem sendo aperfeiçoado no intuito de recuperar pastagens degradadas com o uso de adubos custeados pela agricultura (Salton et al., 2005). Segundo o autor a pastagem é importante alternativa para produção de massa vegetal sobre o solo e incorporação de carbono por meio de raízes, considerando também que são reduzidos os custos com o SPD quando este é realizado sobre a pastagem.

Sistemas de integração lavoura-pecuária incrementam sustentabilidade em decorrência do menor custo energético quando comparados a sistemas especializados em pecuária ou agricultura (Vilela et al., 2001; Entz et al., 2005; Carvalho et al., 2010). Entz et al. (2005) enumeram maneiras de reciclagem de nutrientes em SILP, sendo elas: adição de nitrogênio ao solo por leguminosas fixadoras; a excreta dos animais em pastejo; o esterco de animais confinados e transferência de nutrientes com a movimentação do gado. De acordo com o autor cerca de 70 a 90 % dos nutrientes extraídos pelas pastagens retornam ao solo em SILP, entretanto a reciclagem está diretamente relacionada com a intensidade de pastejo adotada.

A soja é considerada uma das mais importantes culturas para economia mundial, onde seus grãos são utilizados para agroindústria, indústria química e de alimentos, e recentemente para biocombustível (Costa Neto & Rossi, 2000). Isso a torna uma das importantes bases para economia brasileira, sendo sua cadeia chamada de “macro-setor agrícola”, correspondendo a, aproximadamente, 40 % do valor das exportações brasileiras (Heredia et al., 2010) e atualmente essa cultura também é utilizada em rotação com pastagens em sistemas de SILP-PD (Balbino et al., 2011).

A exploração da cultura da soja no Brasil teve seu início nos estados do sul e atualmente é cultivada em diferentes ambientes do país, tal fato é principalmente representado pelos avanços no cultivo do Cerrado (Freitas, 2011). De acordo com a EMATER GO, 2012 o estado de Goiás ocupa o quarto lugar no ranking estadual de produção de soja no Brasil estimada em 7,96 milhões de toneladas e, produtividade de 3.103 kg ha⁻¹ para a safra de 2011/2012. Os três principais produtores, em ordem, são os estados do Mato Grosso, Paraná e Rio Grande do Sul.

Os sistemas integrados de produção podem gerar muitos benefícios, entretanto deve-se adequar o manejo das pastagens, pois o pastejo pode causar compactação superficial do solo e falta de palha para cultivo subsequente (Nicoloso et al., 2006). De acordo com Balbinot Junior et al. (2012) um manejo que favoreça o crescimento do sistema radicular das pastagens incrementa a biomassa da parte aérea destas, diminui o impacto da pressão mecânica do pisoteio e, conseqüentemente, as características físicas do solo são preservadas e/ou melhoradas.

Carvalho et al. (2010) atentam para o fato de que elevadas intensidades de pastejo reduzem o ganho de peso animal, aumentam a população de plantas invasoras, reduzem a capacidade de retenção de água no solo, diminuem a quantidade de palha para o cultivo posterior e, finalmente, diminuem a produtividade de grãos no verão. Em experimento de longa duração (oito anos) sob diferentes intensidades de pastejo (10, 20, 30 e 40 cm de altura do pasto) os autores verificaram um melhor desempenho animal com manejo de 30 cm, em que nas maiores intensidades de pastejo a produtividade da soja reduz significativamente.

Atualmente são muitos os estudos avaliando características edáficas em SILP-SPD, entretanto são escassos aqueles que relacionam manejos do pastejo com a produtividade das culturas e da pastagem nesses sistemas. Um exemplo é o estudo de SILP-SPD no município de Eldorado do Sul/RS de Lunardi et al. (2008). Os autores verificaram incremento de produtividade da soja em áreas submetidas ao pastejo por cordeiros. Esse incremento foi superior quando a intensidade de pastejo foi baixa, nesse manejo a oferta de forragem era cinco vezes do potencial de consumo dos animais.

3 CAPÍTULO I

FERTILIDADE DO SOLO E PRODUTIVIDADE DA SOJA EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA EM PLANTIO DIRETO NO CERRADO GOIANO

3.1 RESUMO

O sistema de integração lavoura pecuária (SILP) pode promover melhorias na fertilidade do solo, favorecendo um maior sequestro de carbono e reciclagem de nutrientes. Em paralelo, o SILP diversifica e intensifica a produção da propriedade rural, beneficiando-se da sincronia do cultivo de espécies agrícolas e da pastagem. Entretanto é necessário que a produtividade agrícola não diminua seu desempenho diante dos impactos gerados pelo pastejo dos animais. O presente estudo visa avaliar os efeitos das diferentes intensidades de pastejo na fertilidade do solo e na produtividade da cultura da soja (*Glycine max L.*) em um sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, implantado em 2009, na Universidade Federal Goiás, campus Jataí, GO (17° 56' S e 51° 43' O). Foram coletadas amostras compostas de terra, formadas a partir de três amostras simples, para as camadas de 0–5, 5–10, 10–20 e 20–40 cm. Posteriormente foram quantificados os teores de Ca^{+2} , Mg^{+2} , Al^{+3} , Na^{+} , K^{+} , $\text{H}^{+}+\text{Al}^{+3}$, soma de bases (S), capacidade potencial de troca de cátions (T) e a saturação por bases (V%). Também foram quantificados os teores de carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (N), fósforo assimilável (P), fósforo remanescente (Prem) e os valores de pH do solo. Por ocasião da maturação fisiológica da soja foi realizada uma nova amostragem para avaliar sua produtividade. O delineamento utilizado foi o de blocos inteiramente casualizados (DBC), com seis repetições. Os atributos foram avaliados em duas épocas distintas: uma pós-ciclo de pastejo (PP) e outra pós-lavoura (PL). As maiores diferenças para os atributos nos usos do solo e épocas avaliados foram verificadas na profundidade de 0–5 cm. Na área de Cerradão foram verificadas flutuações sazonais, sendo os maiores teores de Ca^{+2} , Mg^{+2} , $\text{H}^{+}+\text{Al}^{+3}$, COT e N, e valores S e V% observados na época chuvosa de avaliação (PL). Alguns atributos da época PP na área de Cerradão foram menores (Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^{+} , P, Prem, S, T, V%) e outros maiores ($\text{H}^{+}+\text{Al}^{+3}$, N e COT) quando comparados com os das áreas com cultivo agrícola. Ocorreu incremento de K^{+} em todas as áreas avaliadas nas profundidades de 5–10 e 10–20 cm na época PL. A inter-relação dos atributos em área de Cerradão foi mais frequente, elevada e significativa em comparação com as áreas cultivadas. Para as áreas cultivadas os teores de COT se correlacionaram positivamente com os valores S e T até a profundidade de 10 cm, e com o V % e o P na profundidade de 5–10 cm. O P é o nutriente mais limitante no estudo, pois suas concentrações foram muito baixas em todas as áreas, épocas e profundidades avaliadas. A fertilidade do solo e produtividade da soja não se diferenciaram entre as intensidades de pastejo até o presente momento do SILP, sendo indicada a lotação de animais que resulte em seu ganho de peso. De acordo com os resultados há necessidade de incremento de matéria orgânica do solo nas áreas cultivadas, visto que o COT contribui para a melhoria da fertilidade do solo.

Palavras-chave: Atributos edáficos. Atributos agronômicos. Sistemas integrados. Intensidade de Pastejo.

3.2 ABSTRACT

The system of farming livestock integration (CLI) can promote improvements in soil fertility, favoring a greater carbon sequestration and nutrient cycling. In parallel, the CLI diversifies and intensifies the production in the farm, benefitting the synchronicity of the cultivation of agricultural crops and pasture. However, it is necessary that agricultural productivity does not decrease its performance in front of impact caused by animal grazing. The present study aims to evaluate the effects of different grazing intensities and of soybean cultivation on soil fertility and yield of soybean (*Glycine max L.*) in a CLI-NT, implemented in 2009, in Goiás Federal University, campus of Jataí, GO (17° 56' S e 51° 43' W). Composite samples of soil, formed from three single samples were collected to depths of 0–5, 5–10, 10–20 e 20–40 cm. Subsequently, contents of Ca^{+2} , Mg^{+2} , Al^{+3} , Na^{+} , K^{+} , $\text{H}^{+}+\text{Al}^{+}$, sum of bases (SB), potential cation exchange capacity (T) and saturation (V %) were quantified. The levels of total organic carbon (TOC), total nitrogen (N), available phosphorus (P), remaining phosphorus (Prem) and the pH of the soil were also quantified. At the physiological maturity of soybean a new sample to assess their productivity was performed. The design was a completely randomized block design (RBD) with six replications. The attributes were evaluated at two different times: a post-grazing cycle (PG) and other post soybean cultivation (PSC). The biggest differences for the attributes in land use and seasons were verified reviews in depth 0-5 cm. In the area of Cerradão with the seasonal fluctuations were observed the highest levels of Ca^{+2} , Mg^{+2} , $\text{H}^{+}+\text{Al}^{+3}$, TOC and N, and SB and V % values for the rainy season assessment (PSC). Some attributes of the PG time in the Cerradão area were lower Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^{+} , P, Prem, SB, T, V%) and other higher ($\text{H}^{+}+\text{Al}^{+3}$, N and TOC) when compared with areas of agricultural cultivation. There was an increase of K^{+} in all areas evaluated in the depths of 5-10 and 10- 20 cm at the time PSC. The inter-relation of the attributes in the area of Cerradão was most frequent, high and significant in comparison with the cultivated areas. In acreages the TOC contents were positively correlated with the S and T values until the depth of 10 cm, and the V and P % in the depth 5-10 cm. P is the most limiting nutrient in the study, because the concentrations in soil were very low in all areas, times and depths evaluated. Soil fertility and soybean yield did not differ between grazing intensities to present date of the CLI, indicating stocking of cattle that results in better weight gain. According to the results there is a need for increasing organic matter in the soil in the cultivated areas, whereas TOC contributes to improving the soil fertility.

Keywords: Edaphic and agronomic attributes. Integrated systems. Intensity of grazing.

3.3 INTRODUÇÃO

A demanda mundial por alimentos tem desencadeado um rumo desenfreado da agricultura brasileira, caracterizado por sistemas padronizados e simplificados de monocultura. Esse tipo de agricultura progride em sistema diretamente oposto à natureza (Anghinoni et al., 2013 *apud* Tracy, 2007). Dessa forma, tais sistemas são insustentáveis por requererem elevado custo energético e demanda destrutiva de recursos naturais (Balbino et al., 2011). Enquanto há um controle focado nas influências indesejadas sobre a produtividade da monocultura ocorre desconhecimento das questões referentes à sustentabilidade em longo prazo (Franzluebbers & Stuedemann, 2013).

Os sistemas integrados de lavoura e pecuária (SILPs) podem melhorar as condições ambientais da agricultura e/ou pecuária, tirando proveito da sinergia obtida entre eles e, principalmente, aumentando a reciclagem de nutrientes no sistema (Franzluebbers & Stuedemann, 2007; Liebig et al., 2011). Denota-se a importância dos SILPs para a pecuária após conhecimento de que estes produzem, em âmbito mundial, cerca de metade da carne bovina, um terço da carne ovina e metade da produção leiteira (Steinfeld et al., 2006). O Brasil detém a segunda maior área mundial sob sistema de plantio direto (SPD) e o segundo maior rebanho bovino e, apesar disto, muitas vezes não se verifica uma integração dessas atividades, havendo cerca de 70 % das pastagens em algum estágio de degradação (Silva et al., 2013).

Os SILPs sincronizados, que envolvam o uso de recursos de forma simultânea ou dentro de um ciclo, diversificam o sistema, mitigam os riscos econômicos, exploram a variabilidade espacial da propriedade, aumentam a eficiência operacional, otimizam o uso e alocação de recursos e sustentabilizam o sistema com a melhoria da fertilidade do solo e manutenção de recursos. Entretanto, para tais sucessos, a condução do SILP exige habilidade, conhecimento e atenção, pois há complexidade no uso da terra, nas fontes de receitas e despesas, na rotação de culturas e nas demais decisões agrônômicas a serem tomadas (Bell & Moore, 2012).

A combinação de ausência de revolvimento, elevado aporte de resíduos e adequada lotação animal, promove aumento gradual nos teores de matéria orgânica do solo e acelera a ciclagem de nutrientes (Anghinoni et al., 2011). Dessa forma deve ser dada atenção especial para as espécies forrageiras e agrícolas utilizadas no sistema. A época de semeadura e cultivo para rápido estabelecimento de plantas de cobertura devem ser direcionados para período de disponibilidade hídrica no solo, visando obtenção máxima de produção de biomassa (Pitol et al., 2006), e por conseguinte, para o SILP, deve ser visada a utilização de uma lotação de pastejo apropriada para a área (Anghinoni et al., 2013).

O interesse pelo SILP no domínio morfoclimático do Cerrado tem aumentado, objetivando primordialmente recuperar áreas degradadas com pastagens de baixa produtividade vegetal e superlotação de bovinos de corte e de leite. Nesse novo cenário, a agricultura custeia os adubos (Salton et al., 2005) e a pastagem, com destaque para o gênero das braquiárias (*Urochloa*), é alternativa proeminente no sequestro de carbono e reestruturação do solo, bem como na disponibilização gradual de nutrientes provindos da abundante biomassa vegetal (Chioderoli et al., 2012) e principalmente do agressivo sistema radicular (Loss, 2011).

Apesar dos benefícios do SILP supracitados, o interesse dos agricultores é, predominantemente, a produtividade e lucratividade do seu sistema agrícola. Estudos da literatura se concentram nas características edáficas e menosprezam os objetivos reais do agricultor. Tal fato pode ser comprovado por haver escassez de dados que relacionem manejos do pastejo com a produtividade das culturas nos sistemas avaliados (Lunardi et al., 2008).

Uma cultura de grãos muito utilizada nos SILPs da agropecuária brasileira é a soja (*Glycine max L.*) (Balbino et al., 2011). A soja é considerada uma das mais importantes culturas para economia mundial (Costa Neto & Rossi, 2000) e motor da economia brasileira, correspondendo a aproximadamente ao valor 40 % das exportações (Heredia et al., 2010), onde o estado de Goiás produz aproximadamente 7,96 milhões de toneladas (EMATER GO, 2012).

Diante do exposto, há a necessidade de estudos mais detalhados sobre impactos do manejo nos atributos edáficos sob SILP no Cerrado, correlatos à avaliação da produtividade do sistema. Este estudo visa avaliar a influência das intensidades de pastejo e de um sistema de plantio direto sobre a produtividade da soja em um SILP em Jataí - GO. Esses tratamentos, paralelamente as coberturas vegetais do solo (*Urochloa ruziziensis*, *Glycine max L.* e Cerradão), serão avaliados quanto a geração de impactos na fertilidade do solo estudado.

3.4 MATERIAL É MÉTODOS

3.4.1 Localização, clima e solo da área de estudo

O projeto de sistema de integração lavoura-pecuária (SILP) associado ao sistema de plantio direto (SPD) vem sendo conduzido em área experimental da Universidade Federal de Goiás no Campus de Jataí, Unidade Jatobá, localizado a 17° 56' 57'' S e 51° 43' 18'' W a 800 m de altitude. O solo das áreas de estudo foi classificado como LATOSSOLO VERMELHO Distroférico (Embrapa, 2006), localizado em área de relevo suave ondulado e caracteriza-se por apresentar textura argilosa com 419 g kg⁻¹ de argila, 355 g kg⁻¹ de silte e 226 g kg⁻¹ de areia (Bonetti, 2013).

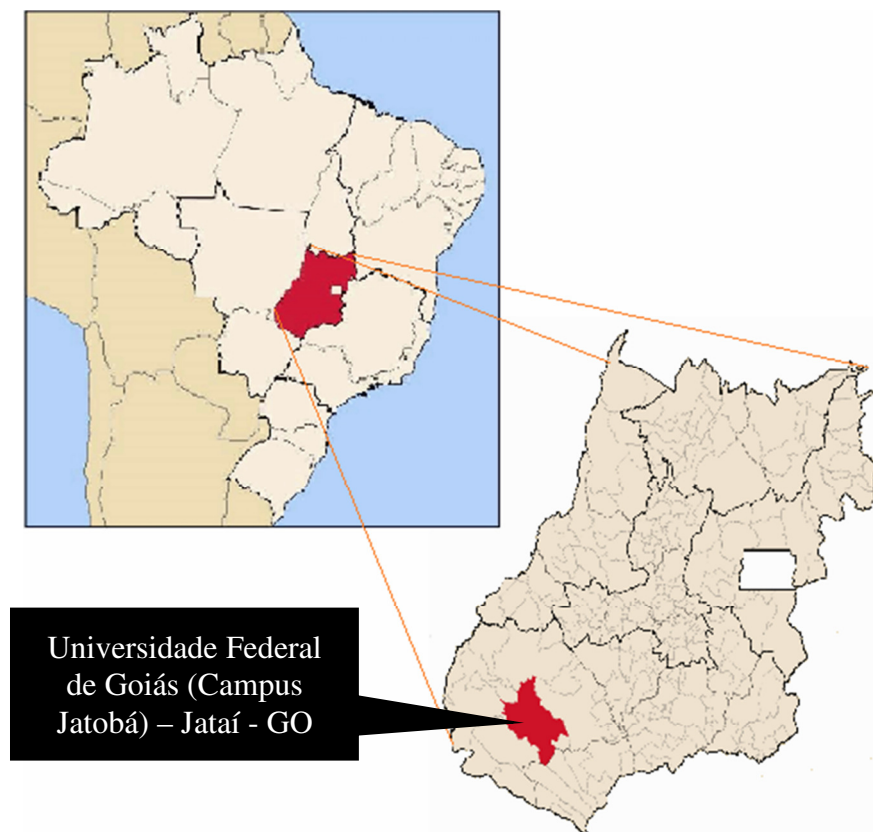


Figura 1. Localização da área experimental do sistema de integração lavoura-pecuária, em Jataí, no campus experimental da Universidade Federal de Goiás, GO. Fonte: adaptado de Raphael Lorenzeto de Abreu (Wikipédia).

O clima é tropical chuvoso do tipo Aw, de acordo com a classificação de Köppen. Apresenta duas estações definidas, a estação chuvosa (outubro a abril) e a seca (maio a setembro). A temperatura média é de 22° C e precipitação média anual de 1600 mm. A série histórica de 33 anos de dados médios de precipitação e temperaturas mensais é apresentada na Figura 2. Os valores médios mensais de temperatura e precipitação pluvial, no período da safra de 2012/2013, estão ilustrados na Figura 3. Em ambas figuras foi estabelecido como período de início da avaliação da temperatura e da precipitação o mês de março e o término o mês de fevereiro do ano posterior. O estabelecimento de tal intervalo tem como objetivo a avaliação desses atributos ao longo do ano agrícola do experimento, onde o início acontece por ocasião da semeadura da braquiária (março) e o término quando é realizada a colheita da soja (fevereiro).

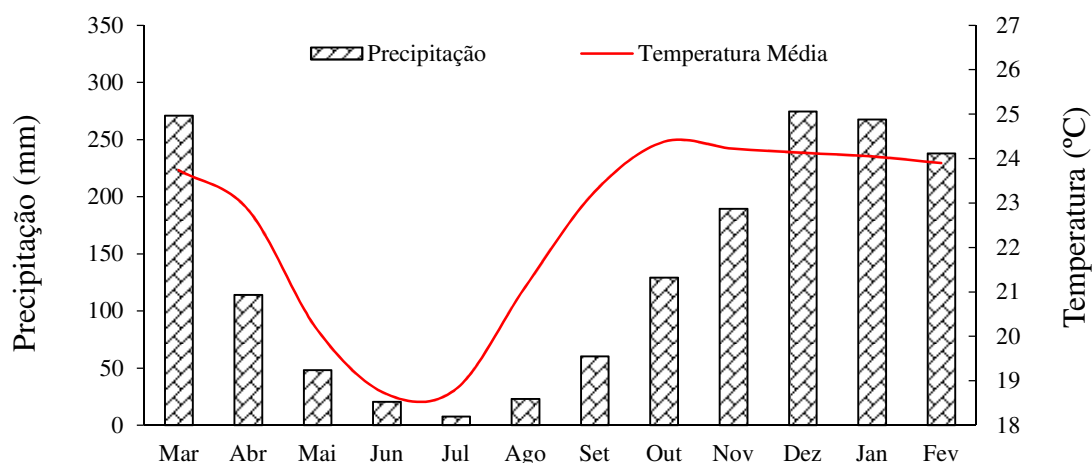


Figura 2. Precipitação pluviométrica e temperaturas médias mensais contemplando uma série histórica de 1980 a 2012 (33 anos). Fonte: Estação meteorológica de Jataí, de número 83464 - INMET (BDMEP – dados históricos).

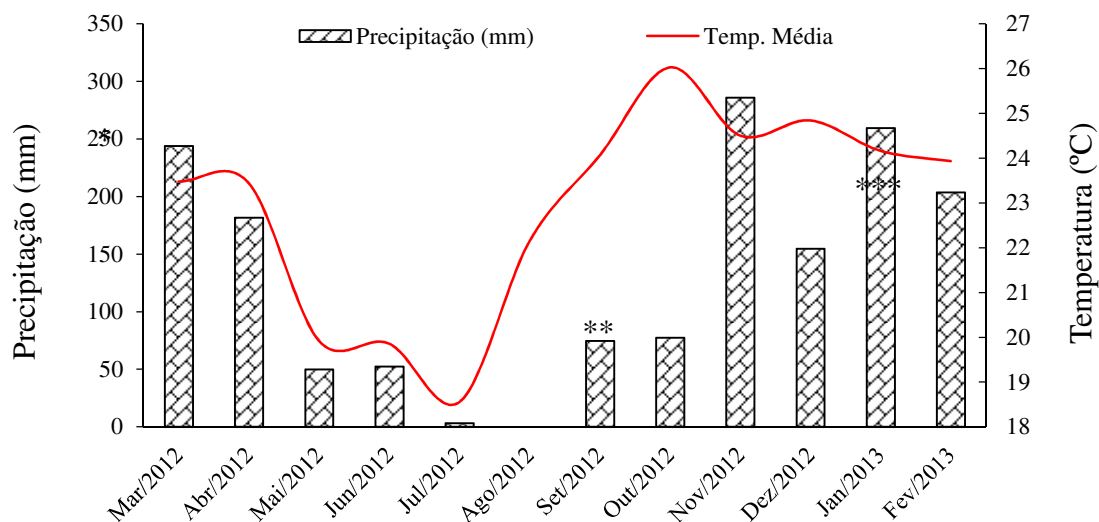


Figura 3. Precipitação pluviométrica e temperaturas médias mensais para a safra de 2012/2013. *Semeadura da *Urochloa ruziziensis*. **Semeadura da soja. ***Colheita da soja. Fonte: Estação meteorológica de Jataí, de número 83464 - INMET (BDMEP – dados históricos).

3.4.2 Sistemas avaliados e histórico de uso

A área experimental está dividida em onze piquetes cujos tamanhos variam de acordo com a intensidade de pastejo utilizada, sendo que a área total do experimento é de aproximadamente 22 hectares.

No momento da implantação do experimento a área apresentava um elevado nível de degradação com reduzida produção vegetal e presença de plantas invasoras, resultado do manejo inadequado do pastejo e da forrageira *Brachiaria decumbens*, presentes em torno de vinte anos anteriores ao início do experimento.

No mês de maio de 2009 foi realizada a calagem (Figura 4) com objetivo de elevar a saturação por bases para 60%, sendo realizada a aplicação de 2,5 Mg ha⁻¹ de calcário dolomítico, com PRNT de 80%. O calcário foi incorporado ao solo por meio de uma aração e duas gradagens. Salienta-se que a calagem foi realizada em todas parcelas experimentais, tendo como objetivo avaliar os efeitos dos tratamentos na correção do solo em profundidade e posterior influência nos demais atributos a serem analisados.

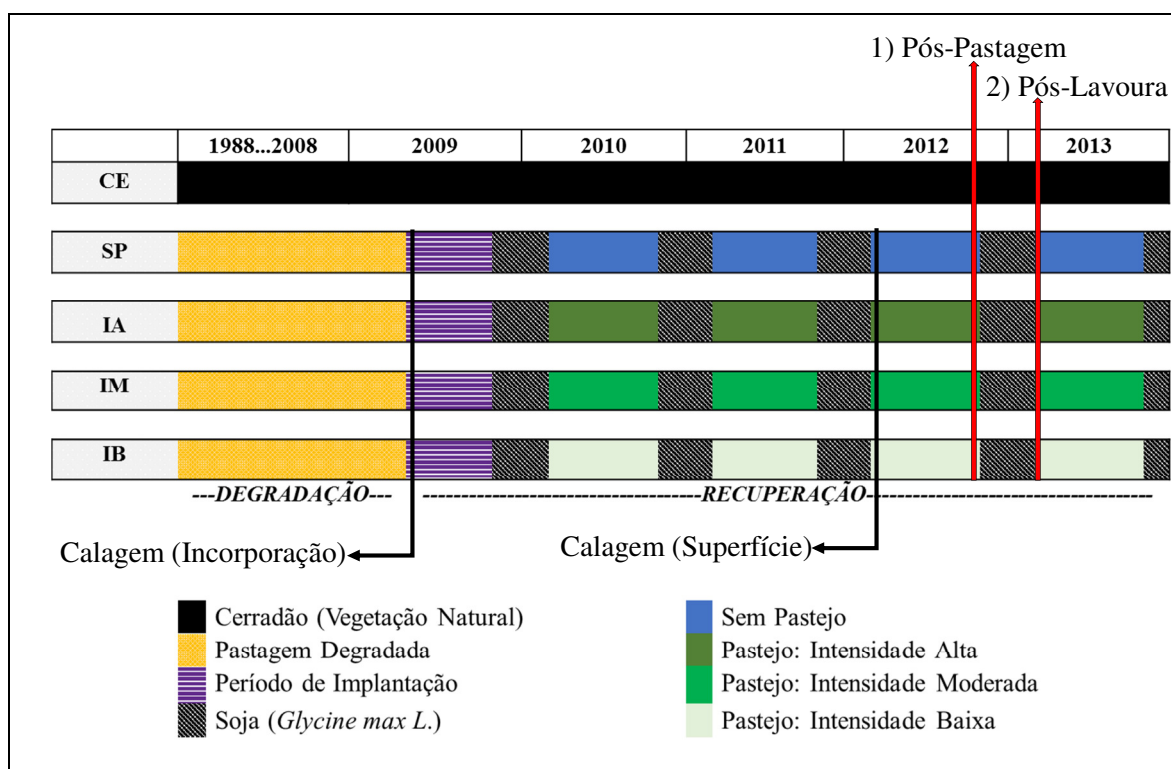


Figura 4. Histórico de uso das áreas avaliadas, calagens e momento das amostragens realizadas para o estudo.

A área do experimento foi dessecada no mês de outubro de 2009, com uso de glifosato na dose de 4,0 L p. c. ha⁻¹. Após a dessecação foi feita a semeadura da cultura da soja, em espaçamento de 45 cm e população aproximada de 340.000 plantas por hectare, sendo realizada uma adubação com 350 kg ha⁻¹ da formulação NPK: 2-18-18. Os tratamentos fitossanitários foram realizados de acordo com a necessidade da cultura, por meio de uso de herbicidas, inseticidas e fungicidas. Sendo a soja de ciclo precoce, a colheita geralmente ocorre no início do mês de fevereiro de cada ano.

Logo após a colheita da soja foram semeados 10 kg ha⁻¹ (VC 65 %) de *Urochloa ruziziensis* (Figura 5), em linha e em semeadura direta. Cerca de 45 dias após a emergência de plantas, foi aplicado à lanço 150 kg de nitrogênio por hectare na forma de uréia. Em junho foi

instalada a cerca elétrica no local, e em julho (95 dias após emergência da braquiária) iniciou-se o pastejo. Para o pastejo foram utilizados bovinos adultos que não possuíam um padrão racial definido (Figura 5).

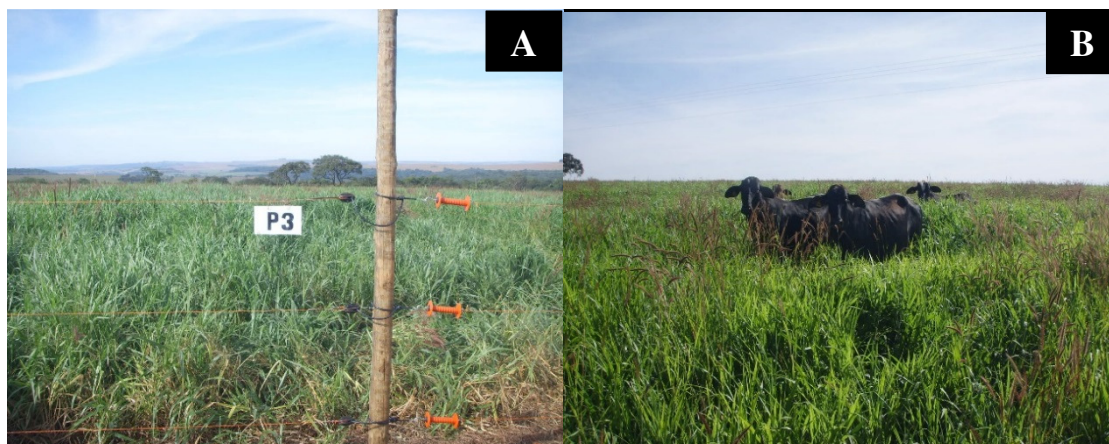


Figura 5. Área experimental do sistema de integração lavoura-pecuária (SILP) no campus experimental da Universidade Federal de Goiás (UFG). A) Divisão de piquetes e pastagem de *Urochloa ruziziensis*. B) Vacas pastejando. (Fonte: Fotos de João Bonetti).

O ciclo de pastejo teve duração de 120 dias, com início nos primeiros dias de julho e término no fim de outubro. O sistema de pastejo adotado foi o contínuo, sendo realizado manejo da altura de pastejo com adição ou retirada dos animais para obtenção da altura desejada. Para acompanhamento da altura desejada foi utilizado o bastão a graduado “sward stick” (Bircham, 1981), com avaliações em 50 pontos por piquete, totalizando 150 para cada tratamento.

No primeiro contato dos animais com a pastagem, a mesma se encontrava com altura semelhante para os diferentes tratamentos com acúmulo de forragem em torno de 4000 kg de matéria seca por hectare. As alturas de pastejo desejadas foram obtidas 20 dias após a introdução dos animais.

Salienta-se que esse manejo tem sido repetido todos os anos, exceto para a calagem. Foi realizada uma nova aplicação de calcário dolomítico na safra de 2011/12 em dose de 2,3 Mg ha⁻¹, PRNT de 80%, em superfície, de acordo com recomendação após análise química do solo, com objetivo de elevar a saturação por bases a 60%.

De acordo com o supracitado o pastejo na área se inicia no inverno e após é utilizada uma cultura de verão: a soja (Figura 6). Os tratamentos constam de diferentes alturas de manejo da pastagem: 25 cm (intensidade alta), 35 cm (intensidade moderada) e 45 cm (intensidade baixa), distribuídas num delineamento experimental de blocos ao acaso, com três repetições. Para aumento do número de repetições cada parcela foi dividida em duas subparcelas, como apresentado na Figura 7. Dessa forma cada tratamento contém seis repetições para avaliação.

Entre os blocos com os diferentes tratamentos há áreas com exclusão de pastejo, tendo assim uma área de referência com sistema de plantio direto (SPD). Em área adjacente ao experimento também foi avaliada uma área de vegetação nativa representativa da região (Cerradão) para que se comparem os sistemas de manejo adotados em relação à área de vegetação natural (Cerradão). Na Figura 7 é apresentado, o delineamento experimental com os diversos tratamentos para a pastagem, no período que abrangerá parte do outono, inverno e parte da primavera.

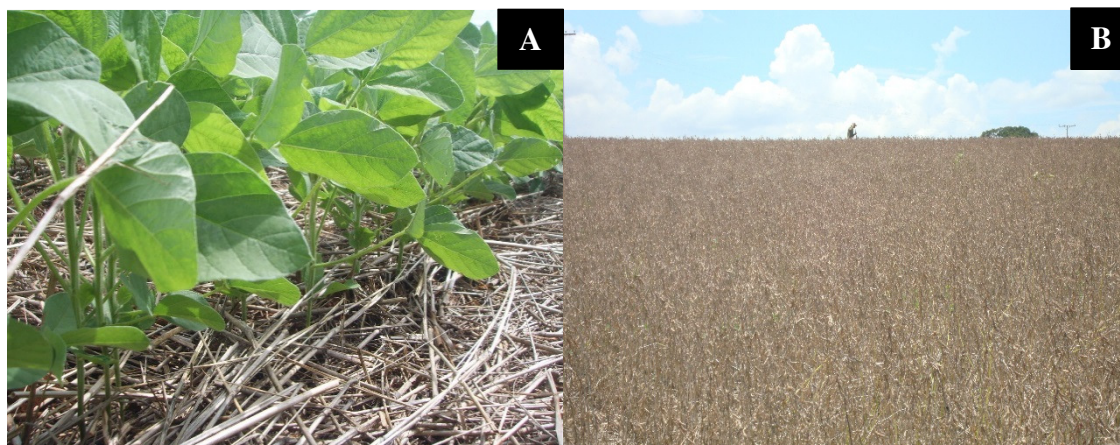


Figura 6. Cultivo da soja no período chuvoso na área experimental do sistema de integração lavoura-pecuária (SILP) no campus experimental da Universidade Federal de Goiás (UFG). A) Soja em estágio vegetativo. B) Soja no ponto de maturação fisiológica (Fonte: Fotos de Wanderlei Bieluczyk).

	70m	70m	70m	15m	70m	70m	70m	15m	70m	70m	70m
320 m	B1T1 S2	B1T3 S2	B1T2 S2	SP1 S2	B2T2 S2	B2T1 S2	B2T3 S2	SP2 S2	B3T3 S2	B3T2 S2	B3T1 S2
	B1T1 S1	B1T3 S1	B1T2 S1	SP1 S1	B2T2 S1	B2T1 S1	B2T3 S1	SP2 S1	B3T3 S1	B3T2 S1	B3T1 S1

Figura 7. Croqui esquemático das diferentes áreas com respectivos tratamentos avaliados. B: Bloco; S: Subparcela; T1: Intensidade alta; T2: Intensidade Moderada; T3: Intensidade Baixa.

3.4.3 Coleta de amostras

Foram abertas três trincheiras para cada subparcela para a realização da amostragem (Figura 8). Para a determinação da estabilidade de agregados, foram coletadas três amostras indeformadas simples, por subparcela, nas camadas de 0–5 cm e 5–10 cm, que posteriormente ao peneiramento formaram uma amostra composta. A coleta das amostras foi realizada com auxílio de espátula, sendo posteriormente passadas por tamises de 8 e 4 mm respectivamente. Os agregados retidos na peneira de 4 mm (Figura 9) foram acondicionados em recipientes evitando sua deformação e posteriormente transportados para laboratório.

	B1T1	B1T3	B1T2	SP1	B2T2	B2T1	B2T3	SP2	B3T3	B3T2	B3T1
S2	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
S1	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

Figura 8. Trincheiras abertas na área (retângulos vermelhos) para posterior coleta das amostras de terra, raízes e agregados.



Figura 9. Coleta de amostras para: A) avaliação da agregação do solo. B) caracterização da fertilidade do solo.

Para a caracterização da fertilidade do solo e dos teores de matéria orgânica, foram coletadas amostras compostas, formadas a partir de três amostras simples, nas camadas de 0–5; 5–10; 10–20 e 20–40 cm. Nas mesmas camadas foram coletadas amostras indeformadas com o auxílio de um coletor de Uhland, para a determinação da macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi), porosidade total (Pt) e da densidade do solo (Ds). Tais amostras foram coletadas somente na trincheira central aberta em cada subparcela. Para quantificação dos atributos do sistema radicular foram coletadas amostras de volume de 0,001 m³ (20 cm x 10 cm x 5 cm) nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-30 cm.

Para a coleta de amostras de solo para quantificação de raízes foi utilizado um monólito com dimensões de (20 cm x 10 cm x 5 cm). O espaço entrelinhas da *Urochloa ruziziensis* e também da soja eram de 0,45 m e a largura do monólito abrangia cerca de metade do espaço entrelinhas (0,2 m). Devido a isso, para uma maior representatividade da área, as amostras de raízes foram coletadas partindo do ponto exato das linhas da *Urochloa ruziziensis*/soja em direção ao centro das entrelinhas (Figura 10).



Figura 10. Coleta de amostras de solo para quantificação de raízes. A) Pós-ciclo de pastejo. B) Período de maturação fisiológica da soja.

Dessa forma foram realizadas duas coletas de solo, uma após o período de pastejo dos animais (outubro de 2012) e a outra quando a soja se encontrava no período de maturidade fisiológica (fevereiro de 2013), visando identificar impactos do manejo da pecuária e posteriormente da agricultura nos atributos avaliados.

3.4.4 Caracterização do complexo sortivo

Foram analisados pH em água, Ca^{+2} , Mg^{+2} , Al^{+3} , K^+ , Na^+ , $\text{H}+\text{Al}^{+3}$. As análises foram realizadas segundo métodos da Embrapa (1997) e C pelo método de Yeomans & Bremner (1988).

3.4.5 Fósforo remanescente

O fósforo remanescente (Prem) foi determinado segundo Alvarez et al. (2000). Foi adicionado um volume de 7,5 g de terra fina em contato, por 16 horas, com 75 mL da solução de CaCl_2 $0,01 \text{ mol L}^{-1}$, contendo 60 mg L^{-1} de fósforo. Em seguida foi retirada uma alíquota de 0,2 mL e adicionados 4,8 mL de H_2O . A solução diluída foi misturada com 5 mL da solução reagente de trabalho (RT) e realizada leitura da absorbância no comprimento de onda de 725 nm após decorridos 30 minutos. A curva de calibração foi determinada segundo a metodologia com as soluções padrão de 0, 15, 30, 45, 60 e 75 mg L^{-1} .

3.4.6 Carbono e nitrogênio total do solo

Os teores de carbono total (C) e nitrogênio total (N) foram obtidos pelo método de combustão à seco em um autoanalisador de C e N, à $900 \text{ }^\circ\text{C}$ (CHN-600 Carlo Erba EA 1110-Itália).

3.4.7 Composição granulométrica do solo

As amostras foram dispersas com NaOH 1 mol L^{-1} e agitadas, em baixa rotação, por 16 horas, conforme modificação proposta por Rezende (1979). O teor de argila total foi determinado na suspensão, pelo método da pipeta (Day, 1965). As frações de areia grossa e areia fina foram separadas por tamisação, em peneiras de malha 0,2 e 0,053 mm, respectivamente. O silte foi obtido por diferença.

3.4.8 Produtividade da soja

Foram tomadas duas amostras por cada subparcela avaliada. Cada amostra foi composta pelas plantas colhidas de duas linhas adjacentes ao longo de cinco metros lineares. A soja foi debulhada para obter os grãos. Essa amostragem foi realizada por ocasião do alcance do ponto de maturação fisiológica da soja. Os grãos foram secos até a umidade ser ajustada a 130 g kg^{-1} para obtenção da produtividade da soja em cada parcela avaliada.

3.4.9 Análises estatísticas

O modelo estatístico empregado foi o de blocos inteiramente ao acaso (DBC), consistindo de 5 tratamentos na época da pastagem (25cm, 35 cm e 45 cm de altura da pastagem na saída do gado do piquete, sistema de plantio direto (SPD) e Cerrado) e 3 repetições (blocos). Para aumento dos graus de liberdade e redução do erro estatístico, cada parcela foi subdividida em duas subparcelas. As coletas foram realizadas em duas épocas distintas de avaliação: após ciclo de pastejo (PP) e após cultivo da soja (PL).

Os resultados obtidos foram submetidos ao teste de Lilliefors para a avaliação da normalidade dos erros, e ao teste de Cochran & Bartlett para verificar a homogeneidade das variâncias. Quando os dados não apresentaram normalidade, eles foram submetidos a transformação Box-Cox, por meio do suplemento Action na planilha do excel.

Apresentando normalidade, os dados foram submetidos ao teste F por meio da análise de variância (ANOVA). Posteriormente foi realizada a comparação entre as médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A área de Cerradão foi utilizada como referência na avaliação da influência dos tratamentos nos atributos pertinentes à fertilidade e matéria orgânica do solo (MOS).

Também foi utilizada a análise multivariada de componentes principais (ACP), com intenção de verificar a que tratamentos as variáveis estão associadas e também a correlação entre as mesmas.

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.5.1 Análise granulométrica

Nas Tabelas 1 e 2 está apresentada a composição granulométrica do solo e também a classe textural em que as áreas do experimento se inserem. É importante salientar que para avaliar os tratamentos foi realizada uma divisão em três blocos ao acaso, e que além disso há duas áreas de referência, uma com manejo semelhante aos dos blocos, exceto o pastejo, e uma área de Cerradão.

Tabela 1. Composição granulométrica do solo (g kg^{-1}) e classe textural para os diferentes blocos e áreas de referência, para a coleta pós pastejo (PP) na área experimental estudada.

Áreas	Areia			Silte	Argila	Classe textural
	Fina	Grossa	Total			
0-5 cm						
Cerradão	198	151	349	257	394	Franco-argilosa
Sem Pastejo	173	165	338	251	411	Argila
Bloco 1	167	179	346	225	429	Argila
Bloco 2	157	194	351	238	411	Argila
Bloco 3	155	163	319	253	428	Argila
5-10 cm						
Cerradão	202	155	358	226	416	Argila
Sem Pastejo	172	163	335	221	444	Argila
Bloco 1	175	170	345	214	442	Argila
Bloco 2	168	176	344	222	434	Argila
Bloco 3	178	138	315	227	458	Argila
10-20 cm						
Cerradão	197	151	349	266	386	Franco-argilosa
Sem Pastejo	180	169	349	251	400	Argila
Bloco 1	176	167	343	209	448	Argila
Bloco 2	174	169	343	231	426	Argila
Bloco 3	177	138	315	241	445	Argila
20-40 cm						
Cerradão	185	159	344	237	420	Argila
Sem Pastejo	190	175	365	229	406	Argila
Bloco 1	174	174	348	214	438	Argila
Bloco 2	169	177	345	211	444	Argila
Bloco 3	173	132	304	215	481	Argila

Os pontos de amostragem não foram georreferenciados, dessa forma, principalmente para a área de vegetação natural, os pontos podem não ter a mesma localização entre épocas de avaliação. Para a coleta pós lavoura (PL) a área de Cerradão, apresentou classe textural franco-argilosa em todas profundidades avaliadas (Tabela 2), diferente das áreas onde foram avaliados os tratamentos, que apresentaram classe textural argila. Para a coleta pós pastejo (PP) a área de Cerradão também apresentou menores teores de argila quando comparada às demais áreas, entretanto esses valores foram maiores quando comparados à época PL.

Tabela 2. Composição granulométrica do solo (g kg^{-1}) e classe textural para os diferentes blocos e áreas de referência, para a coleta pós lavoura (PL) na área experimental estudada.

Áreas	Areia			Silte	Argila	Classe textural
	Fina	Grossa	Total			
0-5 cm						
Cerradão	196	159	355	323	322	Franco-argilosa
Sem Pastejo	195	172	367	229	405	Argila
Bloco 1	162	172	334	224	442	Argila
Bloco 2	174	178	351	207	441	Argila
Bloco 3	166	146	312	298	401	Argila
5-10 cm						
Cerradão	204	156	360	281	359	Franco-argilosa
Sem Pastejo	172	183	355	220	425	Argila
Bloco 1	172	166	337	190	473	Argila
Bloco 2	171	142	312	245	442	Argila
Bloco 3	162	145	307	252	441	Argila
10-20 cm						
Cerradão	197	143	340	295	365	Franco-argilosa
Sem Pastejo	175	158	333	256	411	Argila
Bloco 1	163	161	323	257	419	Argila
Bloco 2	164	272	340	206	454	Argila
Bloco 3	169	134	303	277	421	Argila
20-40 cm						
Cerradão	189	161	349	301	350	Franco-argilosa
Sem Pastejo	288	31	319	280	402	Argila
Bloco 1	183	159	343	180	477	Argila
Bloco 2	159	160	319	212	469	Argila
Bloco 3	169	120	289	270	440	Argila

É importante que a classe textural também seja considerada na discussão dos resultados, visto que a textura do solo exerce grande influência na dinâmica da maioria dos atributos avaliados nesse estudo.

3.5.2 Caracterização do complexo sortivo

Nas Tabelas 3, 4, 5 e 6 são apresentados os atributos químicos do complexo sortivo nos diferentes usos do solo e épocas avaliadas.

Tabela 3. Atributos químicos do complexo sortivo, na camada de 0 – 5 cm para uma área de vegetação natural (Cerradão) e em sistema de integração lavoura-pecuária submetido a intensidades de pastejo em plantio direto.

Trat.	pH H ₂ O	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺	H ⁺ +Al ⁺³	S	T	V
PÓS PASTAGEM									
CE	5,16 Bb	0,90 Bb	0,86 Bb	0,01 Aa	0,19 Ca	5,21 Ab	1,95 Bb	7,17 Bb	27,08 Cb
SP	6,17 Aa	2,89 Aa	1,86 Aa	0,01 Aa	0,33 Aba	2,99 Cb	5,10 Aa	8,09 ABa	61,94 Aa
IA	5,95 Aa	2,37 Aa	1,45 Aa	0,01 Aa	0,28 ABCa	3,84 BCa	4,11 Aa	7,95 ABa	51,59 ABa
IM	6,09 Aa	2,69 Aa	1,73 Aa	0,01 Aa	0,47 Aa	3,68 BCb	4,90 Aa	8,58 Aa	56,79 ABa
IB	5,85 Aa	2,08 ABa	1,21 ABa	0,01 Aa	0,23 BCa	4,26 Aba	3,52 ABa	7,78 ABa	45,24 Ba
PÓS LAVOURA (SOJA)									
CE	5,88 Aa	3,16 Aa	2,38 Aa	0,01 Aa	0,24 Aa	6,76 Aa	5,79 Aa	12,55 Aa	44,67 Aa
SP	5,90 Aa	2,18 Aa	1,24 Ba	0,01 Aa	0,32 Aa	4,31 Ba	3,75 Aa	8,06 Ba	45,78 Ab
IA	6,12 Aa	2,70 Aa	1,45 Ba	0,01 Aa	0,24 Aa	4,44 Ba	4,40 Aa	8,85 ABa	49,83 Aa
IM	5,83 Aa	2,01 Aa	1,34 Ba	0,00 Aa	0,22 Ab	4,96 Aba	3,57 Aa	8,53 ABa	41,68 Ab
IB	6,03 Aa	2,33 Aa	1,58 ABa	0,01 Aa	0,26 Aa	4,41 Ba	4,18 Aa	8,59 ABa	48,47 Aa
CV 1	11,69	31,92	31,97	2,54	25,92	10,83	28,18	0,37	22,39
CV 2	11,30	28,98	34,12	2,74	31,10	11,89	28,77	0,41	20,78

Valores seguidos por letras maiúsculas iguais na coluna e minúsculas iguais entre avaliações não diferem significativamente pelo teste t de Tukey a 5%. CV(1)= coeficiente de variação entre tratamentos (%), CV(2)= coeficiente de variação entre épocas (%).CE: Cerradão; IA: intensidade alta de pastejo; IM: intensidade moderada de pastejo; IB: intensidade baixa de pastejo e SP: área sem pastejo.

Tabela 4. Atributos químicos do complexo sortivo, na camada de 5-10 cm para uma área de vegetação natural (Cerradão) e em sistema de integração lavoura-pecuária submetido a intensidades de pastejo em plantio direto

Trat.	pH H ₂ O	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺	H ⁺ +Al ⁺³	S	T	V
PÓS PASTAGEM									
CE	5,19 Bb	0,43 Ba	0,43 Ab	0,01 Aa	0,09 Aa	5,68 Ab	0,96 Bb	6,65 Ab	14,06 Ba
SP	5,58 Aa	1,25 Aa	0,85 Aa	0,01 Aa	0,07 Ab	4,25 Ba	2,18 Aa	6,43 Aa	34,10 Aa
IA	5,50 Aa	1,29 Aa	1,09 Aa	0,01 Aa	0,07 Ab	4,72 ABb	2,46 Aa	7,18 Aa	33,48 Aa
IM	5,42 Aa	1,26 Aa	0,96 Aa	0,01 Aa	0,10 Aa	4,92 Aba	2,32 Aa	7,24 Aa	31,26 Aa
IB	5,54 Aa	1,20 Aa	0,78 Aa	0,01 Aa	0,06 Ab	4,85 Aba	2,05 Aa	6,90 Aa	29,73 Aa
PÓS LAVOURA (SOJA)									
CE	5,67 Aa	0,52 Ba	1,15 Aa	0,01 Aa	0,12 Aa	7,33 Aa	1,80 Aa	9,13 Aa	18,88 Aa
SP	5,63 Aa	1,07 Aa	0,79 Aa	0,01 Aa	0,20 Aa	5,04 Ba	2,07 Aa	7,11 Ba	28,31 Aa
IA	5,60 Aa	1,14 Aa	0,69 Aa	0,01 Aa	0,16 Aa	5,63 Ba	1,99 Aa	7,63 ABa	25,90 Aa
IM	5,55 Aa	1,21 Aa	0,75 Aa	0,01 Aa	0,13 Aa	5,59 Ba	2,09 Aa	7,69 ABa	26,94 Aa
IB	5,48 Aa	0,89 Aa	0,78 Aa	0,00 Aa	0,18 Aa	5,37 Ba	1,85 Aa	7,21 Ba	25,33 Aa
CV 1	8,14	42,50	55,35	1,86	17,85	8,90	79,34	5,23	17,15
CV 2	9,77	45,11	54,19	1,81	27,15	10,53	64,61	3,55	16,33

Valores seguidos por letras maiúsculas iguais na coluna e minúsculas iguais entre avaliações não diferem significativamente pelo teste t de Tukey a 5%. CV(1)= coeficiente de variação entre tratamentos (%), CV(2)= coeficiente de variação entre épocas (%). CE: Cerradão; IA: intensidade alta de pastejo; IM: intensidade moderada de pastejo; IB: intensidade baixa de pastejo e SP: área sem pastejo.

Tabela 5. Atributos químicos do complexo sortivo, na camada de 10-20 cm para uma área de vegetação natural (Cerradão) e em sistema de integração lavoura-pecuária submetido a intensidades de pastejo em plantio direto.

Trat.	pH H ₂ O	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺	H ⁺ +Al ⁺³	S	T	V
PÓS PASTAGEM									
CE	5,47 Aa	0,31 Ba	0,36 Ab	0,01 Aa	0,07 Aa	5,43 Ab	0,76 Ab	6,19 Ab	12,07 Ba
SP	5,37 Aa	0,80 Aa	0,55 Aa	0,01 Aa	0,05 ABb	4,33 Ba	1,40 Aa	5,74 Aa	24,26 Aa
IA	5,33 Aa	0,81 Aa	0,54 Aa	0,01 Aa	0,04 ABb	4,20 Bb	1,40 Aa	5,60 Aa	24,15 Aa
IM	5,43 Aa	0,71 Aba	0,53 Aa	0,01 Aa	0,05 ABb	4,23 Bb	1,29 Aa	5,51 Aa	22,97 ABa
IB	5,48 Aa	0,73 Aba	0,65 Aa	0,01 Aa	0,04 Bb	4,21 Bb	1,42 Aa	5,64 Aa	25,26 Aa
PÓS LAVOURA (SOJA)									
CE	5,50 Aa	0,36 Aa	0,66 Aa	0,01 Aa	0,08 Aa	6,72 Aa	1,11 Aa	7,82 Aa	13,86 Aa
SP	5,53 Aa	0,51 Aa	0,86 Aa	0,01 Aa	0,11 Aa	4,26 Ba	1,49 Aa	5,75 Ba	24,92 Aa
IA	5,42 Aa	0,60 Aa	0,42 Aa	0,00 Aa	0,12 Aa	4,77 Ba	1,15 Aa	5,92 ABa	19,35 Aa
IM	5,42 Aa	0,55 Aa	0,54 Aa	0,01 Aa	0,08 Aa	4,84 Ba	1,18 Aa	6,02 ABa	19,22 Aa
IB	5,40 Aa	0,47 Aa	0,48 Aa	0,00 Aa	0,11 Aa	4,87 Ba	1,07 Aa	5,94 ABa	17,89 Ab
CV 1	1,47	74,96	56,31	1,22	16,84	3,56	47,53	1,70	11,92
CV 2	2,14	47,97	42,78	1,59	20,26	2,87	34,92	1,06	10,29

Valores seguidos por letras maiúsculas iguais na coluna e minúsculas iguais entre avaliações não diferem significativamente pelo teste t de Tukey a 5%. CV(1)= coeficiente de variação entre tratamentos (%), CV(2)= coeficiente de variação entre épocas (%).CE: Cerradão; IA: intensidade alta de pastejo; IM: intensidade moderada de pastejo; IB: intensidade baixa de pastejo e SP: área sem pastejo.

Tabela 6. Atributos químicos do complexo sortivo, na camada de 20-40 cm para uma área de vegetação natural (Cerradão) e em sistema de integração lavoura-pecuária submetido a intensidades de pastejo em plantio direto.

Trat.	pH H ₂ O	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺	H ⁺ +Al ⁺³	S	T	V
PÓS PASTAGEM									
CE	5,45 Aa	0,30 Aa	0,29 Ab	0,01 Aa	0,07 Ba	4,99 Ab	0,67 Ab	5,66 Ba	11,54 Ba
SP	5,55 Aa	0,48 Ab	0,35 Aa	0,01 Aa	0,03 Aa	3,32 Ba	0,86 Aa	4,18 Aa	18,99 ABa
IA	5,55 Aa	0,45 Aa	0,22 Aa	0,00 Aa	0,03 Aa	2,99 Ba	0,70 Aa	3,69 Ab	18,44 ABa
IM	5,52 Aa	0,40 Aa	0,30 Aa	0,01 Aa	0,03 Aa	3,32 Ba	0,73 Aa	4,05 Aa	17,57 ABa
IB	5,50 Aa	0,37 Aa	0,40 Aa	0,01 Aa	0,03 Aa	3,16 Ba	0,80 Aa	3,95 Aa	19,99 Aa
PÓS LAVOURA (SOJA)									
CE	5,52 Aa	0,22 Aa	0,70 Aa	0,01 Aa	0,06 Aa	5,84 Aa	0,99 Aa	6,83 Ba	14,42 Aa
SP	5,40 Aa	0,21 Aa	0,63 Aa	0,01 Aa	0,05 Aa	3,26 Ba	0,89 Aa	4,15 Aa	21,25 Aa
IA	5,53 Aa	0,36 Aa	0,32 Aa	0,00 Aa	0,04 Aa	3,36 Ba	0,72 Aa	4,08 Aa	17,64 Aa
IM	5,47 Aa	0,36 Aa	0,37 Aa	0,01 Aa	0,04 Aa	3,48 Ba	0,77 Aa	4,26 Aa	18,23 Aa
IB	5,35 Aa	0,24 Aa	0,36 Aa	0,00 Aa	0,04 Aa	3,48 Ba	0,64 Aa	4,12 Aa	15,55 Aa
CV 1	14,64	27,90	52,39	4,23	8,62	4,29	48,03	3,60	12,91
CV 2	13,72	34,07	54,32	4,19	10,78	3,76	33,55	3,18	8,93

Valores seguidos por letras maiúsculas iguais na coluna e minúsculas iguais entre avaliações não diferem significativamente pelo teste t de Tukey a 5%. CV(1)= coeficiente de variação entre tratamentos (%), CV(2)= coeficiente de variação entre épocas (%).CE: Cerradão; IA: intensidade alta de pastejo; IM: intensidade moderada de pastejo; IB: intensidade baixa de pastejo e SP: área sem pastejo.

3.5.3 Carbono, nitrogênio, fósforo disponível e fósforo remanescente

Nas Tabelas 7 e 8 são apresentados os teores de carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (N), fósforo disponível e fósforo remanescente.

Tabela 7. Teores de carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (N), fósforo disponível (P Mehlich¹) e fósforo remanescente (P rem) para uma área de vegetação natural (Cerradão) e em sistema de integração lavoura-pecuária submetido a intensidades de pastejo em plantio direto, para as camadas de 0-5 e 5-10 cm.

	COT		N		P Mehlich ¹		P rem	
	g kg ⁻¹				mg kg ⁻¹			
0 – 5 cm								
	PP	PL	PP	PL	PP	PL	PP	PL
CE	37,30 Ab	43,93 Aa	1,17 Ab	1,63 Aa	1,06 Ba	1,42 Ba	22,62 Ba	23,83 Ba
SP	24,33 Ba	24,76 Ba	1,23 Aa	0,79 Bb	3,60 Aa	4,01 Aa	26,59 Aa	27,80 Aa
IA	23,21 Ba	25,78 Ba	1,23 Aa	0,98 Ba	2,91 Ab	4,48 Aa	26,15 Aa	26,35 ABa
IM	24,79 Ba	25,26 Ba	1,33 Aa	1,19 ABa	2,88 ABa	2,61 Aba	27,33 Aa	27,47 Aa
IB	23,37 Bb	24,08 Ba	1,17 Aa	1,04 Ba	3,17 Aa	3,87 Aa	27,65 Aa	26,40 ABa
	CV 1: 25,45		CV 1: 28,08		CV 1: 38,84		CV 1: 7,02	
	CV 2: 15,03		CV 2: 19,81		CV 2: 39,93		CV 2: 8,09	
5 – 10 cm								
	PP	PL	PP	PL	PP	PL	PP	PL
CE	31,09 Ab	37,42 Aa	0,93 Ab	1,20 Aa	0,80 Ba	0,70 Aa	20,74 Ba	21,41 Ba
SP	22,87 Ba	22,02 Ba	0,99 Aa	0,92 Aa	1,00 ABa	0,62 Aa	24,09 Aa	25,31 Aa
IA	23,48 Ba	23,64 Ba	1,16 Aa	0,99 Ab	1,39 ABa	0,91 Aa	24,43 Aa	23,96 Aa
IM	23,01 Ba	23,44 Ba	1,20 Aa	1,10 Aa	1,48 Aa	1,19 Aa	24,58 Aa	25,97 Aa
IB	22,95 Ba	22,22 Ba	1,04 Aa	0,97 Aa	1,02 ABa	1,04 Aa	24,77 Aa	24,52 Aa
	CV 1: 14,84		CV 1: 23,94		CV 1: 31,77		CV 1: 5,07	
	CV 2: 9,03		CV 2: 17,81		CV 2: 42,51		CV 2: 5,86	

Valores seguidos por letras maiúsculas iguais na coluna e minúsculas iguais na linha não diferem significativamente pelo teste t de Tukey a 5%. CV(1)= coeficiente de variação entre tratamentos (%), CV(2)= coeficiente de variação entre épocas (%).CE: Cerradão; IA: intensidade alta de pastejo; IM: intensidade moderada de pastejo; IB: intensidade baixa de pastejo e SP: área sem pastejo.

Tabela 8. Teores de carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (N), fósforo disponível (P Mehlich¹) e fósforo remanescente (P rem) para uma área de vegetação natural (Cerradão) e em sistema de integração lavoura-pecuária submetido a intensidades de pastejo em plantio direto, para as profundidades de 10-20 e 20-40 cm.

	COT		N		P Mehlich ¹		P rem	
	-----g kg ⁻¹ -----				-----mg kg ⁻¹ -----			
10 – 20 cm								
	PP	PL	PP	PL	PP	PL	PP	PL
CE	25,29 Aa	27,31 Aa	0,77 Aa	0,99 Aa	0,51 Aa	0,50 Aa	19,07 Bb	21,61 Aa
SP	21,43 ABa	19,77 Ba	0,84 Aa	0,70 Aa	0,56 Aa	0,34 Aa	21,34 ABa	23,68 Aa
IA	20,23 Ba	19,80 Ba	0,98 Aa	0,75 Aa	0,60 Aa	0,60 Aa	24,37 Aa	24,36 Aa
IM	20,03 Ba	20,68 Ba	0,99 Aa	0,81 Aa	0,60 Aa	0,44 Aa	23,28 Aa	23,17 Aa
IB	21,13 ABa	19,44 Ba	0,83 Aa	0,83 Aa	0,62 Aa	0,82 Aa	22,52 Aa	22,24 Aa
	CV 1: 11,12		CV 1: 31,10		CV 1: 76,95		CV 1: 10,12	
	CV 2: 11,13		CV 2: 26,74		CV 2: 67,86		CV 2: 6,50	
20 – 40 cm								
	PP	PL	PP	PL	PP	PL	PP	PL
CE	22,25 Ab	25,51 Aa	0,60 Ab	0,93 Aa	0,38 Aa	0,41 Aa	19,76 Aa	21,67 Aa
SP	17,09 Ba	14,70 Ba	0,71 Aa	0,71 ABa	0,54 Aa	0,10 Bb	19,76 Aa	20,88 Aa
IA	15,91 Ba	16,05 Ba	0,82 Aa	0,72 ABa	0,46 Aa	0,47 Ab	20,35 Aa	20,88 Aa
IM	16,47 Ba	16,60 Ba	0,78 Aa	0,54 Ba	0,50 Aa	0,26 ABb	20,38 Aa	20,68 Aa
IB	16,44 Ba	15,28 Ba	0,72 Aa	0,62 ABa	0,50 Aa	0,31 ABb	20,01 Aa	20,35 Aa
	CV 1: 8,57		CV 1: 25,08		CV 1: 36,77		CV 1: 10,22	
	CV 2: 9,49		CV 2: 31,33		CV 2: 31,87		CV 2: 7,96	

Valores seguidos por letras maiúsculas iguais na coluna e minúsculas iguais na linha não diferem significativamente pelo teste t de Tukey a 5%. CV(1)= coeficiente de variação entre tratamentos (%), CV(2)= coeficiente de variação entre épocas (%). CE: Cerradão; IA: intensidade alta de pastejo; IM: intensidade moderada de pastejo; IB: intensidade baixa de pastejo e SP: área sem pastejo.

3.5.4 Correlação de atributos

Nas Tabelas 9 e 10 são apresentadas as correlações dos atributos avaliados no estudo.

Tabela 9. Correlação de Pearson (r) entre atributos químicos do solo da área de referência do estudo (Cerradão) em Jataí, GO.

	pH	H ⁺ +Al ³⁺	S	T	V%	P	N
0 - 5 cm							
H ⁺ +Al ³⁺	0,37 ^{ns}						
S	0,85**	0,53 ^{ns}					
T	0,77**	0,77*	0,95**				
V	0,90**	0,31 ^{ns}	0,93**	0,81**			
P	0,38 ^{ns}	0,48 ^{ns}	0,56 ^{ns}	0,60*	0,46 ^{ns}		
NT	0,57*	0,39 ^{ns}	0,71**	0,68**	0,64*	0,94**	
COT	0,49*	0,14 ^{ns}	0,58*	0,48 ^{ns}	0,52*	0,74**	0,87**
5 - 10 cm							
H ⁺ +Al ³⁺	0,72**						
S	0,67*	0,68*					
T	0,76**	0,94**	0,88**				
V%	0,59*	0,58*	0,98**	0,81**			
P	-0,17 ^{ns}	-0,20 ^{ns}	-0,19 ^{ns}	-0,21 ^{ns}	-0,19 ^{ns}		
N	0,63*	0,58*	0,62*	0,65*	0,54 ^{ns}	-0,17 ^{ns}	
COT	0,69**	0,59*	0,78**	0,73**	0,77**	-0,34 ^{ns}	0,76**

H⁺+Al³⁺: acidez potencial do solo. S: soma das bases no solo. T: CTC potencial do solo. V%: saturação por bases no solo. P: fósforo assimilável Mehlich-1. N: nitrogênio total do solo. COT: carbono orgânico total do solo. ns: não significativo a 5 %. *, ** significativo a 5 % e 1 % respectivamente, pelo teste t.

Tabela 10. Correlação de Pearson (r) entre os atributos químicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária submetido a intensidades de pastejo em plantio direto em Jataí, GO.

	pH	H+Al	S	T	V	P	NT
0 - 5 cm							
H+Al	-0,61**						
S	0,80**	-0,65**					
T	0,41**	0,19 ^{ns}	0,63**				
V	0,78**	-0,88**	0,93**	0,30*			
P	0,22 ^{ns}	-0,12 ^{ns}	0,19 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,17 ^{ns}		
NT	0,00 ^{ns}	-0,13 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,21 ^{ns}	-0,15 ^{ns}	
COT	0,12 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,26*	0,40**	0,14 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,13 ^{ns}
5 - 10 cm							
H+Al	-0,41**						
S	0,74**	-0,36*					
T	0,34*	0,51**	0,62**				
V	0,74**	-0,67*	0,92**	0,28 ^{ns}			
P	-0,02 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,28 ^{ns}	0,26 ^{ns}	0,25 ^{ns}		
NT	0,19 ^{ns}	-0,27 ^{ns}	0,46**	0,19 ^{ns}	0,45**	0,33*	
COT	0,30*	-0,02 ^{ns}	0,53**	0,47**	0,43**	0,36**	0,22 ^{ns}

H⁺+Al³⁺: acidez potencial do solo. S: soma das bases no solo. T: CTC potencial do solo. V%: saturação por bases no solo. P: fósforo assimilável Mehlich-1. N: nitrogênio total do solo. COT: carbono orgânico total do solo. ns: não significativo a 5 %. *, ** significativo a 5 % e 1 % respectivamente, pelo teste t.

3.5.5 Produtividade da soja

Na Figura 11 são apresentados os resultados referentes a produtividade da soja para as diferentes áreas avaliadas no estudo.

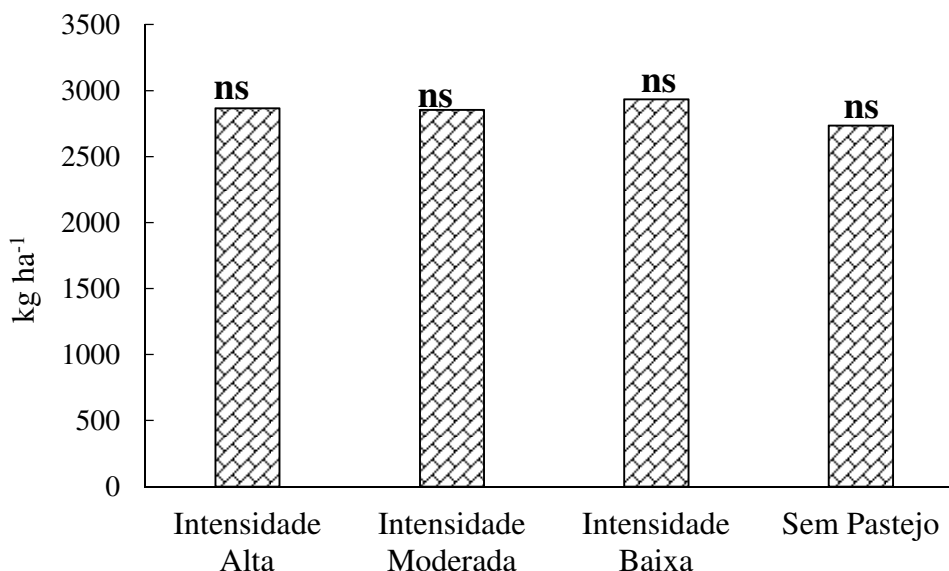


Figura 11. Produtividade de soja em sistema de integração lavoura-pecuária submetido a intensidades de pastejo sob plantio direto. ns = não significativo pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

3.5.6 Análise e discussão conjunta dos atributos químicos e produtividade da soja

De maneira geral foram observadas diferenças entre tratamentos e épocas de avaliação, principalmente para a camada de 0–5 cm. Foram observadas maiores diferenças quando comparadas as áreas cultivadas com a área de Cerradão, havendo menores variações quando as áreas cultivadas foram comparadas entre si.

Na área de Cerradão o pH foi menor na época seca (que coincidiu com a época pós pastagem (PP)) quando comparada à época chuvosa (que coincidiu com a época pós lavoura (PL)). Na época seca a área de Cerradão apresentou os menores valores deste atributo quando comparada com as áreas cultivadas. Adicionalmente verifica-se que os valores de pH, na área de cerradão são positivamente correlacionados com a soma de bases (valor S) e com os teores de COT (Tabela 9).

Como a área de Cerradão não é adubada, a fertilidade do solo desse ambiente é totalmente dependente da ciclagem de nutrientes. Esse sistema também é mais estável temporalmente, ou seja, em função de não ser submetido a manejo, não esperam-se grandes modificações em seus atributos em uma mesma época do ano, em anos cronossequentes.

O Cerrado é um dos biomas que se destaca por sua resiliência aos impactos ambientais (Elias et al., 2013). É importante que se tenha conhecimento da dinâmica sazonal dos atributos do solo sob condições do clima do Cerrado, para que em áreas agrícolas, possam ser estabelecidas estratégias de melhoria no cultivo.

Neste estudo foi verificado que a influência sazonal na área de Cerradão promoveu incremento de bases, da acidez potencial e paralelos ao aumento do pH e do Valor V% na época chuvosa de avaliação com destaques para as camadas superficiais (Tabelas 3, 4, 5 e 6).

Estes atributos estiveram inter-relacionados positivamente até a profundidade de 10 cm (Tabela 9).

Há de ser considerado que com as maiores precipitações pluviais as bases da área de Cerradão tenderiam a serem perdidas pelo processo de lixiviação. Porém deve ser levado em conta que para a época seca há maior acúmulo de serapilheira, pois a menor umidade e menor temperatura na superfície do solo desfavorecem a decomposição desta.

Para a área de Cerradão, no verão as maiores temperaturas associadas ao aumento da precipitação favorecem uma maior atividade biológica acelerando a decomposição da serapilheira acumulada e favorecendo a incorporação do carbono orgânico ao solo em especial nas camadas superficiais (Tabela 7). Esse processo também favorece a disponibilização de nutrientes tais como o cálcio (Ca^{+2}), magnésio (Mg^{+2}) e o potássio (K^{+}) com conseqüente incremento no valor S (Tabelas 3 e 4).

Em paralelo, com o processo de decomposição da serapilheira ocorre o surgimento de cargas variáveis provenientes dos radicais carboxílicos e fenólicos das substâncias húmicas, o que concorre para um aumento da acidez potencial do solo ($\text{H}^{+} + \text{Al}^{+3}$), resultando em maior CTC do solo no período das chuvas (Tabelas 3 e 4). Também em função da maior decomposição da MOS verifica-se o aumento dos teores de N na época chuvosa.

De acordo com Pragana et al. (2012) a atividade e a população dos organismos no solo é controlada pela quantidade de material orgânico disponível, pois este é uma das principais fontes de energia para os mesmos. Além disso, a atividade da fauna e dos microorganismos do solo são diretamente influenciadas pela maior umidade e temperatura do solo, típicos do período chuvoso do ambiente do Cerrado (Batista, 2011).

Em estudo sobre dinâmica sazonal da produção e decomposição de serapilheira em floresta tropical de transição no norte do Mato Grosso, Sanches et al. (2009) verificaram maior deposição e acúmulo de serapilheira no período seco, ocorrendo principalmente entre a transição seco-úmido. Resultados semelhantes também foram verificados por Silva et al. (2007) que em estudo sobre deposição de serapilheira em diferentes fisionomias, verificaram maior deposição no período seco para as áreas de Cerrado. Sanches et al. (2009) atribuíram seus resultados à estratégia da vegetação perante o estresse hídrico, de forma que os nutrientes foram depositados com a serapilheira nesse período, e posteriormente, com o aumento da umidade e atividade da fauna, tais nutrientes poderiam ser ciclados.

Em época PP, e na profundidade de 0-5 cm, a área de Cerradão apresentou menores teores de Ca^{+2} , Mg^{+2} , e K^{+} quando comparada as áreas de cultivo (Tabela 3). Como resultado a soma de bases e o V % desta área também foram menores. Para esta profundidade deve ser considerada a maior influência da adubação realizada para a cultura da soja, bem como o efeito da calagem nas áreas de cultivo avaliadas. Os Latossolos em sua condição natural apresentam baixa fertilidade (Lourente et al., 2007), pois devido ao seu avançado grau de intemperização os teores de nutrientes nestes solos são baixos para a maioria das culturas agrícolas. Assim, na agricultura no domínio edafoclimático do Cerrado tornam-se necessárias práticas de calagem e de adubação para incremento e reposição de nutrientes exportados pelas culturas.

Embora a presença de bases tenha sido menor na área de Cerradão na época PP, quando a fertilidade dessa área é comparada com as áreas cultivadas podem ser observados alguns destaques positivos da mesma: i) maiores teores de N até a profundidade de 10 cm na época PL, não ocorrendo diferenças entre as outras profundidades e épocas avaliadas; ii) maiores teores de COT para todas as profundidades em ambas épocas avaliadas; iii) maior CTC do solo em época PL em decorrência dos maiores teores de $\text{H}^{+} + \text{Al}^{+3}$.

Todas as características supracitadas para a área de Cerradão estão relacionadas aos seus maiores teores de COT. O COT da área de Cerradão apresentou correlações positivas com o $\text{H}^{+} + \text{Al}^{+3}$, com a soma de bases e com o N. Ao contrário da área de Cerradão as áreas de

cultivo não apresentaram correlações do COT seja com o $H^+ + Al^{+3}$, seja com o N, indicando que principalmente os fatores externos, como o uso de adubos nitrogenados, são os que incrementam teores de N e acidez potencial nessas áreas.

De forma geral pode ser verificado que para a área de Cerradão há maior inter-relação de atributos indicando que este sistema está menos impactado, havendo um maior equilíbrio para os atributos químicos onde os mesmos respondem em conjunto as influências climáticas ao longo do tempo e espaço. Uma menor inter-relação dos atributos em áreas de cultivo pode ser decorrente de fatores como a calagem e adubação do solo, que são os fatores extrínsecos no sistema e passam a interferir diretamente sobre a dinâmica dos atributos do solo.

Os benefícios gerados por incrementos de COT nas áreas cultivadas podem ser inferidos em razão de haver correlações positivas deste atributo com a soma de bases e a CTC potencial até a profundidade de 10 cm, e correlações positivas com o V% e o P na profundidade de 5-10 cm. Tais correlações indicam que as práticas conservacionistas que promovam aumentos nos teores de COT em áreas cultivadas estarão, paralelamente, melhorando a disponibilidade de nutrientes e aumentando a CTC do solo.

De acordo com Briedis et al. (2012) a melhoria da fertilidade e os incrementos de MOS ocorrem em paralelo quando não há revolvimento do solo. O uso do sistema de plantio direto, por não revolver o solo e se utilizar de plantas de cobertura com elevada produção de biomassa (Loss, 2011), favorece a ciclagem de nutrientes e também adiciona abundante cobertura vegetal, que protege o solo e gradualmente aumenta os teores de MOS. Quando inicialmente a fertilidade é incrementada pela adubação, permite aumento da produção e incorporação dos resíduos ao solo, com posterior incremento da CTC, seguindo um ciclo conservacionista. Briedis et al. (2012) verificaram incremento de COT em decorrência da calagem do solo, em experimento sob SPD de longa duração no Paraná.

A calagem realizada em 2011 nas áreas de cultivo, com aplicação superficial de calcário objetivando aumentar a saturação por bases a 60%, até o momento não parece ter sido eficiente em subsuperfície. Somente na camada superficial da área de SP na época PP que a saturação por bases foi maior que 60 %.

A saturação por bases nas áreas cultivadas não excedeu valores de 35 % e 25 % nas camadas 5–10 e 10–20 cm, respectivamente. Assim os efeitos da calagem restringem-se a camada de 0–5 cm do solo, não havendo incremento adequado na saturação por bases em profundidade, seja na presença ou ausência de pastejo. Sendo o pH correlacionado com os valores S, T e V% até 10 cm de profundidade, e também com o COT na profundidade de 5-10 cm (Tabela 10) a correção da acidez do solo em profundidade é ferramenta chave para incrementos do crescimento radicular das espécies cultivadas e a produção vegetal, bem como dos teores de MOS.

Em decorrência de uma menor fertilidade subsuperficial há maior suscetibilidade das plantas a *déficits* hídricos, pois a camada superficial é a mais susceptível as perdas de água por evaporação diante um período de estiagem, assim, sob tal condição há maior impacto dos agentes climáticos sobre o desempenho das espécies agrícolas e/ou forrageiras.

Quando pastejam os animais incorporam apenas pequena parte do que ingerem ao seu organismo (Anghinoni et al., 2013) e atuam como catalizadores por reciclar o material vegetal e modificar profundamente a dinâmica dos nutrientes (Anghinoni et al., 2011) retornando e redistribuindo os nutrientes no solo via excreção (Nascimento Júnior. & Cavalcante, 2001). Considerando que de 75 a 85 % dos nutrientes que os animais ingerem retorna ao solo em forma de urina e/ou esterco, sendo o potássio e o nitrogênio imediatamente disponível para as plantas (Bellows, 2001), a ciclagem desses nutrientes é acelerada sendo estes disponibilizados principalmente nas camadas mais superficiais do solo (Martins, 2013).

Diante do exposto a urina excretada pelos animais quando pastejam disponibiliza o nitrogênio, e pode acelerar processos como lixiviação e nitrificação. Esses fatores, aliados ao

maior crescimento radicular nas áreas de pastejo, pode estar contribuindo para incremento da acidez potencial do solo. Assim área de SP, se comparada com as áreas de pastejo neste estudo apresentou menores teores de $H^+ + Al^{+3}$ na época PP até a profundidade de 10 cm.

Em menor intensidade de pastejo as chances de má distribuição dos excretas dos animais pode ser maior e a ciclagem dos nutrientes pode ser menor, visto ao corte menos intensivo da parte aérea da planta forrageira, e provável menor renovação de seu sistema radicular. Tais fatores podem ter sido responsáveis, quando comparam-se as intensidades de pastejo, pela redução da participação de bases (Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^+) e aumento a acidez potencial ($H^+ + Al^{+3}$) e diminuição da saturação por bases (V%) para área de IB, na época PP e profundidade de 0-5 cm. Em maiores intensidades de pastejo, além da maior lotação animal, esses caminham mais, o que pode favorecer o perfilhamento e o maior desenvolvimento do sistema radicular da pastagem, a melhor distribuição de excretas, e finalmente pode estar resultando no aumento da dissolução do calcário no solo.

Embora tenham ocorrido diferenças entre intensidades de pastejo na avaliação PP, na época de sucessão (PL) não houve diferenças. Mesmo assim, atenção especial deve ser dada aos teores de K^+ e N, e à disponibilidade de P, conforme a sua dinâmica no perfil do solo e aos teores necessários para cultivo da soja e da braquiária.

Se convertidos os teores de potássio (K^+) de $mg\ dm^{-3}$ para $cmol_c\ kg^{-1}$ (considerando densidade igual a 1), segundo as faixas estabelecidas no Manual de Adubação e Calagem do Estado do Rio de Janeiro (Freire et al., 2013) é possível verificar que na camada de 0–5 cm os teores foram bem maiores quando comparados as outras profundidades, pois variaram de médios até muito altos. Para as camadas subsuperficiais os teores foram baixos, com exceção para os verificados na época PL para a profundidade de 5–10 cm que foram médios.

O potássio não é incorporado eficazmente às estruturas de compostos orgânicos, permanecendo predominantemente na forma iônica (K^+) em células de tecidos vegetais (Brady & Weil, 2012). Dessa forma, pode apresentar um padrão bem diferenciado dos outros nutrientes podendo ser mais facilmente liberado da palhada de cobertura do solo, especialmente em condições de elevada temperatura e umidade.

É importante salientar que mesmo para a área de Cerradão na profundidade de 0–5 cm os teores de K^+ foram médios para a época PP e altos para a época PL. Podendo ser verificada a influência da sazonalidade e também da MOS sobre esse nutriente, onde ocorreu tendência de aumento para a época chuvosa, pois nesta época as temperaturas e a umidade são maiores, e esse nutriente tende a ser liberado mais intensamente da serrapilheira e disponibilizado para as plantas.

É importante que seja considerado que para o cultivo da soja são adicionados $63\ kg\ ha^{-1}$ de K^+ por meio da adubação, o que significaria um incremento uniforme de $0,08\ cmol_c\ kg^{-1}$ até a profundidade de 20 cm. Entretanto quando considera-se que o grão de soja contém cerca de 2 % de potássio (Yamada et al., 2003) e as produtividades de soja obtidas para as áreas (Figura 16), contabiliza-se que são exportados de $54,7$ a $57,3\ kg\ ha^{-1}$ de K^+ por ocasião da colheita da soja. Ou seja, desconsiderando perdas do K^+ , que é suscetível a lixiviação, haveria um balanço positivo de apenas 10 % para a época PL. Dessa forma, a adubação potássica para a cultura da soja dificilmente beneficiará a pastagem, talvez sendo necessária uma nova adubação potássica para o período da pastagem, e não somente adubação nitrogenada.

Os resultados para a profundidade de 0–5 cm confirmam o balanço considerado acima, onde para as áreas de cultivo não ocorreram diferenças entre épocas, exceto para a área de IM, que apresentou menores teores de K^+ na época PL. Embora os teores de K^+ sejam altos nessa profundidade, é necessário que se adote um manejo que, ao menos, proporcione um balanço equitativo para adição e perda desse nutriente. Nesse balanço a lixiviação do K^+ , principalmente na época chuvosa, deve ser considerada. De acordo com Brady & Weil (2012)

solos agrícolas de regiões úmidas e com uso de adubações moderadas de potássio, perdem cerca de 25 a 50 kg ha⁻¹ por ano de K⁺.

Contraopondo o exposto acima, deve ser considerado que em SILP o solo está coberto durante todo o ano, e a ciclagem de nutrientes é incrementada, pela *Urochloa ruziziensis*, principalmente quando esta é submetida a pastejo, tendo o animal como eficiente catalizador deste processo. Dessa forma, se mantido o mesmo manejo da adubação nas áreas avaliadas deve ser dada atenção especial ao potássio, realizando futuras avaliações e monitoramento dos teores do mesmo para que estes não sejam reduzidos no solo com o decorrer do tempo no SILP.

Apesar do exposto parece haver benefícios da época chuvosa na disponibilização de K⁺ em profundidade. Para as profundidades de 5-10 cm e 10-20 cm na época PL foram observados maiores teores de K⁺ quando comparada a época PP. Como resultado, a época PL apresenta menor gradiente em profundidade deste nutriente. Em paralelo a movimentação do K⁺ no perfil do solo advinda da adubação, pode ocorrer liberação deste da palhada de braquiária, em função do aumento da umidade do solo e também da atividade biológica do solo para a época PL. Esse nutriente liberado pela palhada pode ao mesmo tempo ser absorvido pela cultura da soja, lixiviado ou mesmo aumentar sua concentração no solo.

Em estudo sobre dinâmica do potássio em plantas de cobertura no Cerrado sob SPD em Minas Gerais sob Latossolo Vermelho, Torres et al.(2007) verificaram maior velocidade de decomposição da palhada na estação mais chuvosa e também maior acúmulo de potássio nas gramíneas em comparação às leguminosas. Avaliando a decomposição e liberação de nutrientes de *Brachiaria brizantha* em Latossolo Amarelo no Maranhão, Leite et al. (2010) verificaram que o K⁺ foi o nutriente liberado mais rapidamente, e que ocorreu liberação quase completa até os 100 dias pós locação dos *litter bags*.

Em estudo sobre ciclagem e balanço de K⁺ em área de SILP sob diferentes intensidades de pastejo Ferreira et al. (2011) verificaram maior déficit deste nutriente em áreas com maiores intensidades de pastejo, mesmo sendo observado aumento da ciclagem para essas áreas. Mesmo com o uso de 60 Kg ha⁻¹ de K⁺ para a cultura da soja os autores verificaram balanço negativo em todas as áreas para o ano agrícola avaliado. Adicionalmente, esse balanço parece ter desconsiderado as quantidades lixiviadas do nutriente no solo.

Em todas as áreas e profundidades avaliadas a disponibilidade de fósforo pode ser classificada como muito baixa, contendo teores menores do que 5 mg kg⁻¹ (Freire et al., 2013). Dessa maneira, primeiramente a recomendação de adubação para as diferentes áreas é similar, e paralelamente pode ser verificado que as médias, mesmo na camada de 0–5 cm não apresentam variações maiores do que 2 mg kg⁻¹ para as áreas cultivadas, e sendo bem menores para maiores profundidades. Diante destes fatores é irrelevante que sejam discutidas, caso houverem, diferenças estatísticas entre as áreas avaliadas.

A baixa disponibilidade de fósforo pode ser atribuída a diversos fatores, tais como: i) o solo apresenta elevados teores de argila (teores maiores que 400 g kg⁻¹); ii) a constituição mineralógica na fração argila dos Latossolos é predominantemente de caulinita, gibsitita e óxidos de ferro (Carmo et al., 1984) e alumínio (Valladares et al., 2003), os quais promovem adsorção do P, indisponibilizando-o para as plantas com o decorrer do tempo (Novais, 2007); iii) as áreas agrícolas avaliadas estão em processo inicial de recuperação, visto que em 2009 o experimento foi implantado sobre a área que encontrava-se degradada e anteriormente utilizada com pelo menos 20 anos de pastejo extensivo e com ausência de manejo nutricional do solo; iv) as fontes solúveis de fósforo adicionadas neste solo altamente intemperizado, e com histórico de degradação, são rapidamente adsorvidas e v) sistemas conservacionistas de produção agrícola como o SPD necessitam de um longo período para se consolidarem e apresentarem seus benefícios (Neto et al., 2007).

O fósforo remanescente (Prem) apresenta estreita correlação com a adsorção de P no solo (Alvares et al., 2000). No presente estudo mais da metade da concentração inicialmente adicionada ao solo (60 mg kg^{-1}) foi adsorvida em um período de 16 horas de repouso. Sendo verificados baixos teores de Prem para todas as áreas, os motivos desses resultados são os mesmos que os supracitados para a baixa disponibilidade de P.

Entretanto a análise do Prem se torna útil por haver simulação da resposta a adubação fosfatada. Além disso, por meio dessa análise pode ser verificado que as práticas de adubação e o incremento de teores de MOS na profundidade de 0-5 cm estão sendo benéficos, pois se os teores de Prem desta profundidade forem comparados com a profundidade de 20–40 cm nas áreas cultivadas verifica-se uma redução de pelo menos 6 mg kg^{-1} em profundidade. A influência da adubação pode ser inferida tanto na análise da variação de nutrientes em profundidade quanto comparando-se a área de Cerradão, já que esta apresentou menores teores de Prem quando comparada com as áreas cultivadas.

A MOS pode contribuir na redução da adsorção de P pelo solo, pois pode ser adsorvida nas superfícies dos minerais, dificultando o acesso do P por aumentar a repulsão dos grupos fosfatos e também assumindo um papel de bloqueadora dos sítios de adsorção (Berwanger, 2006), além de formar complexos organo-minerais com o alumínio e o ferro (Tirloni et al., 2009). A eficiência dos ácidos orgânicos em disponibilizar P depende do pH do solo, do tipo de ânion orgânico, da persistência desses ânions no solo (Tirloni et al., 2009), concentrações e força iônica da solução (Cessa et al., 2010).

De acordo com os resultados apresentados acima para o K^+ e o P, não é adequado que o manejo da adubação com esses nutrientes seja concentrado todo na semeadura da soja (Anghinoni et al, 2013). Deve ser considerado que o K^+ é móvel no solo e suscetível a lixiviação, bem como o fósforo é rapidamente fixado sobre as condições do domínio morfoclimático do Cerrado, e, além disso, a adubação potássica realizada basicamente só supriu a demanda da cultura da soja. Devido a isso, a adubação para estes nutrientes no sistema avaliado poderia ser aumentada, sendo parte dela realizada na pastagem, resultando em maior produção animal e vegetal, e maior ciclagem e reciclagem de nutrientes (Anghinoni et al, 2013).

O padrão verificado para os resultados de nitrogênio total (N) nas áreas cultivadas foi divergente do observado para a maioria dos estudos na literatura. O cultivo da soja não incrementou os teores de N no solo e o pastejo também não influenciou nos teores de N apesar da adição das excretas dos bovinos. Para haver incremento nos teores de N no solo haveria a necessidade de incrementos significativos no COT do solo, já que mais de 95 % do N no solo se encontra na sua forma orgânica (Rangel & Silva, 2007). Há de ser considerado que o experimento ainda é recente e há necessidade de mais tempo para que possa haver o incremento concomitante de COT e N no SILP.

Em estudo sobre estoques de C e N em São Miguel das Missões em um SILP após 9 anos de implantação, Assmann et al. (2013) verificaram maiores estoques de N sob intensidade moderada de pastejo. Souza et al. (2009) em seus estudos, após seis anos de implantação do SILP, também observaram resultados similares. Os autores atribuem seus resultados à melhor distribuição das excretas dos animais, bem como o aporte diferenciado de resíduos e parte aérea, quando as áreas estão sobre intensidade média de pastejo.

O valor S não se diferenciou para as áreas com cultivo, seja para as épocas seja para os tratamentos avaliados. Tais resultados não estão de acordo com o proposto por Salton (2005) que afirma o manejo das culturas anuais em SILPs incrementa a fertilidade do solo, para que no inverno a pastagem se beneficie da maior disponibilidade de nutrientes gerada pela adubação no verão. No presente estudo, quando os resultados são analisados de forma pontual para as épocas avaliadas, estes indicam que a adubação na lavoura supre somente as

necessidades da cultura da soja, visto que não houve decréscimo destes atributos entre épocas, no entanto o cultivo da soja não incrementou a disponibilidade de bases no solo.

Nas áreas cultivadas não ocorreram diferenças entre a soma de bases, entretanto em época PL ocorreu incremento de teores de H+Al, que de forma indireta pode estar contribuindo para aumento da CTC do solo. O H+Al pode ser considerado como indicativo de adição de MOS, onde, por meio da decomposição da MOS são geradas cargas variáveis provenientes dos radicais carboxílicos e fenólicos das substâncias húmicas, incrementando a acidez potencial do solo.

A produtividade da soja não se diferenciou entre áreas sob diferentes intensidades de pastejo, ou mesmo com a área SP. A produtividade média, em ordem decrescente, para as áreas foi: IB com 2933 kg ha⁻¹, IA com 2866 kg ha⁻¹, IM com 2853 kg ha⁻¹ e SP com 2735 IM com 2853 kg ha⁻¹.

Embora não tenham sido verificadas diferenças o manejo da área de IB é o mais indicado. O preço atual da saca de 60 kg de soja gira em torno de R\$ 60,00 (sessenta reais) para o estado de Goiás (www.agrolink.com.br). Comparando a área de IB com a área de SP, há incremento no lucro de aproximadamente R\$ 200,00 (duzentos reais) por hectare, o que, por exemplo, para os 22 hectares da área experimental significaria incremento aproximado de R\$ 4.400,00, valor extremamente significativo em se tratando de uma propriedade rural. Em paralelo também deve ser considerado o aumento da lucratividade proveniente da produção animal, que provavelmente é incrementada em maiores intensidades de pastejo, não sendo avaliada nesse estudo.

Para a produtividade da soja, deve-se considerar que nas menores intensidades de pastejo a emergência de plântulas de soja foi menor. Em ordem decrescente a quantidade de plantas de soja 30 dias pós-emergência foram: IA com 376320 plantas ha⁻¹, IM com 349306 plantas ha⁻¹, IB com 272222 plantas ha⁻¹ e SP com 191667 plantas ha⁻¹. Essa redução de emergência de plantas paralela a redução da intensidade de pastejo pode estar relacionada com o aumento da fitomassa da *Urochloa ruziziensis*, atuando como barreira física e controlando a luminosidade nas linhas semeadas (ver resultados do Capítulo II). Os fatores acima, aliados dificuldade que o sombreamento da abundante fitomassa da braquiária podem restringir o crescimento das plantas de soja (Debiasi & Franchini, 2012) podendo ter contribuído para que, por exemplo, a área de SP tenha apresentado menores valores de produtividade, mas não significativos do ponto de vista estatístico.

Resultados que avaliem a produtividade da soja sob SILP, predominantemente tem corroborado com os resultados deste estudo. Dentre os trabalhos que não verificaram influência na produtividade da soja devido a diferentes intensidades de pastejo podem ser citados: i) Martins (2013) em estudo sobre acidez do solo e reaplicação de calcário em superfície sob SILP em São Miguel das Missões/RS; ii) Ferreira et al. (2011) em estudo sobre balanço do potássio sob SILP em São Miguel das Missões/RS; iii) Conte et al. (2011) avaliando atributos físicos sob SILP no Planalto Médio/RS.

Há alguns trabalhos que mostram que as diferentes intensidades de pastejo promoveram diferentes efeitos sobre a produtividade da soja. Em estudo sobre diferentes intensidades de pastejo com cordeiros sob SILP em Eldorado do Sul/RS, Lunardi et al. (2008) verificaram maior produtividade da soja sob baixa intensidade de pastejo. Já em estudo sobre atributos físicos sob SILP em Londrina, Debiasi & Franchini (2012) observaram maiores produtividades sob alta intensidade de pastejo.

Os estudos sobre os efeitos do SILP na produtividade da soja em Goiás são bastante escassos, assim os resultados deste estudo tem importante colaboração para avaliação da viabilidade do SILP nas condições edafoclimáticas do Cerrado.

3.6 CONCLUSÕES

Os resultados observados na área de Cerradão mostram padrão diferenciado desta área quando comparado ao das áreas cultivadas.

A saturação por bases das áreas cultivadas é menor que 35 % nas camadas abaixo de 5 cm de profundidade, o que pode limitar a produtividade agrícola e pecuária dos sistemas.

O pastejo animal incrementa a acidez potencial do solo e a intensidade leve de pastejo reduz a fertilidade do solo na camada superficial da avaliação pós pastagem.

A cultura da soja exporta elevadas quantidades de potássio e provavelmente há um balanço negativo do mesmo nos sistemas agrícolas avaliados no estudo.

A disponibilidade de fósforo é muito baixa em todas profundidades e tratamentos, não havendo efeito residual da adubação agrícola para o cultivo da pastagem.

Visto as correlações observadas nas áreas agrícolas o carbono orgânico total incrementa os valores da soma de bases e a capacidade de troca de cátions, embora tenha efeito de acidificação do solo.

Se analisada a última avaliação (época pós lavoura) as intensidades de pastejo do estudo interferem de forma similar sobre os atributos da fertilidade do solo e não alteram a produtividade da soja.

4 CAPÍTULO II

ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO E EMERGÊNCIA DE PLANTAS EM DIFERENTES ÉPOCAS E INTENSIDADES DE PASTEJO SOB SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA EM PLANTIO DIRETO

4.1 RESUMO

A adequada condução de um sistema de integração lavoura-pecuária (SILP), quando associado ao sistema de plantio direto (SPD) resulta em propriedades emergentes oriundas da integração sinérgica entre agricultura e pecuária. Entretanto para que ocorra sinergia torna-se necessário escolher a rotação de culturas e intensidade de pastejo apropriadas. Se houver superlotação de animais no pastejo das áreas, o primeiro impacto a ser observado será a compactação da camada superficial do solo e degradação dos seus atributos físicos. Neste contexto o presente estudo visa avaliar os efeitos das diferentes intensidades de pastejo, bem como do cultivo da soja, na estabilidade de agregados, porosidade e densidade do solo em um SILP-SPD, implantado no ano de 2009, na Universidade Federal Goiás, Jataí, GO (17° 56' S e 51° 43' O). Foram coletados agregados a campo, nas profundidades de 0 – 5 e 5 – 10 cm, retidos entre as peneiras de 8 mm e 4 mm. Posteriormente foi realizada a análise de estabilidade em água obtendo-se o diâmetro médio ponderado (DMP), o diâmetro médio geométrico (DMG), o índice de estabilidade de agregados (IEA), a porcentagem de agregados maiores que 2 mm (AGRI) e o índice de sensibilidade dos manejos (IS). Também foram coletadas amostras indeformadas nas profundidades de 0–5, 5–10, 10–20 e 20–30 cm. Nessas amostras foram quantificadas a macroporosidade (Ma), a microporosidade (Mi), a porosidade total (Pot) e a densidade do solo (Ds). Em paralelo aos atributos físicos também foi avaliada a emergência de plântulas de soja nos diferentes tratamentos. O delineamento utilizado foi o de blocos inteiramente casualizados com seis repetições. Os atributos foram avaliados em duas épocas distintas: uma pós-ciclo de pastejo (PP) e outra pós-lavoura (PL). Não houve diferenças para os índices de estabilidade de agregados, tanto para as intensidades de pastejo quanto para as épocas avaliadas. A profundidade de 0-5 cm se apresentou mais sensível aos impactos do manejo, onde foi observada a maior variação nos resultados de densidade e porosidade do solo. A área sem pastejo (SP), se comparada às áreas pastejadas, apresentou maiores valores de Ma e menores de Mi na época PP, e menor Ds na época PL para a camada superficial do solo. A Ma e a Ds tenderam a incrementos na época PL, enquanto a Mi a reduzir. Não houve diferenças entre intensidades de pastejo nos atributos físicos do solo. A emergência de plantas de soja reduziu em paralelo a diminuição da intensidade de pastejo. Quando observado o processo evolutivo pós implantação do experimento pode ser inferido que a Ds tende a reduzir e a Ma tende a aumentar em cultivos subsequentes em todas as áreas, exceto para a Ds na área de IA, em que a mesma tende a um aumento. De forma geral os resultados indicam que os atributos físicos encontram-se em processo de melhoria em consequência das práticas conservacionistas adotadas.

Palavras-chave: Manejo do pastejo. Agregação. Porosidade do solo.

4.2 ABSTRACT

The proper conduct of a crop-livestock system (CLI), when associated with no-tillage (NT) results in emergent properties arising from the synergistic integration between agriculture and animal husbandry. However for synergy occur it is necessary to choose the crop rotation and proper grazing intensity. If there is overcrowding of animals in grazing areas, the first impact observed will be the compaction of the topsoil and degradation of its physical attributes. In this context, this study aims to evaluate the effects of different grazing intensities, as well as the cultivation of soybeans in aggregate stability, and porosity and density of the soil in a CLI-NT, introduced in 2009, in Goiás Federal University, Jataí, GO (17° 56' S e 51° 43' W). Aggregates were collected in the field at depths of 0–5 e 5–10 cm, retained between 8mm and 4mm sieves. Subsequently the stability analysis was performed in water, to give the weighted average diameter (WAD), the geometric mean diameter (GMD), the index of aggregate stability (IAS), the percentage of aggregates bigger than 2 mm (AGRI) and aggregates sensitivity index of management systems (SI). Undisturbed soil samples were collected from the depths of 0-5, 5-10, 10-20 and 20-30 cm. These samples were used to quantify macroporosity (Ma), microporosity (Mi), total porosity (Tp) and bulk density (Bd). In parallel to the physical attributes was also evaluated the emergence of soybean seedlings in different treatments. The design was a completely randomized block design (RBD) with six replications. The attributes were evaluated at two different times: a post- grazing cycle (PG) and other post soybean cultivation (PSC). There were no differences in the rates of aggregate stability for both grazing intensities and for the periods evaluated. The depth of 0-5 cm appeared more sensitive to the impacts of management, where greater variation in the results of density and porosity of the soil was observed. The area ungrazed (NG), if compared to grazed areas, had higher Ma and lower Mi values at the PG evaluation, and lower Bd at the PSC time for topsoil layer. The Ma and Bd tended to increases in PSC, while Mi tended to reduce. Differences were not found between grazing intensities on soil physical properties. The emergence of soybean plants decreased in parallel to decrease in grazing intensity. When the evolutive process was observed after implantation of the experiment, it can be inferred that the Ds tends to reduce and Ma tends to increase in subsequent crops in all areas, except for the Ds in the area of high intensity (HI), in that it tends to increase. Overall the results indicate that the physical attributes are in process of improvement, as a result of conservation practices.

Keywords: Grazing management. Aggregation. Porosity of the soil.

4.3 INTRODUÇÃO

Os sistemas convencionais de manejo do solo, bem como aqueles que ignoram a visão conservacionista tem gerado perdas na diversidade biológica, poluição do ambiente advinda de resíduos de fertilizantes e de defensivos agrícolas e a fragmentação de habitats. Contrastando com esse cenário os sistemas de integração lavoura-pecuária (SILP) podem, por meio de propriedades emergentes oriundas da integração, promover ganhos econômicos, sociais e ambientais (Anghinoni et al., 2011).

O SILP apresenta potencial de uso agrícola no domínio morfoclimático do Cerrado pois produz quantidades de resíduos suficientes para consolidação do sistema e não causa restrições ao ambiente radicular (Loss et al., 2012). Tais resíduos, provenientes dos resíduos culturais da lavoura e da cobertura e raízes das pastagens, proporciona um ambiente favorável à recuperação e/ou manutenção dos atributos do solo (Chioderoli et al., 2011), dentre elas a agregação do solo, que está ligada ao aumento dos teores de matéria orgânica do solo (Salton, 2005).

A primeira meta a ser alcançada em um sistema de manejo é sequestrar carbono no solo, tomando como exemplo a formação de microagregados, onde a MOS fica fisicamente protegida e quimicamente estável em longo prazo (Fultz, 2012). Entretanto, quando um sistema de manejo é avaliado, os resultados dos impactos do sistema são primeiramente verificados na macroagregação do solo. Nesse contexto SILP associado ao SPD tem destaque, pois incrementa a estabilidade de macroagregados e conseqüentemente exerce influência sobre os demais atributos físicos do solo (Schiavo & Colodro, 2012).

As altas intensidades de pastejo, o tráfego de máquinas em condição inadequada de umidade do solo (Flores, 2004) e o preparo convencional do solo (Conte et al., 2011), podem ser alguns dos fatores que podem causar a degradação física do solo (Conte et al., 2011; Debiasi & Franchini, 2012) e limitem os benefícios do SILP. A degradação é decorrência do aumento simultâneo da Ds e da resistência à penetração de raízes no solo, além da redução da Ma e infiltração da água. Dessa forma as raízes, por estarem impedidas de explorarem a porosidade do solo, tendem a se concentrar nas camadas mais superficiais, e as plantas ficam mais suscetíveis a déficits hídricos e nutricionais (Lanzanova et al., 2007).

A problemática referente à compactação do solo promovida por animais e/ou maquinário agrícola parece ser minimizada quando o SILP é implantado em SPD já consolidado, adotando pastejo de intensidade moderada, onde os atributos físicos do solo como a porosidade não são afetados (Conte et al., 2011). Tais resultados provavelmente procedem da resiliência do solo nesse sistema, que é perfeitamente capaz recompor suas propriedades estruturais no cultivo de verão, após impacto do pisoteio animal (Flores, 2004).

Atributos físicos do solo como macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi), densidade do solo (Ds), resistência a penetração de raízes (Flores, 2004), e a distribuição e estabilidade dos agregados (Salton et al., 2008) tornam-se ferramentas importantes na avaliação da adequação de agrossistemas, pois são sensíveis aos diferentes manejos em um curto intervalo de tempo (Schiavo & Colodro, 2012).

Estudos sobre impactos da adoção do SILP-SPD nos atributos físicos do solo no Cerrado Goiano ainda são incipientes. Dessa forma, justifica-se avaliar o padrão dos atributos físicos do solo, salientando que sistemas de SILP-SPD se diferem, havendo assim a necessidade de avaliações regionais e da adequação das práticas de manejo adotadas. Este estudo visa avaliar os impactos de diferentes intensidades de pastejo e também da agricultura sobre os atributos físicos do solo em um SILP-SPD com três anos pós implantação.

4.4 MATERIAL E MÉTODOS

4.4.1 Localização, clima e solo da área de estudo

A descrição da área de estudo está apresentada no item 3.2.1 do Capítulo I.

4.4.2 Sistemas avaliados e histórico de uso

A descrição dos sistemas avaliados e histórico de uso está apresentada no item 3.2.2 do Capítulo I.

4.4.3 Coleta de amostras

A descrição da metodologia de amostragem está apresentada no item 3.2.3 do Capítulo I.

4.4.4 Densidade do solo (Ds)

A amostragem para determinação da densidade do solo foi feita com o auxílio de um coletor de Uhland. Após a coleta o material foi seco em estufa à 105 °C até a obtenção de massa constante. A densidade foi calculada pela seguinte equação:

$D_s = \text{densidade do solo (Mg m}^{-3}\text{)} = M_s / V_s$; em que M_s (massa do solo) em Mg, e V_s (volume do solo) em m³.

4.4.5 Macroporosidade, microporosidade e porosidade total do solo

Foram coletadas amostras indeformadas de solo por meio do uso do coletor Uhland e anéis de PVC. Posteriormente as amostras foram protegidas em sua parte inferior por um tecido e colocadas em uma bandeja com água até a metade da altura do anel para saturar durante um pernoite. Em seguida, as amostras foram retiradas da água e pesadas (P_1). Após, foram colocadas sobre a mesa de tensão e submetidas a uma tensão de 60 cm de altura de coluna d'água, onde permaneceram por 24 horas.

Após esse período as amostras foram novamente submetidas à pesagem (P_2) e levadas à estufa a 105 °C por 24 horas e foram novamente pesadas (P_3). A macroporosidade (M_a), microporosidade (M_i) e porosidade total (P_t) foram calculadas de acordo com as fórmulas abaixo:

$$M_a = (P_1 - P_2) / V$$

$$M_i = (P_2 - P_3) / V$$

$$P_t = M_a + M_i$$

Em que: P_1 : peso saturado da amostra;

P_2 : Peso após tensão de 60 cm de altura de coluna d'água por 24 horas;

P_3 : Peso após secagem em estufa a 105 °C por 24 horas.

V : Volume do cilindro que contém a amostra.

4.4.6 Distribuição dos agregados

Para a determinação da distribuição das classes de agregados, foi utilizado o tamisamento via úmida, sendo adotado o método proposto por Kemper & Chepil (1965), no qual emprega-se o aparelho preconizado por Yooder (1936). O princípio de funcionamento deste método consiste em oscilações de uma haste na qual estão presentes as amostras. Estas imergem e afloram da água em movimentos lentos, sucessivos e constantes por um período de 15 minutos.

Foram pesados 25 g de cada amostra, sendo posteriormente umedecidas lentamente com auxílio de um atomizador manual. Após isso, as amostras foram passadas para o aparelho de Yooder adaptado com peneiras de malhas de 2,0, 1,0, 0,5, 0,25 e 0,105 mm de abertura. A umidade residual será determinada utilizando-se uma amostra adicional.

Após o término das oscilações, o conteúdo retido em cada uma das peneiras foi seco em estufa a 105°C, durante 24 horas, e em seguida foi pesado. A classe menor do que 0,105 mm foi calculada por diferença, tomando-se o peso inicial, menos a umidade residual, e o peso das demais classes como base. Todos esses procedimentos foram realizados conforme Embrapa (1997).

Foram calculados o diâmetro médio ponderado (DMP) e o diâmetro médio geométrico (DMG) de acordo com as equações a seguir:

$$\text{DMG} = \text{antilog } \Sigma(n \log d) / \Sigma n$$

$$\text{DMP} = \Sigma i^{-1} (w_i d)$$

em que n é a porcentagem de agregados nas diversas classes de peneiras; d é o valor médio dos limites, superior e inferior, de cada classe (mm); w_i é a proporção de cada classe, em relação ao total (g).

Para apoio na discussão dos resultados também foram utilizados alguns índices que tenham como função caracterizar melhor a agregação do solo. Sendo eles:

(a) O índice de estabilidade de agregados (IEA), que visa quantificar a porcentagem de agregados iguais ou maiores à 0,25 mm, após tamisamento e quantificação das diferentes classes de agregados. Logo, quanto maior a quantidade de agregados menores que 0,25 mm, menor foi o IEA:

$$\text{IEA} = \{(P.A. - w_{p<0,25}) / (P.A.)\} * 100$$

Em que PA = Peso da amostra; $w_{p<0,25}$ corresponde ao peso dos agregados de classe menor que 0,25 mm, dado em gramas (Castro Filho, 1998).

(b) O índice de porcentagem de agregados maiores que 2 mm (AGRI):

$$\text{AGRI} = w_{i>2} \times 100$$

Em que $w_{i>2}$ representa a proporção de agregados >2 mm, segundo Wendling et al. (2005).

(c) O índice de sensibilidade (IS), sugerido por Bolinder et al. (1999), visa avaliar o efeito dos tratamentos aplicados na DMP, utilizando como denominador os valores de uma área de referência.

$$\text{IS} = (AS/AC) * 100$$

Em que IS é o índice de sensibilidade; AS é o valor do DMP dos tratamentos e AC é o valor do DMP da área de referência. No caso do presente estudo a área de referência é o sistema de plantio direto (SPD), com o objetivo de avaliar os impactos de diferentes intensidades do pastejo animal.

4.4.7 População de plantas de soja

A população de plantas de soja foi estimada por meio de duas amostras por subparcela, após 30 dias de emergência. Cada amostra, escolhida aleatoriamente, consistiu na contabilização do número de plantas de soja em duas linhas adjacentes ao longo de quatro metros lineares. Posteriormente foi calculado o número de plantas por hectare.

4.4.8 Análises estatísticas

O procedimento referente às análises estatísticas do estudo está apresentado no item 3.2.9 do Capítulo I.

4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não foram verificadas diferenças para todos tratamentos e épocas de avaliação para o diâmetro médio ponderado de agregados do solo (DMP), para o índice de estabilidade desses agregados (IEA) que quantifica a porcentagem de agregados iguais ou maiores que 0,25 mm e para o índice dos agregados maiores que 2 mm (AGRI) (Tabela 11). Para o diâmetro médio geométrico dos agregados do solo (DMG) não ocorreram diferenças, exceto para a área com intensidade moderada de pastejo (IM) na camada de 5–10 cm, onde os valores de DMG são maiores para época pós pastejo (PP) quando comparados à época pós lavoura (PL).

Os valores de DMP e DMG próximos a 5, que é o máximo valor que pode ser obtido, os IEA maiores que 99 % e finalmente os AGRI maiores que 90 % indicaram elevada estabilidade estrutural do solo para todas as áreas, épocas e profundidades avaliadas. De acordo com Resende et al. (1996) os Latossolos apresentam como característica pedogenética intrínseca elevados índices de agregação e estabilidade estrutural do solo devido a ação principal dos óxidos e também da matéria orgânica do solo. Batista et al. (2013), verificaram elevados DMP e DMG em áreas com diferentes rotações de cultura sob SILP, em Maracaju/MS. Esses autores acrescentam que além das características favoráveis a formação de agregados estáveis em Latossolos, a ausência de revolvimento aliada a cobertura permanente do solo nesses sistemas propiciam condições para que esta estabilidade seja mantida e possivelmente incrementada.

Os índices de sensibilidade (IS) das áreas com pastejo estiveram entre 98 e 102% indicando que, quando essas áreas são comparadas a área de referência de plantio direto sem pastejo (SP), não há influência alguma, seja positiva ou negativa, do pisoteio animal na estabilidade dos agregados. Quanto mais próximo o IS for a 100%, este indica que não há diferenças para os tratamentos avaliados quando comparados uma área de referência.

Não foram verificadas diferenças entre os tratamentos com as intensidades de pastejo, e também para quando estes são comparados com a área SP, pode assim ser inferido que o pastejo pelos animais não influencia negativamente na agregação do solo. A opção da intensidade de pastejo a ser escolhida passaria então a depender de outros fatores, tais como o manejo que melhor potencializasse o ganho de peso animal e que não prejudicasse a produtividade das culturas anuais.

Salienta-se também que a implantação dos sistemas foi recente ao estudo, em um período anterior de apenas três anos, e no momento da implantação dos sistemas foi feita a calagem das áreas utilizando-se de práticas de aração e gradagem. Devido a tais práticas a agregação do solo provavelmente encontra-se em um estado inicial de evolução, para que depois de determinado tempo haja aumento da resistência dos agregados.

Em estudo sobre tempo necessário para a consolidação do sistema de plantio direto (SPD) em Latossolo Vermelho Amarelo de textura argilosa no sudoeste de Goiás, Neto et al. (2007) verificaram que o SPD apresentou-se consolidado nas áreas estudadas apenas a partir do nono ano pós implantação.

De acordo com Conte et al. (2011) a estabilidade de agregados do solo isolada não é atributo suficiente para avaliar a qualidade física de um solo. Os autores afirmam que solos compactados podem apresentar elevada estabilidade de agregados e em contrapartida apresentarem má distribuição e inadequação de atributos como a macroporosidade, microporosidade e porosidade total do solo, prejudicando o cultivo das espécies agrícolas. Dessa forma, quando a porosidade e a densidade do solo (Tabelas 12 e 13) são avaliadas em paralelo a agregação, o estudo sobre os impactos do manejo na qualidade física do solo se torna mais detalhado e adequado.

Tabela 11. Diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG), índice de estabilidade de agregados (IEA), percentagem de agregados maiores que 2 mm (AGRI) e índice de sensibilidade em sistema de integração lavoura-pecuária submetido a intensidades de

Trat.	DMP		DMG		IEA		AGRI		IS	
	mm		0 – 5 cm				%			
	PP	PL	PP	PL	PP	PL	PP	PL	PP	PL

pastejo em plantio direto.

IA	4,663 Aa	4,732 Aa	3,966 Aa	4,129 Aa	99,82 Aa	99,85 Aa	92,55 Aa	94,18 Aa	98	101
IM	4,855 Aa	4,742 Aa	4,464 Aa	4,027 Aa	99,91 Aa	99,81 Aa	96,75 Aa	94,58 Aa	102	101
IB	4,796 Aa	4,741 Aa	4,352 Aa	4,073 Aa	99,90 Aa	99,83 Aa	95,50 Aa	94,50 Aa	101	101
SP	4,742 Aa	4,693 Aa	4,202 Aa	3,987 Aa	99,87 Aa	99,82 Aa	94,23 Aa	93,28 Aa		
	CV(1): 2,07		CV(1): 6,61		CV(1): 0,06		CV(1): 2,32			

Tabela 12. Valores de macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi), porosidade total (Pot) e densidade do solo (Ds), nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm, em sistema de integração lavoura-pecuária sob lotação a intensidades de pastejo em plantio direto.

IA	4,706 Aa	4,707 Aa	4,051 Aa	3,929 Aa	99,82 Aa	99,79 Aa	93,58 Aa	93,82 Aa	98	101
IMat.	4,808 Aa	4,664 Aa	4,388 Aa	3,731 Ab	99,89 Aa	99,74 Aa	95,87 Aa	92,97 Aa	100	100
IB	4,74 Aa	4,622 Aa	4,179 Aa	3,765 Aa	99,86 Aa	99,78 Aa	94,33 Aa	91,82 Aa	99	099
SP	4,79 Aa	4,646 Aa	4,238 Aa	3,893 Aa	99,87 Aa	99,79 Aa	95,38 Aa	92,30 Aa		
	CV(1): 3,06		CV(1): 10,37		CV(1): 0,10		CV(1): 3,37			
IA	0,21 Bb	0,26 Aa	0,43 Aa	0,39 Aa	0,64 Aa	0,65 Aa	1,17 Aa	1,18 Aa		
IM	0,21 Bb	0,26 Aa	0,45 Aa	0,39 Ab	0,66 Aa	0,65 Aa	1,17 Aa	1,09 ABa		
IB	0,23 ABa	0,24 Aa	0,44 Aa	0,40 Aa	0,67 Aa	0,64 Aa	1,17 Aa	1,10 ABa		
SP	0,28 Aa	0,30 Aa	0,38 Ba	0,34 Bb	0,66 Aa	0,64 Aa	1,16 Aa	1,02 Bb		

Valores seguidos por letras maiúsculas iguais na coluna e minúsculas iguais na linha não diferem significativamente pelo teste t de Tukey a 5%. PP: avaliação pós-pastejo e PL: avaliação pós-lavoura. CV(1)= coeficiente de variação entre tratamentos (%); CV(2)= coeficiente de variação entre épocas (%). IA: intensidade alta de pastejo; IM: intensidade moderada de pastejo; IB: intensidade baixa de pastejo e SP: área sem pastejo.

	CV(1): 16,86	CV(1): 19,91	CV(1): 8,45	CV(1): 7,78				
	CV(2): 17,16	CV(2): 20,70	CV(2): 8,19	CV(2): 6,56				
5 – 10 cm								
IA	0,25 Aa	0,26 Aa	0,40 Aa	0,36 Aa	0,65 Aa	0,62 Aa	1,22 Aa	1,16 Aa
IM	0,22 Aa	0,24 Aa	0,45 Aa	0,38 Ab	0,67 Aa	0,62 Ab	1,20 Aa	1,19 Aa
IB	0,22 Aa	0,26 Aa	0,41 Aa	0,37 Aa	0,63 Aba	0,63 Aa	1,22 Aa	1,20 Aa
SP	0,26 Aa	0,26 Aa	0,35 Ba	0,36 Aa	0,50 Ba	0,62 Aa	1,21 Aa	1,20 Aa
<p>Table 13. Valores de macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi), porosidade total (Pt) e densidade do solo (Ds), nas profundidades de 10-20 e 20-40 cm, em sistema de integração lavoura-pecuária submetido a intensidades de pastejo em plantio direto. CV(1): 4,95</p>								
	CV(1): 2,05	CV(1): 8,88	CV(1): 10,54	CV(1): 4,95				
	CV(2): 2,06	CV(2): 9,81	CV(2): 11,80	CV(2): 5,17				
Trat.	Ma	Mi	Pt	Ds				
	Valores seguidos por letras maiúsculas iguais na coluna e minúsculas iguais na linha não diferem significativamente pelo teste t de Tukey a 5%. PP: avaliação pós-pastejo e PL: avaliação pós-lavoura. CV(1) = coeficiente de variação entre tratamentos (%), CV(2) = coeficiente de variação entre épocas (%). IA: intensidade alta de pastejo; IM: intensidade moderada de pastejo; IB: intensidade baixa de pastejo e SP: área sem pastejo.							
	10 – 20 cm	10 – 20 cm	10 – 20 cm	10 – 20 cm				
	PP	PL	PP	PL				
	PP	PL	PP	PL				
	PP	PL	PP	PL				
	PP	PL	PP	PL				

IA	0,21 Ab	0,29 Aa	0,40 Aa	0,33 Ab	0,61 Aa	0,62 Aa	1,19 Aa	1,13 Aa
IM	0,23 Aa	0,27 Aa	0,41 Aa	0,34 Ab	0,64 Aa	0,61 Aa	1,23 Aa	1,15 Ab
IB	0,23 Aa	0,28 Aa	0,40 Aa	0,32 Ab	0,63 Aa	0,60 Aa	1,22 Aa	1,19 Aa
SP	0,25 Aa	0,27 Aa	0,38 Aa	0,34 Aa	0,63 Aa	0,61 Aa	1,23 Aa	1,18 Aa
	CV(1): 1,13		CV(1): 13,63		CV(1): 3,78		CV(1): 4,05	
	CV(2): 1,30		CV(2): 17,82		CV(2): 5,07		CV(2): 4,52	
20 – 30 cm								
IA	0,25 Aa	0,27 Aa	0,40 Aa	0,35 Aa	0,65 Aa	0,62 Aa	1,18 Aa	1,17 Aa
IM	0,23 Aa	0,27 Aa	0,43 Aa	0,34 Ab	0,66 Aa	0,61 Ab	1,22 Aa	1,12 Ab
IB	0,23 Aa	0,26 Aa	0,42 Aa	0,34 Ab	0,65 Aa	0,60 Ab	1,21 Aa	1,15 Aa
SP	0,24 Aa	0,27 Aa	0,41 Aa	0,35 Aa	0,65 Aa	0,62 Aa	1,21 Aa	1,18 Aa
	CV(1): 1,22		CV(1): 10,91		CV(1): 4,15		CV(1): 5,33	
	CV(2): 1,34		CV(2): 11,04		CV(2): 5,49		CV(2): 5,51	

Valores seguidos por letras maiúsculas iguais na coluna e minúsculas iguais na linha não diferem significativamente pelo teste t de Tukey a 5%. PP: avaliação pós-pastejo e PL: avaliação pós-lavoura. CV(1)= coeficiente de variação entre tratamentos (%), CV(2)= coeficiente de variação entre épocas (%). IA: intensidade alta de pastejo; IM: intensidade moderada de pastejo; IB: intensidade baixa de pastejo e SP: área sem pastejo.

Na profundidade de 0–5 cm, para a avaliação PP não foram verificadas diferenças entre áreas para a Ds, entretanto para a avaliação PL a área sem pastejo se destacou com os menores valores (Tabela 12).

Quando se compara a Ds entre as áreas pastejadas na profundidade de 0-5 cm, camada na qual geralmente são identificados os maiores impactos do componente animal em SILPs (Flores et al., 2007; Conte et al., 2011), estas não se diferenciam para ambas as épocas avaliadas. Tais resultados indicam que as diferentes intensidades de pastejo influenciaram sobre esse atributo de forma similar.

De acordo com Conte (2011) embora o pisoteio dos animais promova compactação do solo durante o período de pastejo, quando o SILP está associado ao SPD (SILP-SPD) o solo é altamente resiliente e recupera facilmente seus atributos físicos no cultivo de verão, com destaque para a Ds.

A área que foi submetida à maior intensidade de pastejo (IA) apresentou maior dificuldade na restauração da Ds para a profundidade de 0-5 cm, com estabilização da desta entre épocas avaliadas. Entretanto os valores de Ds verificados na área de IA não seriam considerados como restritivos ao crescimento das plantas (entre 1,27 e 1,57 Mg dm⁻³) de acordo com Corsini & Ferraudo, 1999. Para Buckman e Brady (1989) os valores que dificultariam o crescimento radicular estariam entre 1,70 e 1,80 Mg dm⁻³, já para Arshad et al. (1996) o valor de 1,40 Mg dm⁻³ é aceito como limite crítico, que aumenta com o decréscimo do teor de argila do solo. Finalmente, não há um consenso do valor de Ds que possa restringir o crescimento das plantas, e para o caso do SILP, a melhor forma de avaliação é a produtividade da lavoura, que para esse estudo não foi alterada na área de IA quando comparada às demais áreas (Capítulo I).

Foram quantificados menores valores de Ds na avaliação PL quando comparada a avaliação PP nas profundidades de 10-20 cm e 20-30 cm na área de IM (Tabela 13). Observa-se que para as demais áreas, apesar da ausência de diferenças estatísticas, houve tendência semelhante. Um menor valor de Ds para a avaliação PL poderia estar relacionado com ciclos de umedecimento e secagem do solo aliados a resiliência de seus atributos físicos no SILP-SPD. Nesse caso, a decomposição da matéria orgânica do solo e a maior atividade biológica, favorecidas pelos maiores teores de umidade no verão, podem beneficiar principalmente a criação de macroporos em função do seu poder de cimentação promovendo a união das partículas unitárias e conseqüentemente aumentando a macroporosidade e diminuindo a Ds, tendência essa que também pode ser verificada nos resultados deste estudo.

Para melhorar o entendimento dos resultados da Ds se torna necessário que esses resultados pontuais das duas coletas da safra 2012/13 estejam situados em um processo evolutivo pós implantação do experimento.

Os valores de densidade antecedentes a instalação do experimento (2009) na profundidade de 0-5 cm eram elevados quando comparados aos atuais (Figura 12). Resultados esses decorrentes da degradação da qualidade física do solo promovida pelo pastejo extensivo e ausência de reposição de nutrientes, práticas essas de um período de 20 anos anteriores à instalação do experimento (Bonetti, 2013).

Em um período seguinte às práticas de aração e gradagem (PP de 2011), conduziram a diminuição da densidade do solo, principalmente na camada superficial avaliada, em decorrência do revolvimento do solo e aumento de sua macroporosidade. De acordo com Brady & Weil (2012) os efeitos iniciais do revolvimento do solo são benéficos, havendo posterior aumento da densidade do solo, em decorrência da redução dos teores de matéria orgânica e degradação da agregação do solo.

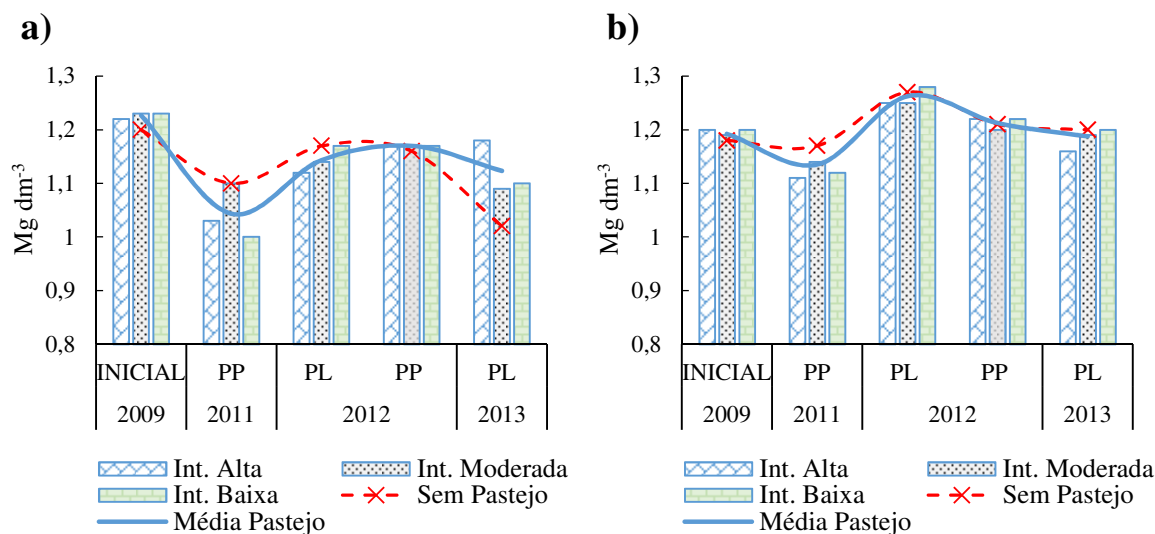


Figura 12. Dinâmica da densidade do solo em sistema de integração lavoura pecuária submetido a intensidades de pastejo em plantio direto.

PP: avaliação pós pastejo. PL: avaliação pós lavoura. a) Camada de 0-5 cm e b) Camada de 5-10 cm. *Contém dados de Bonetti (2013).

Os resultados nas diferentes áreas para a Ds seguem o padrão proposto por Brady & Weil (2013). Primeiramente ocorreu a redução da Ds pós revolvimento do solo. Em período posterior, para o ano de 2012, a Ds do solo aumentou em todas as áreas, em função da compactação gerada pelo maquinário agrícola. Observa-se que não há diferença entre a área não pastejada e a média do pastejo, o que indica que o impacto dos cascos dos animais, para este caso, não promoveu efeitos negativos na qualidade física do solo, mesmo em uma fase recente pós revolvimento. Assim, nos primeiros anos após o revolvimento do solo a implantação do SPD aumenta os valores de Ds, entretanto há de ser considerado que o sistema se encontra em um processo evolutivo de reestruturação, e os valores de Ds não atingiram valores restritivos ao crescimento radicular das plantas.

No início do terceiro ano pós revolvimento (coleta PL de 2012) começa a haver tendência da densidade do solo reduzir para as camadas de 0-5 cm e 5-10 cm. Assim pode ser inferido que os sistemas conservacionistas passam a promover efeitos nas áreas, e em avaliações posteriores a linha de tendência resultante para as áreas de IM, IB e SP é de redução da Ds. Dessa forma, para essas áreas, em cultivos futuros supõe-se que os valores de Ds diminuam.

Para a camada de 0-5 cm a área SP tendeu a uma maior redução dos valores de Ds quando comparada à média das áreas pastejadas (Figura 12). Adicionalmente na área com manejo de alta intensidade de pastejo, desde a aração até o presente momento só tem sido observado o aumento dos valores de Ds, seguindo um padrão oposto quando comparado às outras áreas. Dessa forma, enquanto manejos de baixa intensidade de pastejo e o manejo sem pastejo são benéficos a este atributo, para a área de IA os resultados são negativos e podem vir a futuramente causar compactação do solo se esse padrão de mudanças persistir. Dessa forma, é importante que esse SILP seja futuramente reavaliado quanto a evolução dos impactos gerados nos atributos físicos do solo.

Para a época PP na profundidade de 0-5 cm as áreas de IM e IA de pastejo influenciaram negativamente na macroporosidade do solo (Ma) quando comparadas à área de SP, sendo que a última apresentou os maiores valores (Tabela 12). Em contrapartida não foram verificadas diferenças entre tratamentos para a época PL, podendo comprovar que o

sistema anda em sinergismo, ou seja, há uma reabilitação da macroporosidade do solo no período que as áreas são destinadas ao cultivo da lavoura.

Flores et al. (2007) em estudo sobre atributos físicos em Latossolo Vermelho no RS em SILP sob diferentes intensidades de pastejo, verificaram redução da macroporosidade e porosidade total apenas para a camada superficial do solo. Nessa mesma área, Conte et al. (2011) não verificaram efeito do pisoteio animal nos atributos físicos do solo. Já Loss et al. (2011) estudando impactos de diferentes usos do solo, em Montividiu/GO, verificaram menor Ds na área de SILP quando comparada a área de SPD.

Diante dos estudos de Flores et al. (2007), Conte et al. (2011) e Loss et al. (2011) percebe-se em primeira instância a importância do estudo dos SILPs em diversos locais, solos, manejos e cronossequências, e também a importância da agricultura dos SILPs no verão, que pode recuperar possíveis alterações causadas pelo pisoteio animal à Ma e Ds na camada superficial do solo.

Houve aumento da Ma para as áreas de IA e IM da época PP para a época PL na profundidade de 0-5 cm. O fato da Ma aumentar após a lavoura pode estar relacionado com a decomposição do sistema radicular da *Urochloa ruziziensis*, favorecendo a formação de bioporos e a atividade biológica, principalmente da macrofauna do solo. De acordo com Anghinoni et al. (2011) o aporte diferenciado, tanto em superfície como pelas raízes, de resíduos vegetais e um melhor balanço entre raízes e parte aérea acumuladas no tempo conferem ao SILP características intrínsecas e diferenciadas quando este é comparado aos sistemas puros de produção de grãos.

Quando os resultados são comparados a épocas anteriores estudadas por Bonetti (2013) pode ser observado que a partir de avaliação PL de 2012 está ocorrendo incremento da Ma do solo para as camadas de 0-5 e 5-10 cm (Figura 13). Verifica-se que os valores de Ma da avaliação PL de 2013 foram maiores que os da PP de 2012, tais resultados indicam que em consequência do manejo a Ma vem gradualmente aumentando no decorrer do tempo.

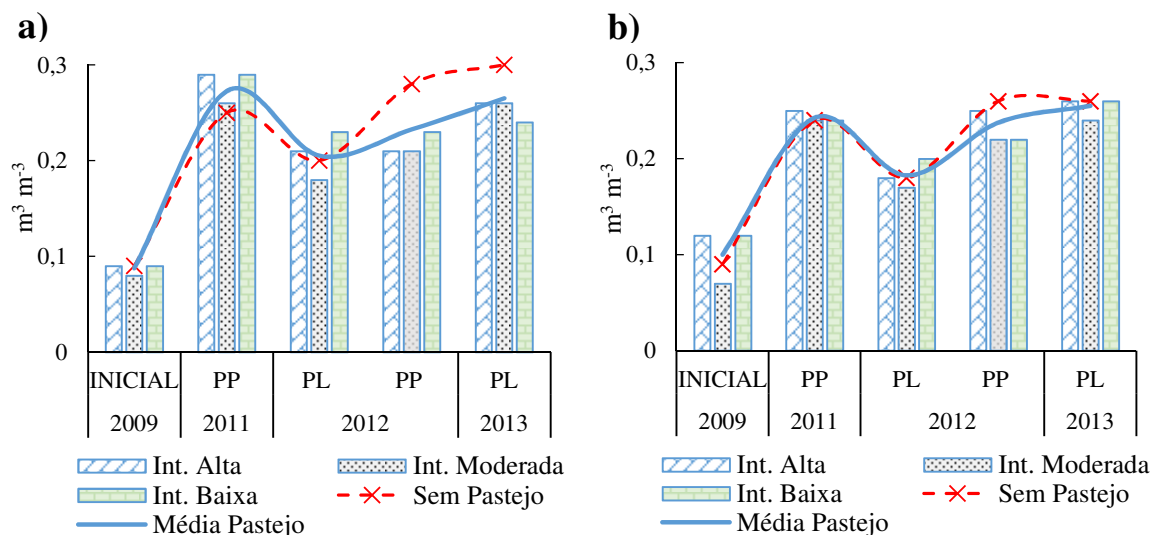


Figura 13. Dinâmica da macroporosidade do solo em sistema de integração lavoura pecuária submetido a intensidades de pastejo em plantio direto.

PP: avaliação pós pastejo. PL: avaliação pós lavoura. a) Camada de 0-5 cm e b) Camada de 5-10 cm.

*Contém dados de Bonetti (2013).

Para a camada superficial do solo (0-5cm) na área não pastejada parece estar havendo um aumento da macroporosidade do solo de forma mais acelerada quando comparada às áreas pastejadas. Tal diferença já não é verificada para a profundidade de 5-10 cm. São necessários

estudos em cultivos posteriores para avaliar se a área SP se destacará, pois a Ma desta área não se diferenciou das áreas com pastejo por ocasião da avaliação realizada.

A microporosidade (Mi) da área SP foi menor quando comparada às áreas pastejadas para ambas épocas de avaliação na profundidade de 0 – 5 cm, e para a época PP na profundidade de 5–10 cm. De acordo com os resultados da evolução temporal da microporosidade das diferentes áreas avaliadas (Figura 14) este atributo tende a aumentar para a época PP e reduzir para a época PL.

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 12 e Tabela 13 a tendência de aumento da Mi em época PP ocorreu em todas as profundidades com destaque para as áreas pastejadas. Tais resultados indicam que para um período seco, seja devido a condições naturais de clima e solo ou ao efeito do sistema radicular da *Urochloa ruziziensis* pode estar havendo aproximação das partículas unitárias do solo. Salienta-se que, com a presença de pastejo a aproximação dessas partículas nas camadas mais superficiais é incrementada e pode ser resultante do impacto dos cascos dos animais.

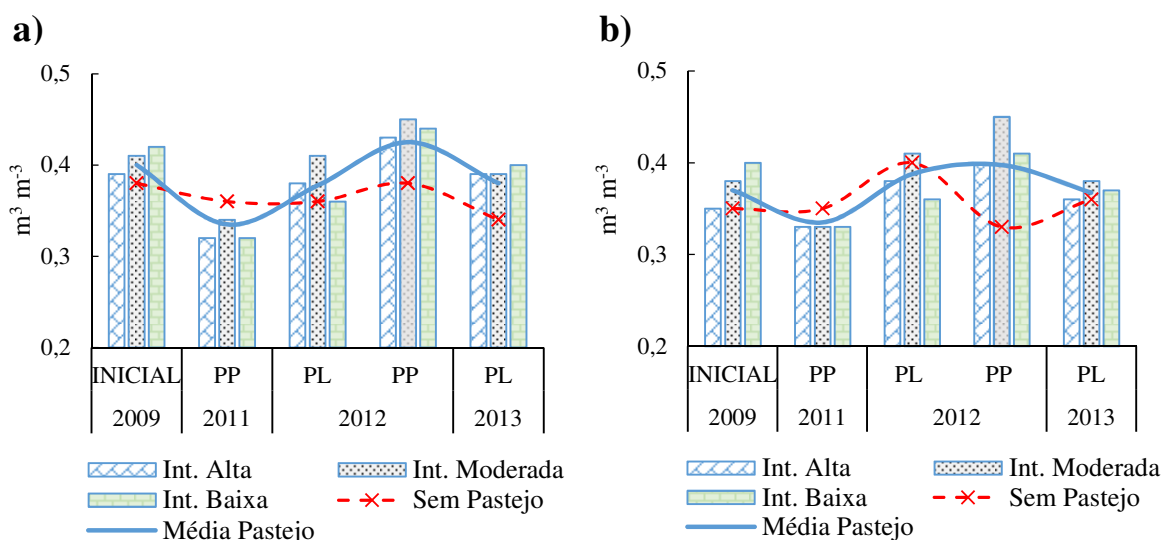


Figura 14. Dinâmica da microporosidade do solo em sistema de integração lavoura pecuária submetido a intensidades de pastejo em plantio direto.

PP: avaliação pós pastejo. PL: avaliação pós lavoura. a) Camada de 0-5 cm e b) Camada de 5-10 cm. *Contém dados de Bonetti (2013).

Há correlação negativa entre a macro e microporosidade do solo para as profundidades de 0 - 5 cm e 5 – 10 cm, valores esses de -0,69 e -0,70, respectivamente, a significância de 1 % pelo teste t (Tabela 14). Tal correlação indica que maiores valores da Mi paralelamente estão acompanhados de menores valores da Ma para a safra 2012/13.

No entanto, quando é considerado um processo evolutivo da Ma (Figura 13), tal atributo só tendeu a ser incrementado. É importante que haja incremento da Ma para melhoria da infiltração de água e fluxo de gases no solo, e que seja conservada a Mi para que possa haver armazenamento de água no solo. De acordo com os resultados deste estudo, quando observado um processo evolutivo (Figuras 13 e 14) é exatamente o que acontece. Tais resultados culminam em um processo de incremento da porosidade total do solo (Pt) (Figura 15). Nesse contexto torna-se necessário entender que a Ma e Mi, em seu processo evolutivo, podem comportar-se de forma independente, ou seja, o aumento da Ma não necessariamente implica na redução da Mi no decorrer do tempo, ou vice e versa.

Tabela 14. Correlação de Pearson (r) para os atributos físicos solo em sistema de integração lavoura-pecuária submetido a intensidades de pastejo em plantio direto.

	Ma	Mi	Pot	Ds	DMP	DMG	IEA	AGRI
0 - 5 cm								
Mi	-0,69**							
Pot	-0,21 ^{ns}	0,30*						
Ds	-0,25 ^{ns}	0,48**	-0,21 ^{ns}					
DMP	-0,24 ^{ns}	0,38*	0,29 ^{ns}	0,25 ^{ns}				
DMG	-0,23 ^{ns}	0,36*	0,32*	0,23 ^{ns}	0,95**			
IEA	-0,22 ^{ns}	0,30*	0,30*	0,18 ^{ns}	0,86**	0,97**		
AGRI	-0,23 ^{ns}	0,37*	0,28*	0,25 ^{ns}	1,00**	0,92**	0,81**	
COT	0,27*	-0,30*	0,06 ^{ns}	-0,33*	-0,12 ^{ns}	-0,18 ^{ns}	-0,22 ^{ns}	-0,10 ^{ns}
5 - 10 cm								
Mi	-0,70**							
Pot	0,09 ^{ns}	0,65**						
Ds	-0,44**	0,23 ^{ns}	-0,17					
DMP	-0,18 ^{ns}	0,22	0,10	0,33*				
DMG	-0,21 ^{ns}	0,25	0,11	0,36*	0,96**			
IEA	-0,23 ^{ns}	0,25	0,10	0,36*	0,91**	0,98**		
AGRI	-0,18 ^{ns}	0,21	0,09	0,32*	1,00**	0,94**	0,87**	
COT	0,14 ^{ns}	0,00	0,14	-0,07	0,03	-0,03	-0,09	0,05

Ma: macroporosidade. Mi: microporosidade. Pot: porosidade total. Ds: densidade do solo. DMP: diâmetro médio ponderado dos agregados. DMG: diâmetro médio geométrico dos agregados. IEA: porcentagem de agregados iguais ou maiores a 0,25 mm. AGRI: porcentagem de agregados maiores que 2 mm. ns: não significativo a 5 %. *, ** significativo a 5 % e 1 % respectivamente, pelo teste t.

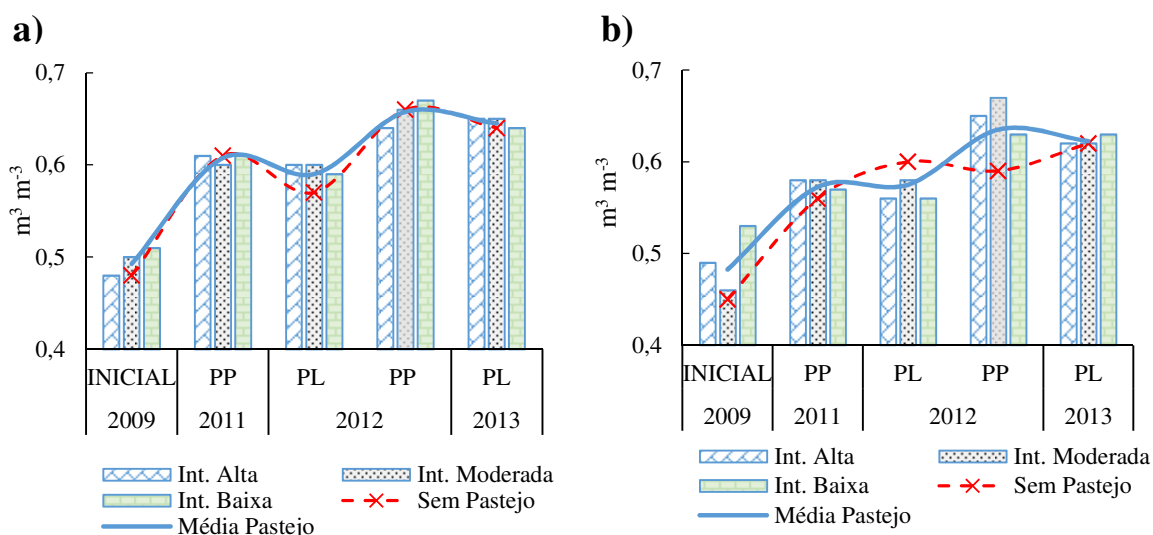


Figura 15. Dinâmica da porosidade total do solo em sistema de integração lavoura pecuária submetido a intensidades de pastejo em plantio direto.

PP: avaliação pós pastejo. PL: avaliação pós lavoura. a) Profundidade de 0-5 cm e b) Profundidade de 5-10 cm. *Contém dados de Bonetti (2013).

O padrão evolutivo verificado para a porosidade total assemelha-se mais ao observado para a Mi do que para a Ma. Foram verificadas correlações positivas entre a Mi e Pt para as avaliações da safra de 2012/13 tanto para a profundidade de 0–5 cm, quanto para profundidade de 5 – 10 cm. Tais resultados parecem estar associados com a agregação do solo, pois a Mi também apresentou correlações positivas com os índices de estabilidade de agregados. Dessa forma pode ser inferido que o processo de evolução da agregação do solo e

o aumento da porosidade ocorrem em paralelo, com a formação de macro e microporos no solo.

Na profundidade de 5-10 cm na avaliação PP foram encontrados maiores valores de Pt nas áreas com maiores intensidades de pastejo (IA e IM). Estes resultados podem estar associados concomitantemente com o pisoteio animal aproximando partículas e aumentando a quantidade de microporos ali presentes, e pela maior renovação do sistema radicular mantendo a macroporosidade do solo.

O carbono orgânico total (COT) apresentou correlação positiva com a Ma (0,27*) e negativa com a microporosidade (-0,30*) e densidade do solo (-0,33*) na camada de 0 – 5 cm. Assim pode ser inferido que incrementos na Ma, reduções na Ds e aumento dos teores de COT andam em paralelo.

Diante das correlações acima, pode ser inferido que os atributos sigam a seguinte dinâmica: (i) uma maior biomassa de raízes favorece a formação de macroporos no solo pois as mesmas tendem a explorar os espaços vazios ou que apresentem fraqueza no solo (Conte, 2007); (ii) em um estágio posterior podem ser aumentados os teores de COT no solo pela biomassa radicular, o que também aumenta a atividade da macrofauna do solo e contribui para incremento da macroporosidade do solo (Marchão, 2007); (iii) além disso o sistema radicular favorece a agregação do solo, aproximando partículas, o que culmina em proteção do carbono em agregados estáveis do solo (Lavelle et al., 2006).

Os valores de macroporosidade do solo não atingiram os limites críticos para o desenvolvimento radicular da cultura da soja, que é de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (Anghinoni et al., 2013). Entretanto sempre deve ser visado incrementos desses atributos no solo, o que não foi verificado principalmente para a avaliação pós pastejo (PP), podendo ser decorrente do pisoteio animal. Em paralelo é importante que seja acompanhada a produtividade da cultura de verão, que não foi impactada nesse estudo (Capítulo I).

Ocorreu diminuição do número de plantas emergidas de soja paralelamente à redução da intensidade de pastejo (Figura 16 e 17). Onde houve o tratamento de alta intensidade de

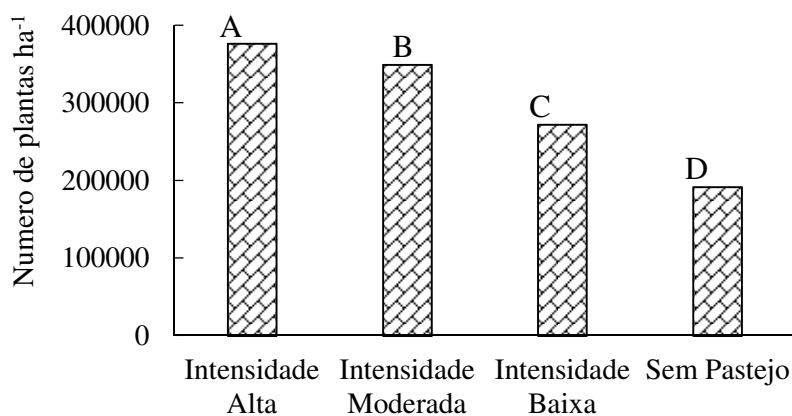


Figura 16. População de plantas de soja 30 dias pós semeadura direta em áreas anteriormente submetidas a intensidades de pastejo sob sistema de integração lavoura pecuária.

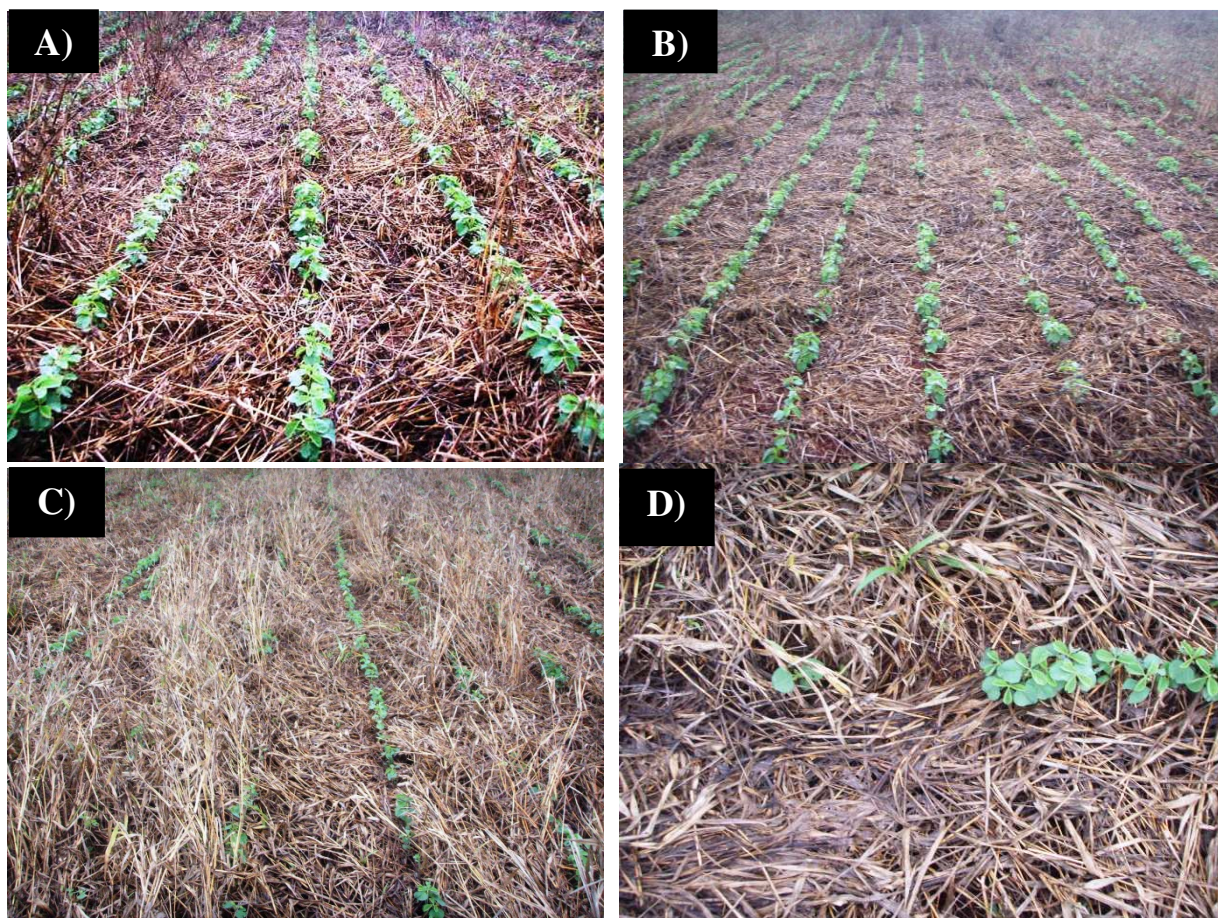


Figura 17. Emergência de plântulas de soja após submissão das áreas a intensidades de pastejo sob sistema de integração lavoura pecuária.

A) Intensidade alta de pastejo; B) Intensidade moderada de pastejo; C) Intensidade baixa de pastejo; D) Plantio direto sem pastejo.

pastejo destacam-se as maiores populações, totalizando uma média de 376320 plantas ha^{-1} . Em seguida se elencam as áreas sob intensidade moderada e intensidade leve de pastejo, onde, posteriormente a esses tratamentos, as médias das populações foram de 349306 e 272222 plantas de soja ha^{-1} , respectivamente. Por fim a área sob plantio direto sem pastejo apresentou menor quantidade de plantas de soja, totalizando uma média de 191667 plantas ha^{-1} .

Esses resultados provavelmente associam-se ao controle da luminosidade e a barreira física imposta pela abundante palhada de *Urochloa ruziziensis* (Figura 7). Dessa forma, para os tratamentos de menores intensidades de pastejo bem como para a área de SP, o microambiente gerado por estes, mesmo após corte da palhada no ato da semeadura, impediu a emergência de plantas devido a aspectos físicos e fisiológicos impostos às sementes e plântulas de soja. Assim foi rejeitada a hipótese de que maiores intensidades de pastejo, em função do pisoteio animal, poderiam restringir a emergência de plantas de soja.

4.6 CONCLUSÕES

As intensidades de pastejo e a cobertura do solo pela *Urochloa Ruziziensis* e *Glycine max L.*, mesmo em épocas sazonais diferentes não influenciaram na forte estabilidade estrutural do Latossolo estudado.

Não foram observadas diferenças entre intensidades de pastejo para os atributos físicos avaliados na última safra, indicando que a melhor intensidade dependerá de outros fatores, tais como a maior produtividade animal.

Quando os atributos avaliados foram inseridos em um processo evolutivo pós implantação do experimento foi verificado que o SILP incrementou qualidade física ao solo.

A emergência das plântulas de soja foi prejudicada pelo aumento da palhada sobre o solo atuando como barreira física e luminosa, e foi beneficiada pelo aumento da intensidade de pastejo.

De acordo com os resultados os sistemas avaliados ainda não se encontram em fase consolidada, assim é sugerido que sejam realizadas futuras avaliações dos atributos físicos para acompanhamento da evolução dessas áreas.

5 CAPÍTULO III

FRAÇÕES OXIDÁVEIS E GRANULOMÉTRICAS DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO SOB SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA- PECUÁRIA EM PLANTIO DIRETO (JATAÍ - GO)

5.1 RESUMO

Os fracionamentos da matéria orgânica do solo (MOS) tem se apresentado mais adequados para avaliar respostas ao manejo conservacionista em curto prazo. Por meio da identificação de formas lábeis e recalcitrantes da MOS se torna possível definir de forma mais imediata, ou até prever se o manejo favorece e/ou favorecerá incrementos ou perdas de carbono no solo. O presente estudo visa avaliar os efeitos das diferentes intensidades de pastejo, bem como do cultivo da soja nas frações oxidáveis e granulométricas da MOS em um sistema de integração lavoura-pecuária associado ao plantio direto (SILP-SPD), implantado em 2009, na Universidade Federal Goiás, GO (17° 56' S e 51° 43' O). Foram coletadas amostras de solo, compostas de três amostras simples, para as profundidades de 0 – 5, 5 – 10, 10 – 20 e 20 – 40 cm. Foi quantificado o carbono orgânico total e o carbono total (CT) por combustão a seco. Foi realizado o fracionamento granulométrico da MOS quantificando o carbono particulado (Cp) e o associado aos minerais (Cam). Também foi realizado o fracionamento oxidável da MOS separando quatro frações com graus crescentes de recalcitrância (F1 < F2 < F3 < F4). O delineamento utilizado foi o de blocos inteiramente ao acaso (DBC), havendo seis repetições. Os atributos foram avaliados em duas épocas distintas: uma pós-ciclo de pastejo (PP) e outra pós-lavoura (PL). Os tratamentos consistiram em intensidades alta (IA), moderada (IM) e baixa (IB) de pastejo, uma área sem pastejo (SP) e uma área de Cerradão (CE). Os teores de CT foram menores na área SP até a profundidade de 10 cm. A área de CE apresentou maiores teores de Cp até a profundidade de 20 cm e maiores teores de Coam em profundidades maiores que 10 cm. Foram verificados baixos índices de manejo de carbono (IMC), obtidos a partir do fracionamento granulométrico, sendo todos menores que 64 %. As frações oxidáveis que responderam melhor ao manejo e/ou sazonalidade foram a fração lábil (F1) e a fração moderadamente lábil (F2). A área de CE apresentou maiores teores da fração pouco resistente (F3) e da fração recalcitrante (F4), quando comparados aos das áreas cultivadas. Para as áreas de cultivo predominaram formas lábeis no carbono no solo (F1 e F2) enquanto isso a área de Cerradão apresentou um balanço mais equitativo das frações oxidáveis. Os índices de labilidade do carbono oxidável (ILCO) foram bastante superiores a 1 nas áreas cultivadas e em profundidade de 0–5 cm indicando maior participação de formas lábeis no carbono, e tiveram valores bem próximos de 1 na profundidade de 5–10 cm indicando melhor balanço entre as frações oxidáveis. A área de IL apresentou os maiores índices de labilidade do carbono (ILCO) e os maiores índices de manejo do carbono (IMC), obtidos a partir do fracionamento oxidável, podendo ser o manejo mais favorável ao sequestro de carbono no solo. O IMC das áreas de cultivo foi superior ao da área de CE na avaliação PP. O Cp e a F1 mostraram respostas opostas a sazonalidade, entretanto o padrão verificado para a F1 foi mais adequado por ser similar ao do COT. A fração lábil (F1) foi sempre maior quando comparada ao Cp. As frações F1, F1+F2 e o Cp se correlacionaram positivamente com o COT ($p = 0,01$), podendo assim ser usadas como indicadoras de qualidade do solo. O fracionamento granulométrico e o fracionamento oxidável da MOS muitas das vezes apresentaram resultados divergentes, entretanto esses resultados são predominantemente complementares detalhando melhor o estudo sobre os impactos do manejo na MOS.

Palavras-chave: *Urochloa ruziziensis*. Intensidades de pastejo. Fracionamento e índice de manejo de carbono.

5.2 ABSTRACT

The fractionation of soil organic matter (SOM) has been shown suitable for assessing responses to conservation management in the short term. Through the identification of labile and recalcitrant SOM forms becomes possible to define a more immediate way, or even predict if management favors and/or promote increments or losses of soil carbon. The present study aims to evaluate the effects of different grazing intensities as well as the cultivation of soybeans in the oxidizable fractions and particle sizes of the SOM in a system of crop-livestock integration associated with no tillage system (CLI-NT), implemented in 2009, at the campus of University Federal of Goiás, Jataí, GO (17° 56' S e 51° 43' W). Soil samples, consisted of three simple samples were collected for depths of 0-5, 5-10, 10-20 and 20-40 cm. Total organic carbon and total carbon (CT) by dry combustion were quantified. Was performed the granulometric fractionation of SOM quantifying the particulate carbon (Cp) and the carbon associated to minerals (Cam). Oxidizable fractionation of SOM was also performed separating four fractions with increasing degrees of recalcitrance (F1<F2<F3<F4). The design was a completely randomized block design (RBD) with six replications. The attributes were evaluated at two different periods: a post-grazing cycle (PG) and other post soybean cultivation (PSC). The treatments consisted of high (HI), moderate (MI) and Low (LI) grazing intensities, an area ungrazed (NG) and an area of Cerradão (CE). In these areas, soybean was planted in the summer, and the cultivation was done with use of no-till (NT). The CT content were lower in the SP area to a depth of 10 cm. The area of CE showed higher levels of Cp to a depth of 20 cm and higher levels of COAM in deeper depths than 10 cm. Low levels of carbon management (CMI), obtained from granulometric fractions were checked, all being smaller than 64%. The oxidizable fractions that responded best to the management and/or seasonality were labile fraction (F1) and moderately labile fraction (F2). The area of CE presented higher concentrations of less labile fraction (F3) and recalcitrant fraction (F4), when compared to the cultivated areas. For croplands predominated the labile soil carbon (F1 and F2) meanwhile the area of Cerradão presented a more equitable balance of oxidizable fractions. The indexes of lability of oxidized carbon (ILOC) were much higher than 1(one) in cultivated areas and at depth 0-5 cm, indicating greater participation of labile carbon, and had values very close to 1 in the depth 5-10 cm, indicating best balance between the oxidizable fractions. The LI area presented the highest degree of lability of carbon (ILOC) and the highest levels of management of carbon (CMI), obtained from the oxidizable fractionation. This management may be handling more favorable conditions to carbon sequestration in soil. The CMI of the agricultural cultivation areas was higher than the area of CE in PG evaluation. The Cp and F1 showed opposite responses to seasonality, however the pattern observed for the F1 was more suitable to be similar to the TOC. The labile fraction (F1) was higher when compared to Cp. The F1, F1+F2 and the Cp fractions were positively correlated with TOC ($p = 0.01$) and can therefore be used as indicators of soil quality. The particle size fractionation and oxidizable fractions of SOM often showed conflicting results, however these results are largely complementary detailing better the study on the impacts of management on SOM.

Keywords: *Urochloa ruziziensis*. Grazing intensities. Fractionation and carbon management index.

5.3 INTRODUÇÃO

O incremento na concentração de CO₂ na atmosfera tem desencadeado interesse em práticas que contribuam com o aumento do sequestro de C em solos sob sistemas agrícolas, com intuito de mitigar as mudanças climáticas e melhorar a qualidade desses solos (Lal, 2004). Por outro lado, um sistema de manejo agrícola inadequado pode promover depleção dos estoques de matéria orgânica do solo (MOS) alterando, prejudicialmente, seus atributos físicos, químicos e biológicos deste (Jakelaitis et al., 2008).

Sistemas contemporâneos de uso simplificado do solo, e somente levando em consideração o aumento da produtividade, ignoram questões de sustentabilidade em longo prazo. Como consequência ocorre baixa ciclagem de nutrientes, poluição das águas, diminuição de biodiversidade, deterioração da qualidade do solo e aumentos da emissão de gases de efeito estufa (Franzluebbbers & Stuedemann, 2013). Nesse contexto, a implantação de sistemas integrados de produção (SILP), substituindo sistemas convencionais de uso do solo e/ou monocultura, pode ser ferramenta estratégica para o sequestro de carbono no solo e redução da emissão de CO₂ (Carvalho et al., 2010b).

Os SILPs são excelentes alternativas para assegurar a expansão da agropecuária sem que seja necessária a abertura de novas áreas, contemplando uma estratégia de baixo carbono (Martha Júnior, 2011) e recuperando áreas degradadas pela agricultura moderna (Loss et al., 2013a). Tal importância é incrementada para a agricultura e pecuária do Bioma Cerrado, uma das maiores áreas agrícolas do mundo, que é fortemente afetada pela flutuação sazonal e atividade antropogênica (Pacheco et al., 2012). Nesse bioma, técnicas inadequadas de uso da terra têm causado rápida degradação das áreas, com perdas de matéria orgânica e nutrientes (Resck et al., 2008).

A MOS é um dos principais indicadores de qualidade do solo para a agricultura no Cerrado. Embora atualmente estejam sendo intensificados os estudos sobre a MOS neste bioma, os mesmos priorizam estoques de carbono orgânico total no solo (est-COT). Estes são inadequados para determinar os melhores usos da terra e práticas de manejo (Loss et al., 2013a) e tem baixa sensibilidade na identificação das mudanças nas formas da MOS em curto prazo (Conceição et al., 2005; Loss et al., 2013a).

A MOS é uma mistura heterogênea de substâncias orgânicas com diferente composição, labilidade e funções no solo (Chan, 2001). Além disso a MOS está em uma constante transformação no solo e devido ao processo de decomposição desta, a mesma se encontra em diversos compartimentos e com diferentes recalcitrâncias, ou seja, frações mais resistentes e frações mais lábeis. Diversos estudos direcionados a avaliação da dinâmica da MOS procuraram analisar a expressão da recalcitrância peculiar que esses compartimentos expressam (Mendonça & Matos, 2005).

Fracionamentos da MOS contribuem para o entendimento da dinâmica da MOS e, além disso, algumas frações da MOS são mais sensíveis, apresentando melhores respostas, ao manejo do solo, ou seja, estas podem ser ferramentas de maior eficiência na avaliação da adequação de agrossistemas. Para solos de clima tropical a importância do estudo dos compartimentos da MOS é enfatizada, pois a matéria orgânica apresenta-se mais lábil que em solos de clima temperado (Rangel et al., 2008).

Nesse contexto diversos fracionamentos da matéria orgânica do solo tem sido realizados com intuito de melhor entender as implicações na dinâmica da MOS, provenientes dos impactos causados pelo manejo, dentre estes destacam-se: (i) o fracionamento granulométrico da MOS (Bayer et al., 2004; Loss et al., 2013a) que separa o carbono orgânico particulado (COP), fração da matéria orgânica do tamanho da areia (53–2000 µm) e que é composto principalmente por fragmentos de raízes em vários estágios de decomposição (Cambardella & Elliot, 1992; Chan, 2001); (ii) o fracionamento oxidável da MOS (Rangel et

al., 2008; Barreto et al., 2011;) que separa quatro frações da MOS por meio de graus decrescentes de oxidação, com graus crescentes de recalcitrância (Chan et al., 2001);

Diante do exposto este trabalho visa utilizar as frações oxidáveis e granulométricas da MOS na avaliação dos impactos provenientes do manejo da intensidade de pastejo e da cobertura vegetal, em sistema de integração lavoura-pecuária no Cerrado goiano.

5.4 MATERIAL E MÉTODOS

5.4.1 Localização, clima e solo da área de estudo

A descrição da área de estudo está apresentada no item 3.2.1 do Capítulo I.

5.4.2 Sistemas avaliados e histórico de uso

A descrição dos sistemas avaliados e histórico de uso está apresentada no item 3.2.2 do Capítulo I.

5.4.3 Coleta de amostras

A descrição do método de amostragem está apresentada no item 3.2.3 do Capítulo I.

5.4.4 Carbono orgânico total (COT)

O carbono orgânico total (COT) do solo foi determinado por meio da via úmida, sendo adotado o método descrito por Yeomans & Bremner (1988).

5.4.5 Carbono total (C)

Os teores de carbono total (C) foram obtidos pelo método de combustão à seco em um autoanalisador de C e N, à 900 °C (CHN-600 Carlo Erba EA 1110-Itália).

5.4.6 Fracionamento granulométrico da matéria orgânica do solo

Foi realizado o fracionamento físico granulométrico da matéria orgânica do solo (Cambardella & Elliot, 1992). Foram pesados 10 g de solo e adicionados 30 mL de solução de hexametáfosfato de sódio (5g L⁻¹). As amostras foram agitadas durante 15 horas em agitador horizontal. Em seguida, a suspensão foi tamisada em peneira de 53 µm com auxílio de jato de água.

O material retido na peneira foi seco em estufa a 50°C e quantificada a massa do mesmo (fração areia). Foi quantificado carbono contido na areia pelo método de combustão à seco em um autoanalisador de C e N, à 900 °C (CHN-600 Carlo Erba EA 1110-Itália).

Posteriormente foram realizados os cálculos para diluir os teores de C contidos na areia para o solo, quantificando-se assim o carbono particulado (Cp).

$$C_p = C_{\text{areia}} \times (\text{areia}/10)$$

Em que: C_{areia} é o carbono contido na fração areia pós tamisamento e secagem (g kg⁻¹)
areia é a massa retida na peneira de 53 µm em gramas

O material orgânico que passou pela peneira de 53 µm, consistiu no carbono associado aos minerais (Cam) das frações silte e argila, e foi obtido por diferença entre o C e C_{op}.

5.4.7 Fracionamento oxidável da matéria orgânica do solo

O fracionamento do carbono foi feito por graus de oxidação (Chan et al., 2001). Amostras de 0,3 g de solo foram acondicionadas em erlenmeyer de 250 mL, adicionando 10 mL K₂Cr₂O₇ 0,167 mol L⁻¹ e quantidades de H₂SO₄, correspondentes às concentrações de 3, 6, 9 e 12 mol L⁻¹. A oxidação foi realizada sem fonte externa de calor e a titulação dos extratos foi feita com uma solução de Fe(NH₄)₂(SO₄)₂.6H₂O 0,5 mol L⁻¹. O indicador utilizado foi a fenantrolina. Foram obtidas quatro frações de carbono, com graus decrescentes de oxidação:

-Fração 1 – fração lábil (F1): C oxidado por $K_2Cr_2O_7$ em meio ácido de 3 mol L^{-1} de H_2SO_4 ;

-Fração 2 - fração moderadamente lábil (F2): diferença do C oxidado por $K_2Cr_2O_7$ em meio ácido com 6 e 3 mol L^{-1} de H_2SO_4 ;

-Fração 3 – fração pouco lábil (F3): diferença do C oxidado por $K_2Cr_2O_7$ em meio ácido com 9 e 6 mol L^{-1} de H_2SO_4 ;

-Fração 4 – fração resistente ou recalcitrante (F4): diferença do C oxidado por $K_2Cr_2O_7$ em meio ácido com 12 e 9 mol L^{-1} de H_2SO_4 .

5.4.8 Índices de manejo de carbono (IMC)

Para o fracionamento oxidável da MOS a soma do teor de C nas frações F1 e F2 foi considerada como carbono lábil (CL) do solo, enquanto que o carbono não lábil (CNL) foi obtido por diferença (CNL = C - CL). Já para o fracionamento granulométrico o CL foi o C_p e o CNL foi o C_{am} .

Os índices de estoque de carbono tiveram como base as variações nos estoques de C (fracionamento granulométrico) e do COT (fracionamento oxidável) da área de referência (Cerradão) e nos estoques destes das áreas cultivadas, sendo realizados os seguintes passos:

- (i) Cálculo dos estoques de C ou COT de acordo com Freixo et al. (2002):

$$\text{EstC} = (C \times D_s \times e)/10 \quad \text{ou} \quad \text{EstCOT} = (\text{COT} \times D_s \times e)/10$$

Onde: EstC ou EstCOT representam o carbono acumulado ($Mg \text{ ha}^{-1}$)

C são os teores de carbono total na camada avaliada ($g \text{ kg}^{-1}$)

COT são os teores de carbono orgânico total na camada avaliada ($g \text{ kg}^{-1}$)

D_s é a densidade do solo ($Mg \text{ m}^{-3}$)

e representa a espessura da camada em cm.

(ii) O índice de estoque de carbono (IEC) foi calculado a partir da relação dos estoques de carbono de cada área cultivada com a área de referência (Cerradão).

(iii) A labilidade da MOS foi determinada pela razão entre o CL e o CNL.

(iv) O índice de labilidade (IL) foi obtido a partir da relação da labilidade de cada área cultivada com a labilidade da área de referência.

(v) O índice de manejo de carbono (IMC) foi obtido pela multiplicação $\text{IEC} \times \text{IL} \times 100$ (Blair et al., 1995).

5.4.9 Análises estatísticas

As análises estatísticas estão descritas no item 3.2.9 do capítulo I.

5.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.5.1 Fracionamento granulométrico da matéria orgânica do solo

Os teores do carbono total (CT) foram maiores para a área de cerradão em todas as profundidades para todas as áreas em ambas as épocas avaliadas (Tabela 15).

Tabela 15. Carbono total (CT), carbono associado aos minerais (Cam), carbono particulado (Cp) em uma área com vegetação natural (Cerradão) e áreas com sistema de integração lavoura-pecuária submetido a intensidades de pastejo em plantio direto.

	CT		Cam		Cp	
	-----g kg ⁻¹ -----					
	0-5 cm					
	PP	PL	PP	PL	PP	PL
CE	40,67 Aa	41,27 Aa	34,49 Aa	36,63 Aa	6,18 Aa	4,63 Ab
SP	28,10 Ba	21,38 Bb	24,07 Aa	19,05 Ba	4,03 Ba	2,32 Ba
IA	27,32 Ba	28,80 Aba	23,70 Aa	26,25 Ba	3,62 Ba	2,55 Ba
IM	27,45 Ba	27,60 Aba	23,79 Aa	25,17 Ba	3,66 Ba	2,43 Ba
IB	27,00 Ba	27,27 Aba	23,52 Aa	24,52 Ba	3,48 Ba	2,75 Ba
	CV(1): 25,45		CV(1): 26,88		CV(1): 32,52	
	CV(2): 15,03		CV(2): 15,04		CV(2): 43,26	
	5 – 10 cm					
CE	33,27 Aa	30,95 Aa	29,02 Aa	27,66 Aa	4,25 Aa	3,29 Ab
SP	25,55 Ba	23,13 Ba	23,18 Aa	21,00 Aa	2,37 Ba	2,13 Ba
IA	26,27 ABa	30,45 Aa	23,80 Aa	28,47 Aa	2,47 Ba	1,98 Ba
IM	25,87 ABa	26,42 Aba	23,49 Aa	24,06 Aa	2,38 Ba	2,35 ABa
IB	25,28 Ba	24,83 Aba	23,36 Aa	22,85 Aa	1,92 Ba	1,98 Ba
	CV 1: 14, 84		CV(1): 15,83		CV(1): 29,29	
	CV2: 9,03		CV(2): 16,86		CV(2): 22,48	
	10 – 20 cm					
CE	30,40 Aa	28,85 Aa	26,59 Aa	25,66 Aa	3,81 Aa	3,19 Aa
SP	22,08 Ba	20,45 Ba	19,72 Ba	18,48 Ba	2,36 Ba	1,97 Ba
IA	22,58 Ba	21,60 Ba	20,86 Ba	19,99 Ba	1,72 Ba	1,61 Ba
IM	22,28 Ba	21,88 Ba	20,42 Ba	19,99 Ba	1,87 Ba	1,89 Ba
IB	20,90 Ba	21,15 Ba	19,15 Ba	19,51 Ba	1,75 Ba	1,64 Ba
	CV 1: 12,27		CV(1): 11,72		CV(1): 28,43	
	CV2: 9,71		CV(2): 9,36		CV(2): 24,43	
	20 – 40 cm					
CE	26,28 Aa	25,52 Aa	23,27 Aa	22,79 Aa	3,01 Aa	2,72 Aa
SP	19,10 Ba	19,35 Ba	17,46 Ba	16,57 Ba	1,64 Aa	2,78 Aa
IA	18,50 Ba	18,97 Ba	16,88 Ba	17,64 Ba	1,62 Aa	1,33 Aa
IM	18,40 Ba	17,47 Ba	16,22 Ba	16,11 Ba	2,18 Aa	1,36 Aa
IB	17,77 Ba	16,57 Ba	15,36 Ba	15,21 Ba	2,41 Aa	1,36 Aa
	CV 1: 11,66		CV(1): 14,61		CV(1): 41,16	
	CV2: 13,18		CV(2): 15,95		CV(2): 47,89	

Valores seguidos por letras maiúsculas iguais na coluna e minúsculas iguais na linha não diferem significativamente pelo teste t de Tukey a 5%. PP: avaliação pós-pastejo e PL: avaliação pós-lavoura. CV(1)= coeficiente de variação entre tratamentos (%), CV(2)= coeficiente de variação entre épocas (%). IA: intensidade alta de pastejo; IM: intensidade moderada de pastejo; IB: intensidade baixa de pastejo e SP: área sem pastejo.

Os teores de CT para as áreas cultivadas variaram de 65 a 80% do C da área de Cerradão, exceto para a profundidade de 5-10 cm na época PL onde esses valores foram maiores que 80 %. Tais resultados indicam que, embora tenha se adotado um manejo conservacionista para as áreas cultivadas o tempo de implantação desse tipo de manejo ainda não foi suficiente para promover um aumento do conteúdo de CT, com valores próximos aos observados na área de Cerradão.

As reduções no conteúdo de carbono podem promover diminuições na produtividade. Segundo Wander (2004), é importante que não ocorram perdas de C no solo pois estas, mesmo em solos adequadamente fertilizados significam perda de produtividade e eficiência agroecossistêmica.

Para que ocorra a consolidação do sistema de plantio direto (SPD), segundo Neto et al. (2007) é necessário um período de no mínimo nove anos. Assim quando o sistema se consolida atributos físicos, químicos e biológicos entram em equilíbrio, incrementando principalmente a ciclagem de nutrientes e muito provavelmente os conteúdos de MOS. Considerando que os sistemas de manejo do estudo foram implantados em 2009, sobre área anteriormente degradada, essas áreas ainda se encontram em processo de recuperação. Assim é esperado que futuramente ocorra o incremento dos teores de carbono, sugerindo-se assim que sejam realizadas avaliações posteriores a este estudo nas áreas, para que seja monitorada a dinâmica da matéria orgânica do solo (MOS).

Para os teores de CT não foram verificadas variações sazonais na área de Cerradão, porém foram observados menores teores de carbono particulado (Cp) na época chuvosa (PL) até a profundidade de 10 cm. O carbono orgânico particulado (C_{op}) é procedente da MOS do tamanho areia (Cambardella e Elliot, 1992) e pode apresentar-se mais sensível, quando comparado ao COT, às práticas de manejo (Chan, 2001; Freixo et al., 2002; Conceição et al., 2005; Loss et al., 2013b) ou mesmo à sazonalidade (Batista et al., 2013b) e ser ferramenta chave para avaliação dos impactos de diferentes sistemas em curto prazo.

Nesse estudo tomou como pressuposto que o carbono particulado (Cp) obtido por meio da análise elementar de combustão à seco não é diferente do carbono orgânico particulado (C_{op}) para as áreas avaliadas. Foi considerado que: (i) no solo da área de referência (Cerradão) não há histórico de queimadas; (ii) nas áreas de manejo, mesmo havendo a possibilidade de haver presença de carvão, a queimada homogênea no momento da implantação agrícola realizada há pelo menos 25 anos, não acarretaria em diferenças entre as áreas de manejo avaliadas. (iii) as baixas ou ausentes concentrações de carbonatos no solo avaliado, não interfeririam nos teores do carbono particulado.

Em época com maiores temperaturas e umidade sob condição natural do Cerradão, que coincide com a época PL, ocorrem, em paralelo: elevadas taxas de adição de MOS, devido a elevada produção de biomassa nesse período; e acelerada decomposição dessa MOS, devido a maior atividade dos organismos decompositores, seja a fauna (Batista, 2011; Batista et al., 2013) ou os microrganismos (Leite et al., 2010) do solo.

A área de Cerradão apresentou os maiores teores de Cp até a profundidade de 20 cm em ambas as épocas avaliadas. Para a profundidade de 20–40 cm não foram verificadas diferenças para o Cp, entretanto nesta profundidade a área de Cerradão apresentou os maiores teores de carbono associado aos minerais (Cam). Por meio de tais resultados pode ser inferido que:

(i) A área de Cerradão no presente momento provavelmente tem dinâmica mais favorável ao sequestro de carbono no solo que as áreas cultivadas, pois apresenta maiores teores de matéria orgânica lábil e de matéria orgânica recalcitrante para a maioria das profundidades nas épocas avaliadas;

(ii) Nas camadas superficiais a maior eficiência em detectar impactos do manejo está centrada no Cp pois fornece respostas às adições recentes da matéria orgânica lábil, podendo ocorrer mudanças anuais em seus teores (West & Six, 2007).

(iii) O Cam parece ser mais eficiente em fornecer respostas em longo prazo, salientando que os sistemas de manejo ainda não estão contribuindo significativamente com os estoques de carbono nas formas recalcitrantes, principalmente para as profundidades maiores que 10 cm.

Embora tenham sido encontradas algumas tendências, não foram verificadas diferenças entre a área SP e as áreas pastejadas quando são comparadas as frações granulométricas (Cam e Cp). Entretanto para o CT da área de SP na época pós agricultura foram observados os menores valores até profundidade de 10 cm, e na época pós pastejo até a profundidade de 5–10 cm. Diante disso é necessário que o fracionamento seja sempre acompanhado dos teores totais de carbono, pois neste estudo as frações granulométricas, principalmente o Cam, tenderam a serem menores na área de SP, e com a soma de seus efeitos foram detectadas diferenças nos teores de CT.

Os resultados desse estudo são predominantemente contrastantes aos verificados na literatura, onde o carbono particulado é o que apresenta as maiores respostas aos tratamentos e ao manejo em geral. Estudando um experimento de longa duração em Dourados Salton (2005) verificou que o compartimento que apresentou melhor resposta ao tempo de instalação do SILP foi à matéria orgânica particulada. Resultados semelhantes aos obtidos por Salton (2005) na literatura são muitos, dentre eles destacam-se os de Bayer et al. (2004); Nicoloso (2005); Conceição et al. (2005); Loss et al. (2011); Loss et al. (2013b).

Assim pode haver duas justificativas plausíveis pela ausência de diferenças nos teores de Cp e diferentes teores de no CT verificados nas áreas manejadas: (i) o experimento é recente, implantado em uma área anteriormente degradada, sujeito a dinâmica imposta pelo clima tropical, sendo o solo relativamente deficiente em nutrientes e com boa drenagem, fatores esses que aceleram a transformação do carbono de formas mais lábeis para formas mais recalcitrantes no solo; (ii) as áreas pastejadas podem estar favorecendo maior adição de material orgânico via raízes, o que favorece posterior estoque de C de forma mais eficiente quando estas áreas são comparadas à área SP.

Segundo Wander (2004) diante de vários estudos em solos tropicais, sob condições químicas, físicas e biológicas favoráveis a decomposição, após o período de um ano pode restar cerca de apenas um terço do carbono inicialmente adicionado. Essas condições não se aplicam para o SILP-PD, pois nesse sistema além da cobertura permanente do solo, quando a forrageira é submetida ao pastejo, seu sistema radicular é renovado. Devido a isso há incremento frequente e direto de carbono no solo, e este está menos sujeito a perdas quando comparado ao carbono adicionado na superfície (Rasse et al., 2005).

A palhada do solo está mais exposta à ação das intempéries climáticas, onde, em período de elevada umidade e temperatura a atividade biológica é acelerada e o processo de decomposição favorecido. Segundo Rasse et al. (2005) o C proveniente de raízes permanece no solo cerca de 2,4 vezes mais que o C derivado da parte aérea, e o carbono incorporado no solo pelas raízes é cerca de 30% maior que pela parte aérea.

Assim, na camada superficial da área SP houve balanço negativo de C, da época PP para a época PL, sendo verificados menores teores em época PL. Em paralelo, na profundidade de 5-10 cm foi observado que as áreas com maiores intensidades de pastejo apresentaram os maiores teores de CT para ambas as épocas avaliadas. O pastejo influencia a dinâmica da matéria orgânica de forma diferenciada, pois acelera a ciclagem e reciclagem de nutrientes (Anghinoni et al., 2013). O animal adicono esterco ao solo, o qual é mais rapidamente mineralizado, pois apresenta relação C/N em torno de 20:1 (Whitehead, 2000) e

além disso quando pasteja favorece maior adição de carbono por meio da renovação do sistema radicular da pastagem (Martins, 2013).

De acordo com Nicoloso et al. (2008) quantificar o carbono total ou suas frações no solo não fornece valores extrapoláveis para diferentes situações de manejo, locais, climas e solos. Dessa forma o índice de manejo de carbono (IMC) integra dentro de uma mesma medida variações ocorridas em diferentes frações da MOS (Nicoloso et al., 2008; Schiavo et al., 2011) permitindo, por meio desta, avaliar se o manejo favorece a perda ou o ganho de qualidade do solo (Souza et al., 2009).

O IMC é uma medida relativa de alterações provocadas pelo manejo, quando comparadas a uma condição original (área de referência), sendo os índices de estoque de carbono (IEC) e índice de labilidade da MOS (IL) complementares na avaliação dos impactos promovidos pelo manejo na dinâmica da MOS (Blair et al., 1995; Loss et al., 2011b).

A concentração de matéria orgânica lábil, de acordo com o fracionamento granulométrico, é maior para o período PP, principalmente na profundidade de 0–5 cm (Tabela 16). Para a época PP a labilidade da MOS é maior na camada superficial, quando comparada a subsuperficial, o que não é observado para a época PL. Parece haver influência da braquiária, principalmente para a camada de 0-5 cm, na adição de matéria orgânica lábil ao solo, seja via palhada ou raízes, sendo posteriormente decomposta e provavelmente há menor aporte de C no solo via a cultura da soja, o que desfavorece a concentração de formas lábeis de carbono na MOS.

Os valores IEC da profundidade de 5–10 cm, foram menores na época PL. Nessa época tem-se maior disponibilidade hídrica, que além de beneficiar a atividade biológica do solo aumenta a produção de biomassa e pode favorecer sequestro de carbono. Nessa época a área de Cerradão expressa ao máximo esses fatores incrementando os teores de carbono ao solo. Enquanto isso nas áreas de cultivo a soja reduz o aporte de C, pois a palhada e o sistema radicular produzidos por essa cultura são menores quando comparados aos da braquiária na época de inverno. Sabe-se que objetivo do cultivo da braquiária é produzir forragem e/ou palhada, em contrapartida a soja é melhorada geneticamente para elevar a produção exclusiva de grãos, e não a produção de biomassa.

A área de SP, embora tenha apresentado maior L e IL, apresentou menores estoques de C e menores IEC. Fato esse que reforça que os índices devem ser analisados de forma conjunta, pois maior IL não significa necessariamente maiores estoques de MOS ou vice e versa. Diante disso o IMC integra esses índices e as variações ocorridas nas diferentes frações da MOS em uma única ferramenta (Loss et al., 2011b). Nesse estudo não foram verificadas diferenças entre os cultivos no IMC, indicando que quando a análise das frações da MOS é feita de forma conjunta as áreas cultivadas apresentam padrão similar.

O que pode ser verificado, no entanto, é o baixo IMC das áreas cultivadas, com valores entre 44 % a 63 %. Assim, por meio do fracionamento granulométrico da MOS e do IMC pode ser afirmado que o manejo pode não ter disposto de tempo suficiente para que sequestro de carbono das áreas cultivadas pudesse se equiparar ou mesmo superar a condição natural da área de referência. De acordo com esses resultados é sugerido que sejam realizadas futuras avaliações nas áreas para acompanhamento da evolução da dinâmica da MOS. Salienta-se que os sistemas são recentes e uma avaliação singular dessas áreas pode não representar as respostas pós longo prazo de implantação.

Tabela 16. Estoques de carbono (EstC), índice de estoque de carbono (IEC), labilidade da matéria orgânica do solo (L), índice de labilidade da matéria orgânica do solo (IL) e índice de manejo de carbono (IMC) utilizando o fracionamento granulométrico em sistema de integração lavoura-pecuária submetido a intensidades de pastejo em plantio direto.

	EstC		IEC		L		IL		IMC	
	0-5 cm									
	PP	PL	PP	PL	PP	PL	PP	PL	PP	PL
CE	20,38	20,71	1,00	1,00	0,21	0,14	1,00	1,00	100	100
SP	16,31 Aa	10,91 Bb	0,80 Aa	0,53 Bb	0,17 Aa	0,12 Ab	0,79 Ab	0,90 Aa	62,65 Aa	46,71 Aa
IA	15,99 Aa	15,84 Aa	0,78 Aa	0,76 Aa	0,15 Aa	0,10 Ab	0,72 Aa	0,72 Ba	56,25 Aa	54,18 Aa
IM	16,14 Aa	15,03 Aa	0,79 Aa	0,73 Aa	0,15 Aa	0,10 Ab	0,73 Aa	0,71 Ba	58,13 Aa	50,78 Aa
IB	15,76 Aa	16,15 Aa	0,77 Aa	0,78 Aa	0,15 Aa	0,11 Ab	0,71 Aa	0,81 Ba	54,30 Aa	63,65 Aa
	CV(1): 8,56		CV(1): 8,59		CV(1): 31,48		CV(1): 29,44		CV(1): 32,26	
	CV(2): 11,05		CV(2): 11,02		CV(2): 27,61		CV(2): 26,73		CV(2): 26,95	
	5-10 cm									
CE	16,19	19,59	1,00	1,00	0,14	0,12	1,00	1,00	100	100
SP	13,81 Aa	13,26 Aa	0,85 Aa	0,68 Ab	0,10 Aa	0,10 Aa	0,71 Ab	0,86 Aa	60,50 Aa	58,04 Aa
IA	14,38 Aa	13,67 Aa	0,89 Aa	0,70 Ab	0,10 Aa	0,07 Bb	0,72 Aa	0,63 Ba	64,14 Aa	44,13 Ab
IM	13,79 Aa	13,90 Aa	0,85 Aa	0,71 Ab	0,10 Aa	0,10 Aba	0,70 Ab	0,82 ABa	59,89 Aa	58,33 Aa
IB	14,01 Aa	13,32 Aa	0,87 Aa	0,68 Ab	0,08 Aa	0,09 Aba	0,57 Ab	0,73 ABa	49,89 Aa	49,62 Aa
	CV(1): 9,03		CV(1): 9,64		CV(1): 17,96		CV(1): 18,00		CV(1): 19,58	
	CV(2): 8,98		CV(2): 9,38		CV(2): 17,34		CV(2): 17,48		CV(2): 21,21	

Valores seguidos por letras maiúsculas iguais na coluna e minúsculas iguais na linha não diferem significativamente pelo teste t de Tukey a 5%.; PP: avaliação pós-pastejo e PL: avaliação pós-lavoura. CV(1)= coeficiente de variação entre tratamentos (%), CV(2)= coeficiente de variação entre épocas (%). IA: intensidade alta de pastejo; IM: intensidade moderada de pastejo; IB: intensidade baixa de pastejo e SP: área sem pastejo. Obs: a área de Cerradão foi utilizada como referência.

Em seu estudo sobre frações lábeis e recalcitrantes da MOS sob SILP em Maracaju, Silva et al. (2011) corroboram com os resultados aqui observados. Os autores verificaram menores teores de IMC para a área de ILP com quatro anos ao comparar com SPD de longa duração e ILP de 8 anos de implantação. Os autores também constataram que pós oito anos de implantação do SILP os IMC não se diferenciaram da área de Cerradão, entretanto com quatro anos de implantação do SILP o IMC foi 66 %.

5.5.2 Fracionamento oxidável da matéria orgânica do solo

Os sistemas de manejo que adicionam MOS ao solo por meio de resíduos vegetais promovem incremento da fração lábil da matéria orgânica do solo (F1) (Chan et al., 2001; Loss et al., 2013b), sendo o cultivo da *Urochloa ruziziensis* sob ou sem pastejo favorável o incremento dos teores de carbono orgânico (COT) no solo. Neste estudo, na camada de 0-5 cm os teores da fração F1 das áreas cultivadas não diferiram da área de Cerradão em avaliação pós pastejo. Para o COT, em ambas as épocas e profundidades avaliadas a área de Cerradão apresentou os maiores teores de carbono.

O sistema radicular das espécies do gênero *Urochloa sp.* tem sido apontado como grande responsável por incrementos nas frações mais lábeis da MOS sob sistemas conservacionistas de uso do solo (Loss, 2011). Neste estudo, embora algumas vezes não tenha sido verificada diferença estatística, todas as áreas, com destaque para as pastejadas, tenderam a incrementar teores da F1 na época PL. Pode ser inferido que a palhada depositada sobre o solo no período de pastejo (período seco) é incorporada pela biota do solo, que também é material orgânico lábil, durante o cultivo agrícola (período chuvoso), mais favorável a sua atividade, aumentando em primeira instância as frações mais lábeis da MOS.

Para a profundidade de 0–5 cm a fração F1 parece seguir o mesmo padrão observado para o COT. As áreas de Cerrado e de pastejo com intensidade leve tiveram menores teores da F1 na época PP, e o mesmo ocorreu para o COT. Estudando sistemas de manejo de um Latossolo em Goiás, Guareschi et al. (2013) verificaram que não ocorreram diferenças para a razão F1/COT entre as diferentes áreas avaliadas. Dessa forma, os autores inferiram que para esta profundidade a fração F1 é mais sensível em demonstrar as mudanças provenientes do manejo e está altamente correlacionada com o COT do solo.

Para a profundidade de 0 -5 cm, e com destaque para a época PP, a área de Cerrado apresentou menor participação da fração F1 no COT, quando comparada as áreas manejadas (Figura 23). A área de SP, seguida da área de IB parecem ter a maior participação dessa fração nos teores de COT em ambas as épocas avaliadas. Tais resultados mostram que o manejo está favorecendo a adição de carbono lábil ao solo pois as áreas cultivadas apresentam maior percentual da F1 no COT, e dentro de cada área cultivada os percentuais da F1 são maiores quando são comparados aos das demais frações oxidáveis.

Para as frações mais recalcitrantes, pouco lábil (F3) e fração resistente (F4), não foram verificadas diferenças entre as duas épocas avaliadas para todas profundidades e áreas avaliadas. Dessa forma tais frações são menos sensíveis às mudanças em curto prazo, perante impactos do manejo e/ou sazonalidade. Nos modelos de simulação da dinâmica da MOS a fração F4 apresenta um tempo de ciclagem de até 2000 anos (Chan et al., 2001; Loss et al., 2010). As frações mais humificadas e recalcitrantes da matéria orgânica desempenham papel essencial no que diz respeito a reserva de nutrientes para as plantas, estabilidade química de microagregados no solo (Zech et al., 1997), sequestro de carbono, sorção, capacidade de troca de cátions e capacidade de retenção de água no solo (Wander, 2004).

Tabela 17. Carbono orgânico total (COT), fração muito facilmente oxidável (F1), fração facilmente oxidável (F2), fração moderadamente oxidável (F3), fração resistente (F4) e taxa de recuperação do fracionamento oxidável (TR) em uma área com vegetação natural (Cerradão) e áreas com sistema de integração lavoura-pecuária submetido a intensidades de pastejo em plantio direto.

	COT		F1		F2		F3		F4		TR	
	-----g kg ⁻¹ -----											%
	0-5 cm											
	PP	PL	PP	PL	PP	PL	PP	PL	PP	PL	PP	PL
CE	37,30 Ab	43,93 Aa	8,13 Ab	13,83 Aa	7,49 Aa	9,02 Aa	10,20 Aa	7,71 Aa	10,68 Aa	8,47 Aa	98	89
SP	24,33 Ba	24,76 Ba	9,12 Aa	9,32 Ba	4,85 Aa	5,01 Aa	3,09 Ba	3,13 Ba	4,94 Ba	5,96 ABa	90	95
IA	23,21 Ba	25,78 Ba	7,65 Aa	8,47 Ba	5,69 Aa	5,26 Aa	5,33 Ba	5,58 ABa	2,81 Ba	4,88 Ba	92	94
IM	24,79 Ba	25,26 Ba	7,99 Aa	8,43 Ba	5,47 Aa	5,67 Aa	4,61 Ba	3,87 Ba	5,20 Ba	5,14 Ba	94	92
IB	23,37 Bb	24,08 Ba	7,71 Ab	9,00 Ba	4,96 Aa	5,77 Aa	4,81 Ba	3,97 Ba	4,23 Ba	4,72 Ba	93	97
	CV(1): 22,81		CV(1): 23,79		CV(1): 47,92		CV(1): 21,19		CV(1): 24,40			
	CV(2): 13,38		CV(2): 16,16		CV(2): 33,98		CV(2): 33,54		CV(2): 37,82			
	5 – 10 cm											
CE	31,09 Ab	37,42 Aa	8,60 Aa	9,48 Aa	6,01 Aa	6,62 Aa	6,88 Aa	6,40 Aa	7,62 Aa	7,84 Aa	94	82
SP	22,87 Ba	22,02 Ba	6,44 Ba	7,53 Ba	5,08 Aa	3,98 Aa	4,43 Ba	3,85 Ba	5,75 ABa	5,25 ABa	95	94
IA	23,48 Ba	23,64 Ba	6,13 Bb	8,65 ABa	5,42 Aa	3,47 Ab	6,58 ABa	5,89 ABa	3,78 Ba	4,06 Ba	94	93
IM	23,01 Ba	23,44 Ba	5,49 Bb	8,79 ABa	5,74 Aa	3,51 Ab	4,83 ABa	5,09 ABa	4,21 Ba	4,62 Ba	88	94
IB	22,95 Ba	22,22 Ba	6,93 ABb	8,74 ABa	5,19 Aa	3,59 Ab	4,01 Ba	4,34 ABa	4,01 Ba	4,05 Ba	88	93
	CV(1): 14,34		CV(1): 10,02		CV(1): 31,01		CV(1): 23,66		CV(1): 30,63			
	CV(2): 9,56		CV(2): 15,83		CV(2): 25,53		CV(2): 28,36		CV(2): 29,29			

Valores seguidos por letras maiúsculas iguais na coluna e minúsculas iguais na linha não diferem significativamente pelo teste t de Tukey a 5%. Ordem 3: raízes retidas na peneira de 2 mm; Ordem 2: raízes retidas na peneira de 1 mm; Ordem 1: raízes retidas na peneira de 0,5 mm; PP: avaliação pós-pastejo e PL: avaliação pós-lavoura. CV(1)= coeficiente de variação entre tratamentos (%), CV(2)= coeficiente de variação entre épocas (%). IA: intensidade alta de pastejo; IM: intensidade moderada de pastejo; IL: intensidade baixa de pastejo e SP: área sem pastejo.

As frações F3 e F4 apresentam respostas ao manejo em longo prazo, necessitando de, pelo menos, um período de 10 a 15 anos para haver incrementos significantes (Guareschi et al., 2013). Assim nesse estudo ainda predominam os impactos causados pelo longo período de práticas favoráveis a degradação, de pelo menos 20 anos anteriores a implantação do experimento, que ocorreu em 2009. Tais impactos podem ser comprovados pelos maiores teores das frações F3 e F4 da área de Cerradão, quando comparada às áreas de manejo, em ambas as épocas e profundidades.

Maiores teores das frações recalcitrantes em área não antropicamente perturbada também evidenciam o acúmulo, em longo prazo, de compostos orgânicos de maior estabilidade química e alto peso molecular, oriundos da decomposição e humificação da MOS (Rangel et al., 2008). De acordo com Guareschi et al. (2013), é necessário um longo período para incremento das frações F3 e F4, principalmente para as condições edafoclimáticas do Cerrado.

Quando se objetiva comparar as áreas de manejo entre si, havendo cinco tratamentos (CE, SP, IA, IM e IB), além das duas épocas avaliadas (PP e PL), sendo quantificadas quatro frações oxidáveis da MOS (F1, F2, F3 e F4), a interpretação dos resultados é dificultada. O número de inter-relações é grande e como foram verificadas diferenças para todos esses fatores de variação a análise dos resultados deste estudo foi realizada de acordo com os seguintes passos: (i) quantificação da participação percentual das frações da MOS no carbono orgânico do solo, separadamente para as épocas e profundidades avaliadas (Figuras 23 e 24); (ii) razão entre as frações mais lábeis (F1 e F2) e as mais recalcitrantes (F3 e F4) da MOS em um único índice, proposto por Loss (2011), objetivando comparar esse balanço, bem como labilidade do carbono no solo nas diferentes áreas e épocas (Figura 25); e o cálculo do índice de manejo de carbono (IMC) para o fracionamento oxidável da MOS (Guareschi et al., 2013) considerando a soma da fração F1 e F2 como carbono lábil e a diferença entre o COT e a F1+F2 como carbono não lábil (Tabela 17).

Para a profundidade de 0 -5 cm, e com destaque para a época PP, a área de Cerrado apresentou menor participação da fração F1 no COT, quando comparada as áreas manejadas (Figura 18). A área de SP, seguida da área de IB parecem ter a maior participação dessa fração nos teores de COT em ambas as épocas avaliadas. Tais resultados mostram que o manejo está favorecendo a adição de carbono lábil ao solo pois as áreas cultivadas apresentam maior percentual da F1 no COT, e dentro de cada área cultivada os percentuais da F1 são maiores quando são comparados aos das demais frações oxidáveis.

Os manejos que promovem o aporte de matéria orgânica do solo tem maior proporção da F1 no COT (Chan et al., 2001; Rangel et al., 2008; Loss, 2011; Barreto et al., 2011; Loss et al., 2014) que pode ser indicador de sustentabilidade do sistema. Frações mais lábeis podem estar correlacionadas com a produtividade das culturas (Loss et al., 2014), pois além de serem fontes de nutrientes, participam das reações químicas e biológicas do solo, atuando como fonte de energia para os componentes vivos da MOS (Wander, 2004).

O primeiro fator a que se destaca nas Figuras 18 e 19 é a distribuição percentual mais equitativa das quatro frações oxidáveis no COT na área de Cerradão em ambas as épocas e profundidades avaliadas, demonstrando que nessa área o sistema é mais estável e sustentável quando comparado as áreas de manejo.

O objetivo em qualquer sistema é que haja um balanço equitativo, onde as frações mais lábeis (F1 e F2), que são matéria orgânica mais facilmente decomponível, contribuam em com a disponibilidade de nutrientes e formação de macroagregados (Blair et al., 1995; Chan et al., 2001; Loss, 2011) e outra parte mais resistente no solo (F3 e F4) contribui para melhoria e/ou manutenção dos atributos físicos do solo e liberação mais lenta de nutrientes (Chan et al., 2001; Zech et al., 2007; Loss et al., 2010; Guareschi et al., 2013).

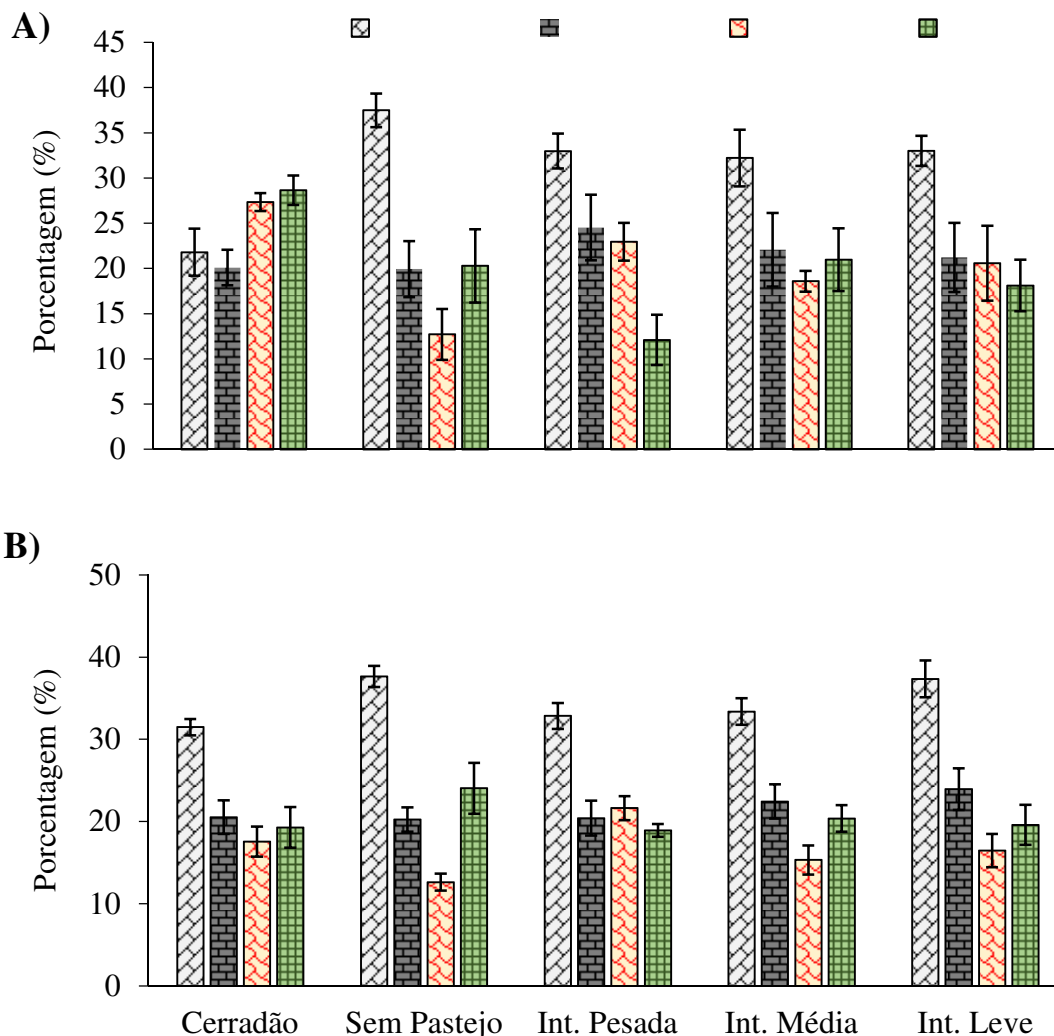


Figura 18. Participação em percentual dos teores das frações oxidáveis no carbono orgânico total do solo, para a profundidade de 0–5 cm, em uma área com vegetação natural (Cerradão) e áreas com sistema de integração lavoura-pecuária submetido a intensidades de pastejo em plantio direto.

A) coleta pós-pastejo e B) coleta pós agricultura.

Objetivando separar as frações mais lábeis e as mais recalcitrantes do COT os teores das frações oxidáveis foram agrupados em F1+F2 e F3+F4. Posteriormente foi calculada a razão destes grupos, gerando um único índice que, sendo menos que 1 indica predominância de formas recalcitrantes no carbono do solo, e quando maior ou igual a 1 significa que o carbono do solo contém predominantemente formas lábeis da MOS.

Assim, valores maiores ou iguais a 1 sugerem que as taxas de entrada de carbono no sistema superam a velocidade de decomposição havendo aporte de carbono, e valores menores que 1 ao mesmo tempo podem indicar que as entradas de carbono são baixas, que o sistema está consolidado havendo sequestros significativos de carbono recalcitrante em longo prazo, ou mesmo indicar que a velocidade de decomposição da MOS é muito acelerada, sendo a fonte (F1 e F2) menor que o dreno (F3 e F4). Para facilitar a discussão do trabalho esse índice foi nomeado como índice de labilidade do carbono oxidável (ILCO).

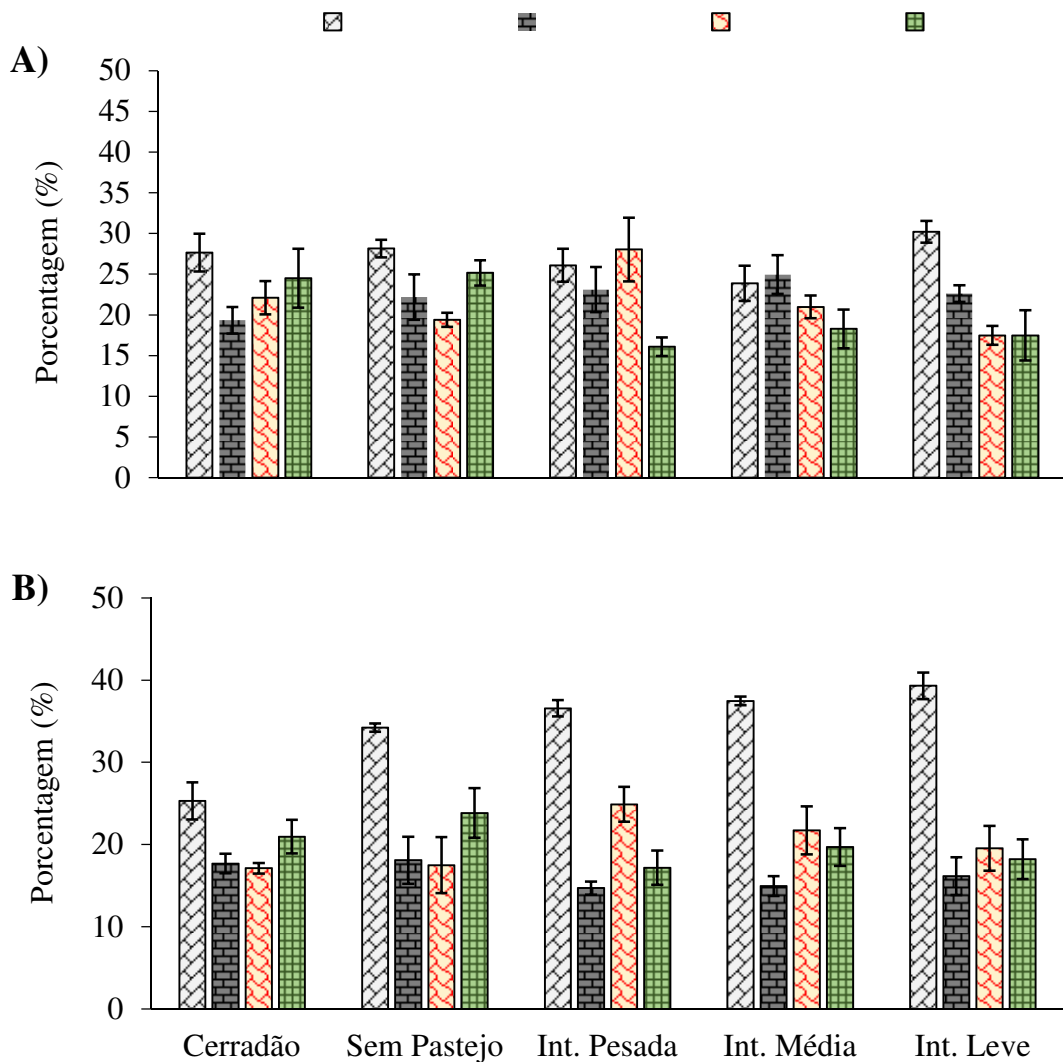


Figura 19. Participação em percentual dos teores das frações oxidáveis no carbono orgânico total do solo, para a profundidade de 5-10 cm, em uma área com vegetação natural (Cerradão) e áreas com sistema de integração lavoura-pecuária submetido a intensidades de pastejo em plantio direto.

A) coleta pós-pastejo e B) coleta pós lavoura.

Os maiores ILCO da profundidade de 0–5 cm (Figura 20) foram observados na área SP e para a profundidade de 5-10 cm em área de IB. Dentre as áreas pastejadas a que mais se destacou foi a área de IB pois em ambas as épocas avaliadas e principalmente na profundidade de 5–10 cm foram verificados os maiores valores de ILCO. Esses resultados, paralelos a ausência de diferenças de teores das frações F3 e F4 entre as áreas com pastejo, sugerem haver maior entrada relativa de carbono na área de IB quando comparada a IM e IA. Talvez esses resultados possam ser um indicativo de que em longo prazo a área de IB possa vir a sequestrar mais carbono ao solo, pois dispõe de maior aporte de material orgânico lábil, o que acarreta em maior fonte de energia e nutrientes no sistema.

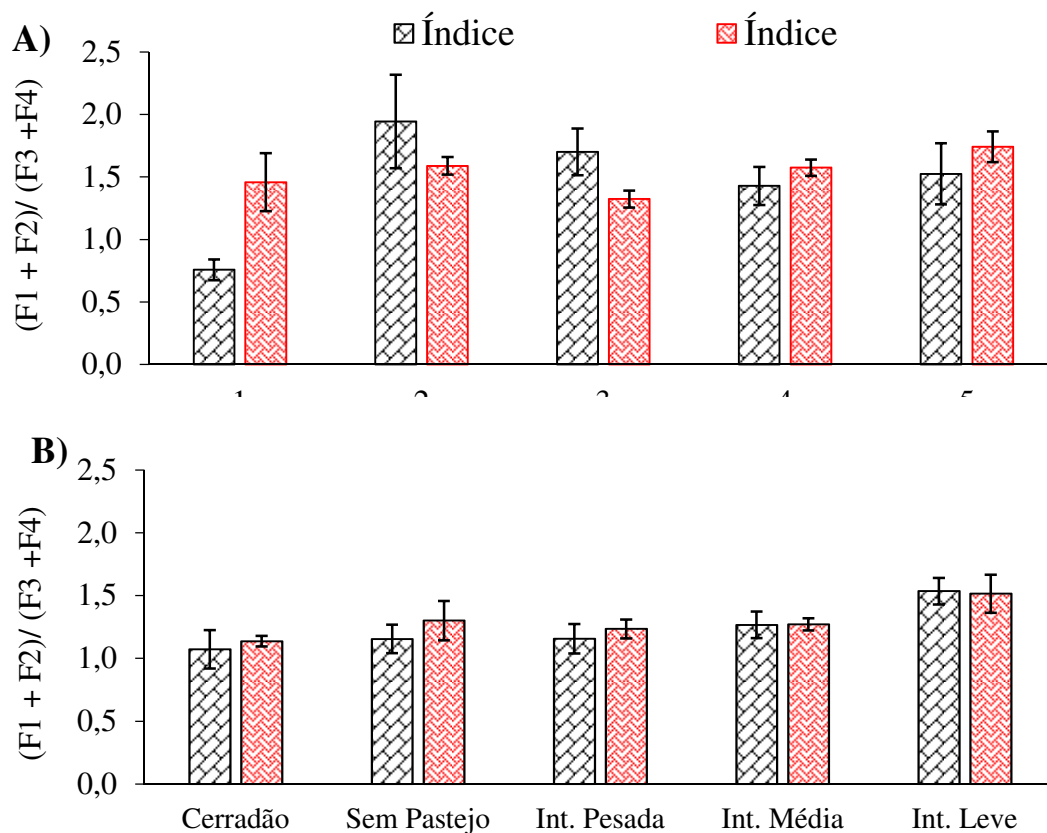


Figura 20. Índices de labilidade do carbono oxidável (ILCO) em uma área com vegetação natural (Cerradão) e áreas com sistema de integração lavoura-pecuária submetido a intensidades de pastejo em plantio direto.

A) Camada de 0-5 cm e B) Camada de 5-10 cm.

Quando a área de Cerradão é comparada com as áreas de cultivo verificam-se maiores diferenças entre as mesmas na profundidade de 0 – 5 cm. Na época seca e na área de Cerradão os teores verificados nas frações recalcitrantes são bem maiores quando comparados aos das áreas de cultivo, variando de 1,9 à 3,3 vezes maior na F3 e 2,1 a 3,8 vezes maior na F4 (veja Tabela 17). Já para as frações F1 e F2 a área de Cerrado contém de 0,9 a 1,5 vezes o carbono verificado nas áreas cultivadas.

Os resultados supracitados indicam diferentes valores de ILCO verificados na área de Cerradão quando comparada com as áreas cultivadas. Em primeiro lugar o carbono dessa área é composto predominantemente por frações mais recalcitrantes (cerca de 56 % do COT) e além disso, as áreas cultivadas não se diferenciaram da área de Cerradão para as frações lábeis, porém apresentaram menor carbono recalcitrante (Tabela 17). Finalmente o ILCO resume todas essas diferenças em um valor de 0,76 para a área de Cerradão e valores entre 1,43 e 1,94 para as áreas cultivadas. Assim pode ser assumida a importância da cobertura do solo com *Urochloa sp.*, pois em um momento em que o ambiente natural desfavorece o incremento nos teores de MOS, a presença dessa espécie resulta em significativo aporte de MOS.

Para ambas as épocas avaliadas as áreas de cultivo apresentaram ILCO elevados na profundidade de 0-5 cm, variando de 1,32 a 1,94 podendo estar havendo maior entrada de

carbono. Para a profundidade de 5-10 cm esses índices são bem próximos a 1, indicando que há um balanço mais equitativo entre as frações da MOS para esta profundidade.

De acordo com Loss et al. (2014) não é interessante que ocorra um desequilíbrio com maiores conteúdos nos teores de matéria orgânica lábil. Em contrapartida as áreas manejadas deste estudo estão sob condição evolutiva inicial do SILP, e parece ser provável e pretendido que ocorra aporte de MOS, o que acontece principalmente na camada superficial do solo. Posteriormente com a consolidação do sistema esse balanço provavelmente será melhorado. Desta maneira, de forma alguma o aporte abundante de carbono lábil ao solo, para o manejo avaliado, pode ser considerado como fator negativo a qualidade do solo.

Não foram observadas diferenças entre as áreas cultivadas para os estoques de carbono orgânico total (EstCOT). Os valores destes tenderam a serem menores na época PL, o qual apresentou-se significativo apenas para a área SP na profundidade de 5–10 cm (Tabela 18). De acordo com Loss et al. (2013a) os EstCOT são inadequados para determinar os melhores usos da terra e práticas de manejo, além disso o COT tem baixa sensibilidade na identificação das mudanças químicas da MOS em curto prazo (Conceição et al., 2005; Loss et al., 2013b).

Os índices de estoque de carbono (IEC) foram menores para a época PL em ambas as profundidades avaliadas, indicando que o cultivo da soja desfavorece o potencial de sequestro de carbono, perante a área de referência, quando comparado ao período de pastejo.

A labilidade (L) e os índices de labilidade (IL) foram elevados, principalmente na profundidade de 0-5 cm. Os resultados mostram que em todos os casos nessa profundidade a MOS das áreas cultivadas é mais lábil quando comparada a MOS da área de Cerradão. Estudando diferentes sistemas de uso do solo em Goiás, Guareschi (2013) verificou maior L e IL da MOS para as áreas de pastagem e SPD de 20 anos na profundidade de 0 – 5 cm, e para a profundidade de 5-10 cm todas as áreas cultivadas, com destaque para o SPD com maior tempo de implantação, se sobressaíram com seus valores. O autor infere que em função do aumento do tempo de instalação do SPD, é reduzido o ambiente oxidativo no solo, devido a maior proteção física da MOS.

Para os índices de labilidade (IL) as duas profundidades avaliadas pareceram ter padrão sazonal oposto. Enquanto para a profundidade de 0–5 cm tendeu em ocorrerem reduções pós agricultura, na profundidade de 5–10 cm ocorreu incrementos nesta mesma época. Esse padrão é semelhante para os índices de manejo de carbono (IMC). Na época chuvosa a área de Cerrado incrementa labilidade à MOS na profundidade de 0-5 cm, o que não ocorre para as áreas cultivadas exceto para a área de intensidade leve de pastejo.

Em primeira instância o importante a ser extraído dos resultados acima é: (i) padrões nos índices das diferentes épocas avaliadas se diferenciam, devido à sazonalidade e/ou a cobertura vegetal do solo; (ii) a predominância de formas mais lábeis em época PP na profundidade superficial, e em época PL na profundidade subsuperficial, sugere que o carbono é adicionado pela *Urochloa ruziziensis* via palhada e raízes e, na época chuvosa a biota do solo decompõe e transporta a MOS para camadas subsuperficiais.

Dentre as áreas de pastejo avaliadas a área com intensidade leve parece ser a que apresenta maior estabilidade temporal, apresentando predominantemente valores maiores para ambas as épocas avaliadas. Essa área foi a única, que em todos os casos ou apresentou IMC muito próximo ou superior ao da área de referência.

Na profundidade de 0–5 cm foram verificados valores superiores de IMC na época PP. Considerando que não ocorreram diferenças entre épocas para este atributo na profundidade de 5–10 cm, estes resultados sugerem que a *Urochoa ruziziensis* é responsável por adicionar MOS no inverno, enquanto o cultivo da soja desfavorece o potencial de sequestro de carbono, principalmente referente a adição de material orgânico lábil ao solo.

Tabela 18. Estoques de carbono (EstC), índice de estoque de carbono (IEC), labilidade da matéria orgânica do solo (L), índice de labilidade da matéria orgânica do solo (IL) e índice de manejo de carbono (IMC) utilizando o fracionamento oxidável em sistema de integração lavoura-pecuária submetido a intensidades de pastejo em plantio direto.

	EstC		IEC		L		IL		IMC	
	0-5 cm									
	PP	PL	PP	PL	PP	PL	PP	PL	PP	PL
CE	18,72	22,11	1,00	1,00	0,75	1,09	1,00	1,00	100,00	100,00
SP	14,12 Aa	12,59 Aa	0,75 Aa	0,57 Ab	1,40 Aa	1,38 Aa	1,87 Aa	1,27 Aa	140,99 Aa	72,52 Ab
IA	13,59 Aa	14,17 Aa	0,73 Aa	0,64 Ab	1,41 Aa	1,14 Aa	1,89 Aa	1,06 Ab	137,55 Aa	67,75 Ab
IM	14,58 Aa	13,74 Aa	0,78 Aa	0,62 Ab	1,19 Aa	1,30 Aa	1,60 Aa	1,19 Aa	125,18 Aa	73,76 Ab
IB	13,63 Aa	14,22 Aa	0,73 Aa	0,64 Ab	1,26 Ab	1,65 Aa	1,68 Aa	1,52 Aa	123,77 Aa	96,64 Aa
	CV(1): 8,34		CV(1): 8,66		CV(1): 23,32		CV(1): 25,86		CV(1): 29,22	
	CV(2): 9,14		CV(2): 9,23		CV(2): 24,31		CV(2): 27,73		CV(2): 29,69	
	5-10 cm									
CE	15,64	18,85	1,00	1,00	0,92	0,80	1,00	1,00	100,00	100,00
SP	13,26 Aa	11,21 Ab	0,85 Aa	0,59 Ab	1,04 Aa	1,12 Aa	1,14 Aa	1,40 Aa	96,67 Aa	83,59 Aa
IA	13,74 Aa	13,00 Aa	0,88 Aa	0,69 Ab	0,97 Aa	1,06 Aa	1,06 Aa	1,33 Aa	93,44 Aa	91,77 Aa
IM	13,52 Aa	12,75 Aa	0,86 Aa	0,68 Ab	0,96 Aa	1,11 Aa	1,05 Ab	1,39 Aa	90,68 Aa	94,33 Aa
IB	13,51 Aa	13,17 Aa	0,86 Aa	0,70 Ab	1,13 Aa	1,28 Aa	1,23 Ab	1,61 Aa	105,72 Aa	111,14 Aa
	CV(1): 12,98		CV(1): 13,38		CV(1): 16,82		CV(1): 17,05		CV(1): 18,77	
	CV(2): 8,90		CV(2): 10,19		CV(2): 16,49		CV(2): 17,32		CV(2): 18,84	

Valores seguidos por letras maiúsculas iguais na coluna e minúsculas iguais na linha não diferem significativamente pelo teste t de Tukey a 5%; PP: avaliação pós-pastejo e PL: avaliação pós-lavoura. CV(1)= coeficiente de variação entre tratamentos (%), CV(2)= coeficiente de variação entre épocas (%).IA: intensidade alta de pastejo; IM: intensidade moderada de pastejo; IL: intensidade baixa de pastejo e SP: área sem pastejo. Obs: a área de Cerradão foi utilizada como referência.

Finalmente, qualquer conclusão sobre os resultados do IMC pode ser perigosa pois ao mesmo tempo que a dinâmica da MOS varia sazonalmente na área de Cerradão, há variação devido a sazonalidade e a cobertura vegetal nas áreas com cultivo, e também as dinâmicas são diferenciadas quando avaliadas diferentes camadas do solo. Dessa forma, diante dos valores de IMC verificados nesse estudo, ainda não pode ser inferido, qual tratamento está favorecendo a melhoria da qualidade do solo.

5.5.3 Análise conjunta do fracionamento granulométrico e fracionamento oxidável da MOS

As frações da matéria orgânica do solo, de ambos os fracionamentos, oxidável e granulométrico, se correlacionaram positivamente e significativamente ($p = 0,01$) em todas as profundidades avaliadas (Tabela 19).

Tabela 19. Correlação de Pearson (r) entre atributos as frações granulométricas e oxidáveis do carbono do solo em sistema de integração lavoura-pecuária submetido a intensidades de pastejo em plantio direto.

Profundidade		C	Cp	Cam	F1	F4	F1+F2	F3+F4
0- 5 cm	COT	0,88**	0,34**	0,88**	0,71**	0,69**	0,85**	0,78**
	C	--	0,46**	0,98**	0,62**	0,56**	0,78**	0,73**
5- 10 cm	COT	0,62**	0,75**	0,54**	0,41**	0,59**	0,82**	0,75**
	C	--	0,65**	0,99**	0,38**	0,38**	0,62**	0,51**
10 – 20 cm	COT	0,85**	0,70 **	0,84**	--	--	--	--
	C	--	0,86**	0,99**	--	--	--	--
20 – 40 cm	COT	0,81**	0,38**	0,75**	--	--	--	--
	C	--	0,33**	0,97**	--	--	--	--

C: carbono total (CHN). COT: carbono orgânico total. Cp: carbono particulado. Cam: carbono associado aos minerais. F1: fração muito facilmente oxidável do carbono orgânico. F4: fração resistente do carbono orgânico. F1+F2: soma das frações oxidáveis mais lábeis do carbono orgânico. F3+F4: soma das frações oxidáveis mais recalcitrantes do carbono orgânico. ns: não significativo a 5 %. *, ** significativo a 5 % e 1 % respectivamente, pelo teste t.

Atenção especial deve ser dada às frações mais lábeis do carbono no solo, sendo elas o carbono particulado (Cp), a fração lábil (F1) e a fração moderadamente lábil (F2), pois são ferramentas eficientes de avaliação por apresentarem respostas ao manejo em curto prazo.

O objetivo culminante dos sistemas conservacionistas de uso do solo é que promovam incrementos nos teores de COT, assim correlações positivas com esse atributo são alvos buscados para as frações da MOS. As correlações das frações lábeis com o COT obedeceram à seguinte ordem decrescente: $(F1+F2) > F1 > Cp$ para a profundidade de 0 – 5 cm; e $(F1+F2) > Cp > F1$ para a profundidade de 5 - 10 cm. Dentro destes resultados a soma F1+F2 parece ser a mais indicada para uso como indicador de qualidade do solo.

Na Figura 21 são apresentados, em forma conjunta e em profundidade os conteúdos de carbono orgânico total (COT) acompanhado dos teores de carbono particulado (Cp), da fração muito facilmente oxidável (F1) e da soma das frações oxidáveis consideradas lábeis (F1+F2) para as diferentes áreas e épocas avaliadas.

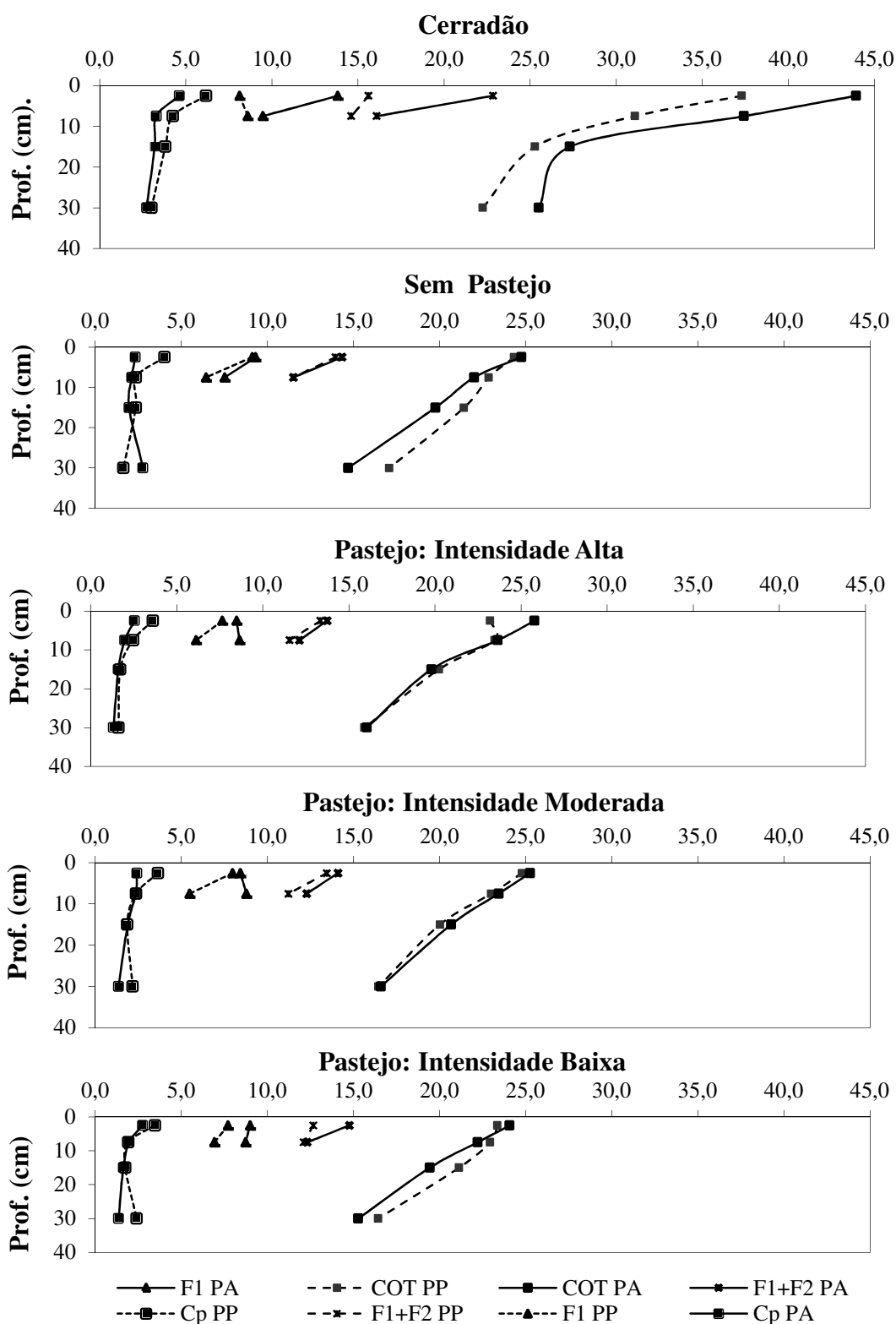


Figura 21. Carbono orgânico total (COT), Fração muito facilmente oxidável (F1) e carbono particulado (Cp) em g kg^{-1} para a época pós pastejo (PP) e época pós lavoura (PL) em sistema de integração lavoura-pecuária submetido a intensidades de pastejo em plantio direto.

Obs: PP: linha sólida. PL: linha tracejada.

A tendência geral foi que na profundidade de 0–5 cm fossem encontrados os maiores teores, seja para o COT, seja para as frações lábeis nas diferentes áreas e épocas avaliadas, e esses teores decrescessem gradativamente para as profundidades subsuperficiais. No entanto ocorreram algumas peculiaridades:

(i) As áreas pastejadas no inverno tenderam a incrementar carbono na fração F1 na época PL na profundidade de 5–10 cm. Para essa época os teores da F1 na camada superficial foram iguais ou maiores quando comparados aos da camada subsuperficial.

(ii) A partir da profundidade de 10 cm os teores de Cp tenderam a manter-se ou até aumentarem para maiores profundidades nas áreas de IB e SP;

(iii) A área de Cerradão tem padrão diferenciado para as frações oxidáveis. Nesta área o incremento nas frações F1 e F2 na época PL é o maior na camada superficial do Cerradão.

(iv) A área de IA na época PP foi a única que apresentou menores teores de COT na profundidade de 0-5 cm, quando comparada a profundidade de 5-10 cm. Talvez esses resultados possam ser uma evidência de compactação superficial do solo e perdas nos teores de MOS.

A F1 e o Cp tiveram comportamento diferenciado, principalmente o sazonal, pois enquanto a F1 tende a ser maior para a época PL o Cp tende a ser maior para a época PP em todas as áreas e profundidades avaliadas. Diante desses resultados a F1 tendeu a acompanhar melhor a dinâmica da MOS, pois a variação nos seus teores apresentou padrão similar quando comparado ao do COT no solo.

Frações de fácil oxidação quantificam o material vegetal recentemente adicionado ao solo ou mesmo os organismos vivos nele presentes (Wander, 2004), sendo a F1 citada na literatura como altamente correlacionada com a fração leve livre da MOS (Maia et al., 2007), considerada como matéria orgânica lábil no solo (Chan et al., 2001; Barreto et al., 2011). Por outro lado o Cp é caracterizado como o carbono do tamanho entre 53 e 2000 μm (Chan, 2001), muitas vezes definido como matéria macroorgânica, composto por material orgânico leve livre e também protegido por agregados do solo. O Cp abrange, além do material lábil, parte de um material denominado lento ou intermediário, tendo sua meia vida entre anos e décadas (Wander, 2004).

Neste trabalho os teores da fração F1 foram sempre superiores aos teores de Cp. Resultados similares foram encontrados em vários estudos, embora não discutidos: (i) em estudo sobre diferentes coberturas vegetais sob SILP em Maracaju, para a profundidade de 10-20 e 20-30 cm (Batista, 2011); em estudo sobre diferentes usos do solo em Goiás, na profundidade de 10-20 cm (Loss, 2011); em estudo sobre matéria orgânica em cronossequência de agricultura em Montividiu, GO, na profundidade de 5-10 cm (Guareschi, 2013).

Diante destes resultados surgem duas hipóteses: (i) partículas orgânicas menores que 53 μm não podem ser definidas como recalcitrantes, sendo o carbono orgânico associado aos minerais (Coam) uma superestimativa do carbono que realmente está incorporado sob formas resistentes em complexos organominerais no solo; (ii) a molaridade de ácido sulfúrico para quantificar a fração F1 é capaz de oxidar parte das formas recalcitrantes de carbono no solo.

5.6 CONCLUSÕES

Os menores teores de carbono total do solo (C) da área não pastejada sugerem que a integração lavoura pecuária incrementa matéria orgânica ao solo.

O carbono particulado (Cp) identificou em curto prazo, respostas ao manejo e a sazonalidade, principalmente até a profundidade de 10 cm.

O carbono total, e as frações granulométricas da matéria orgânica do solo mostram similaridade entre as intensidades de pastejo.

Os índices de manejo de carbono (IMC) das frações granulométricas foram menores que 64 % para todas as áreas cultivadas, sugerindo que os estoques e/ou labilidade da matéria orgânica do solo dessas áreas são menores quando comparados aos do Cerradão.

O carbono orgânico total (COT) das áreas cultivadas teve maior participação da fração lábil (F1), indicando que nas mesmas predomina o aporte de carbono no solo.

Maiores teores da fração pouco lábil (F3) e fração recalcitrante (F4) na área de Cerradão evidenciam que essas frações são adicionadas ao solo de forma lenta, com respostas do manejo apenas em longo prazo.

Os maiores índices de labilidade do carbono (ILCO) e os maiores índices de manejo do carbono (IMC), obtidos a partir do fracionamento oxidável, na área de intensidade leve de pastejo apontam esse tratamento como o mais favorável ao sequestro de carbono no solo.

A partir dos IMC das áreas de cultivo, obtidos a partir do fracionamento oxidável, superiores aos da área de Cerradão na avaliação pós pastejo, pode ser inferido que há grande aporte de material orgânico pela palhada e/ou raízes da *Urochloa ruziziensis*.

O carbono particulado e a fração lábil (F1) mostraram respostas opostas a sazonalidade, entretanto o padrão verificado para a F1 é mais adequado para este caso, por se apresentar similar ao do COT.

6 CAPÍTULO IV

MATÉRIA ORGÂNICA LEVE E CARACTERIZAÇÃO DAS FRAÇÕES DE MAIOR LABILIDADE DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA PECUÁRIA (JATAÍ-GO)

6.1 RESUMO

A matéria orgânica leve (MOL) está entre os compartimentos mais sensíveis aos efeitos do manejo, podendo indicar mudanças nos níveis de matéria orgânica do solo (MOS) de forma bastante precoce. As raízes das plantas são importantes contribuintes no aporte de MOS. Entretanto, para sistemas de integração lavoura-pecuária (SILP) os estudos sobre a matéria orgânica leve e o sistema radicular das espécies vegetais cultivadas ainda são incipientes. O presente estudo visa avaliar os efeitos das diferentes intensidades de pastejo, bem como do cultivo da soja na MOL em um sistema de integração lavoura-pecuária associado ao plantio direto (SILP-SPD), implantado em 2009, na Universidade Federal Goiás, GO (17° 56' S e 51° 43' O). Além disso, é objetivo do estudo comparar duas metodologias de separação da MOL e caracterizar essas frações quanto aos seus teores de carbono (C) e nitrogênio (N). Foram coletadas amostras deformadas de solo, compostas de três amostras simples, para as profundidades de 0–5, 5–10, 10–20 e 20–40 cm. Também foram coletadas amostras indeformadas com auxílio do monólito (20 cm x 10 cm x 5 cm) para as profundidades de 0 – 10, 10 – 20 e 20 – 30 cm. Foi quantificada a MOL com dispersão prévia do solo (MOL_{NaOH}) para as amostras deformadas. Para as amostras indeformadas foram quantificados estoques para a MOL sem dispersão do solo ($MOL_{\text{água}}$), metodologia proposta neste estudo. A $MOL_{\text{água}}$ foi subdividida em três frações com auxílio de tamises sendo elas: (i) MOL-Classe-3: MOL maior que 2 mm de diâmetro; (ii) MOL-Classe-2: MOL de diâmetro intermediário entre 2 mm e 1 mm; (iii) MOL-Classe-1: MOL entre 1 mm e 0,5 mm. Para as diferentes classes foram separadas manualmente e com cuidado as raízes presentes ($RL_{\text{água}}$). O solo, a fração areia, a MOL_{NaOH} , $MOL_{\text{água}}$ e as $RL_{\text{água}}$ foram caracterizadas quanto aos seus teores de carbono total (CT) e nitrogênio (N) por combustão a seco (CHN). O delineamento utilizado foi o de blocos inteiramente ao acaso (DBC), havendo seis repetições. Os atributos foram avaliados em duas épocas distintas: uma pós-ciclo de pastejo (PP) e outra pós-lavoura (PL). Os tratamentos consistiram em intensidades alta (IP), média (IM) e baixa (IB) de pastejo, uma área sem pastejo (SP) e uma área de Cerradão (CE). Para as áreas cultivadas foi semeada a soja no verão, e o cultivo foi feito com uso do sistema de plantio direto (SPD). As maiores diferenças para a MOL_{NaOH} foram na camada de 0 – 5 cm. Nessa camada em época PP foram verificados maiores teores para as áreas pastejadas quando comparadas com a área SP e a área de Cerradão, já para a época PL a área de Cerradão foi a que apresentou os maiores teores. Nas áreas cultivadas os teores de MOL_{NaOH} e estoques de $MOL_{\text{água}}$ foram maiores em época PP para todas as profundidades avaliadas. Dentre as classes, as maiores diferenças foram verificadas para a MOL-Classe-3, que apresentou variações similares aos estoques totais de $MOL_{\text{água}}$, se correlacionando positivamente com essa fração e também com a MOL_{NaOH} . Estimou-se que mais de 50 % da $MOL_{\text{água}}$ foram raízes. Os maiores teores de C e N nas áreas cultivadas foram para a $MOL_{\text{água}}$ e $RL_{\text{água}}$ em época PP, e para a MOL_{NaOH} em época PL. A área de IB se destacou com os maiores teores de MOL_{NaOH} na camada de 0 – 5 cm, enquanto a área de IM apresentou os maiores estoques de $MOL_{\text{água}}$ na camada de 0 - 10 cm. Os resultados mostram que o da *Urochloa ruziziensis*, principalmente para a intensidade média, favorece concomitantemente os aportes de MOL_{NaOH} e $MOL_{\text{água}}$. Além disso a MOL desempenha importante papel na avaliação de qualidade do solo, pois apresenta respostas bastante imediatas à sazonalidade e ao manejo do solo.

Palavras-chave: Intensidade de pastejo. Sazonalidade. Relação C/N.

6.2 ABSTRACT

The light organic matter (LOM) is among of the most sensitive organic compartments to the effects of management, which may indicate changes in the levels of soil organic matter (SOM) quite early. Plant roots are important contributors in the supply of SOM. However, for crop-livestock integration (CLI) studies of the LOM and the root system of crop species systems are still incipient. The present study aims to evaluate the effects of different grazing intensities as well as the cultivation of soybeans in LOM in a system of crop-livestock integration associated with no tillage (CLI-NT), implemented in 2009, at the Federal University of Goiás, GO (17° 56' S e 51° 43' W). Furthermore, the study is aimed to compare two methods of separation of LOM and characterize these fractions as to its content of carbon (C) and nitrogen (N). Disturbed soil samples, consisting of three simple samples, were collected for depths of 0-5, 5-10, 10-20 and 20-40 cm. Undisturbed samples with the aid of the monolith (20 cm x 10 cm x 5 cm) were also collected for depths of 0-10, 10-20 and 20-30 cm. The LOM was quantified after dispersion of the soil (LOM_{NaOH}) in the deformed samples. For the undisturbed samples, LOM stocks were quantified without dispersing the soil (LOM_{water}) and this methodology is proposed in this study. The LOM_{water} was divided into three fractions with the aid of sieves, being: (i) LOM-Class-3: retained in 2 mm sieve (ii) LOM-Class-2: LOM intermediate between 2 mm and 1 mm sieves (iii) LOM-Class-1: LOM between 1 mm and 0.5 mm sieves. For the different classes light roots were separated manually and carefully (LR_{water}). The soil, sand fraction, the LOM_{NaOH} , LOM_{water} and LR_{water} were characterized according to their levels of total carbon (C) and nitrogen (N) by dry combustion (CHN). The design was a completely randomized block design (RBD) with six replications. The attributes were evaluated at two different times: a post- grazing cycle (PG) and other post soybean cultivation (PSC). The treatments consisted of high (HI), moderate (MI) and low (LI) grazing intensities, an area ungrazed (NG) and an area of Cerradão (CE). For cultivated areas, soybean was planted in the summer, and the cultivation was done with use of no-till (NT). The most differences were found for LOM_{NaOH} in the 0-5 cm. This layer in PG time showed the highest levels for the grazed areas, when compared with the NG and CE areas. However, for PSC evaluation the area of CE showed the highest levels of LOM_{NaOH} . In cultivated areas the levels of LOM_{NaOH} , and stocks of LOM_{water} were higher in PG time, when compared to PSC, for all depths evaluated. Among the classes, the greatest differences were found for the LOM-Class-3, which showed results with similar pattern to total stocks of LOM_{water} . The LOM-Class-3 had positive correlations with the LOM_{water} and also with LOM_{NaOH} . It has been estimated that over 50 % of the LOM_{water} were roots. The highest levels of C and N in the crop were found in LOM_{water} and LR_{water} at PG time, and in LOM_{NaOH} at PSC time. The area of LI stood out with the highest levels of LOM_{NaOH} in the 0-5 cm, while the area of MI showed the highest LOM_{water} stocks in the 0-10 cm. The results show that the *Urochloa ruziziensis*, especially for the medium grazing intensity, concomitantly favors the contributions of LOM_{NaOH} and LOM_{water} . Furthermore LOM plays an important role in the evaluation of soil quality, because it presents quite immediate seasonality and soil management responses.

Keywords: Grazing intensity. Seasonality. C/N ratio.

6.3 INTRODUÇÃO

A matéria orgânica do solo (MOS) é composta de resíduos vegetais e animais em estádios diversos de decomposição (Wander, 2004; Silva & Mendonça, 2007) e em um processo lento de acumulação no solo (Berg & Mcclaugherty, 2008). O estudos das diferentes frações da MOS nos sistemas define, ou até prevê, a função do solo na estocagem ou perda de carbono. Tais frações possuem tempo de ciclagem e funções bioquímicas e biológicas distintas, influenciando na interação destas com os minerais do solo (Rasmussen et al., 2005; Cerli et al., 2012).

Visando melhor compreensão da dinâmica da MOS diversos estudos a fracionam, sendo que alguns deles se destacam. O fracionamento granulométrico da MOS separa o carbono orgânico particulado (Cop), fração da matéria orgânica do tamanho da areia e que é composta principalmente por fragmentos de raízes em vários estádios de decomposição. Discerne também o carbono de tamanho menor do que areia que se associa aos minerais do solo (Cam) (Cambardella & Elliot, 1992).

Diversos estudos indicam o Cop como ferramenta de maior sensibilidade na avaliação dos impactos dos sistemas de manejo do solo em curto intervalo de tempo (Rossi et al., 2012). Em tais estudos predominam aumentos dos teores dessas frações pós implantação de práticas conservacionistas de manejo do solo. O COP tem parte da MOS ativa e parte de labilidade intermediária (meia vida variando de poucos anos à décadas), devido à proteção física dos agregados (Wander, 2004).

A matéria orgânica ativa engloba a MOS que pode ser recentemente adicionada ao solo, viva, rica em nutrientes e não protegida fisicamente por agregados, que participa de reações químicas e biológicas, e da macroagregação transitória no solo (Wander, 2004). Já o Cop encontra-se em fase inicial de decomposição apresentando características transicionais para o estágio de humificação (Leifeld & Knabner, 2005).

A matéria orgânica leve em água (MOL) têm obtido elevada eficiência como indicadora das mudanças ocorridas em curto prazo na dinâmica da MOS (Compton & Boone, 2002; He et al., 2008), possuindo tempo de residência no solo entre um e cinco anos (Pereira et al., 2010 *apud* Janzen et al., 1992). A MOL consiste no material leve flotado em água e que compreenda tamanho entre 0,25 e 2,0 mm (Loss et al., 2010), é altamente lábil, composta principalmente por fragmentos de raízes e serapilheira (Boone, 1994) e microorganismos (Ruivo et al., 2005), e é indicada como a maior fonte de nitrogênio nos solos agrícolas (Boone, 1994; Compton & Boone, 2002), além de representar eficientemente a capacidade de ciclagem dos demais nutrientes no solo (Compton & Boone, 2002).

A MOL pode ser separada por meio de uso de dispersantes como baixas concentrações de NaOH (Anderson & Ingram, 1989) que acarreta na destruição dos agregados, onde parte do material orgânico quantificado será proveniente daquele protegido pelos agregados do solo. Pode também ser feita a quantificação da MOL por flotagem em um método simples e sem uso de dispersantes químicos, o que é sugerido neste trabalho. Esse processo é mais rápido, podendo ser realizado imediatamente pós coleta e em solo não destorroado, são utilizados maiores volumes de terra e não é quantificada a MOL presente intra-microagregados do solo.

Grande parte da MOL é proveniente do sistema radicular de plantas, principalmente em sistemas conservacionistas de uso do solo com uso de plantas de cobertura e/ou pastagem do gênero *Urocloa* (Loss, 2011). As raízes finas podem ser separadas em classes de diferente pigmentação e diâmetros. Tais classes contribuem na variação da dinâmica da MOS e nutrientes, principalmente na velocidade de decomposição e capacidade de ciclagem de carbono e nutrientes nos sistemas. Raízes de diâmetros menores possuem, quando comparadas às raízes mais grossas, maiores concentrações de N e P, menores teores de lignina e carboidratos não-estruturais e maior colonização micorrízica (Goebel et al., 2011).

Nesse contexto o presente trabalho visa caracterizar e comparar as frações de maior labilidade da MOS, avaliando também a participação de raízes de diferentes classes na MOL. Os objetivos principais foram identificar como tais frações se comportam perante práticas de manejo (intensidade de pastejo) e quantificar e comparar os teores de carbono e nitrogênio das frações separadas por métodos físicos (COP, MOL e raízes).

6.4 MATERIAL E MÉTODOS

6.4.1 Localização, clima e solo da área de estudo

A descrição da área de estudo está apresentada no item 3.2.1 do Capítulo I.

6.4.2 Sistemas avaliados e histórico de uso

A descrição dos sistemas avaliados e histórico de uso está apresentada no item 3.2.2 do Capítulo I.

6.4.3 Coleta de amostras

A descrição da metodologia de amostragem está apresentada no item 3.2.3 do Capítulo I.

6.4.4 Matéria orgânica leve em água com uso de dispersante de solo (MOL)

Foram pesados 50 g de terra fina seca ao ar (TFSA) em becker de 250 mL, adicionando-se 100 mL de solução de NaOH 0,1 mol L⁻¹, deixando-se em repouso por uma noite. Decorrido o tempo, a suspensão foi agitada com bastão de vidro e todo o material passado por peneira de 0,25 mm, eliminando-se toda a fração argila.

Posteriormente, o material retido na peneira (MOL e areia) foi transferido, quantitativamente, novamente para o becker, completando-se o volume com água. Todo o material flotado foi passado por peneira de 0,25 mm, tomando-se cuidado para separar a MOL da fração areia. Em seguida, foi adicionado novamente água ao becker, agitando-se manualmente para ressuspender a MOL restante e verter o material vagarosamente em peneira de 0,25 mm. Essa operação foi repetida até que todo o material que flutuou com a agitação em água tenha sido coletado. O material que ficou retido na peneira (MOL) foi quantificado após secagem em estufa à 65 °C até atingir peso constante (72 horas).

6.4.5 Sistema radicular presente em matéria orgânica leve em água.

As amostras obtidas para quantificação de raízes (ver item 3.2.3 do Capítulo I) foram submetidas a um processo de flotação da matéria orgânica leve, com posterior estimativa da quantidade de raízes ali presentes. O procedimento de quantificação destes atributos segue nos passos abaixo:

- i. A amostra (1 dm³) foi acondicionada em balde de volume de 10 litros.
- ii. A amostra foi destorroada manualmente e em processo repetitivo de flotação em água a matéria orgânica leve foi separada.
- iii. O material flotante em água foi transferido para um jogo de peneiras de 2 mm, 1 mm e 0,5 mm.
- iv. Foi realizada uma lavagem cuidadosa para a separação da terra que ainda havia nas peneiras.
- v. Para as tamises 1 mm e 0,5 mm foi realizado um novo processo de flotação em água e retorno do material flotante às mesmas.
- vi. A matéria orgânica leve foi acondicionada em placas de petri e levada para a secagem em estufa de ventilação, por um período de 72 horas à 50 °C.
- vii. Foi realizada pesagem e quantificação da matéria orgânica leve.
- viii. Dez por cento das amostras, para cada profundidade avaliada, foram submetidas a separação minuciosa de raízes presentes na MOL.
- ix. As raízes foram novamente acondicionadas em estufa para secagem. Posteriormente foi realizada a pesagem e quantificação destas.

- x. O material foi moído para quantificação dos teores de carbono (C) e nitrogênio (N) obtidos pelo método de combustão à seco em um autoanalisador de C e N, à 900 °C (CHN-600 Carlo Erba EA 1110-Itália).

6.4.6 Frações de maior labilidade da matéria orgânica do solo

Foram utilizadas, nesse capítulo, as frações de maior labilidade de cada fracionamento físico da MOS, visando comparar a massa seca e seus teores de C e N, obtidos pelo método de combustão à seco em um autoanalisador de C e N, à 900 °C (CHN-600 Carlo Erba EA 1110-Itália).

Foram comparados o carbono particulado (item 4.2.5 do Capítulo III), a fração muito facilmente oxidável (item 4.2.6 do Capítulo III), a fração leve livre (item 4.2.6 do Capítulo III), a matéria orgânica leve em água dispersa com NaOH, a matéria orgânica leve em água e as raízes leves em água. Para tais comparações foram utilizadas as profundidades de 0-5 cm e 5-10 cm.

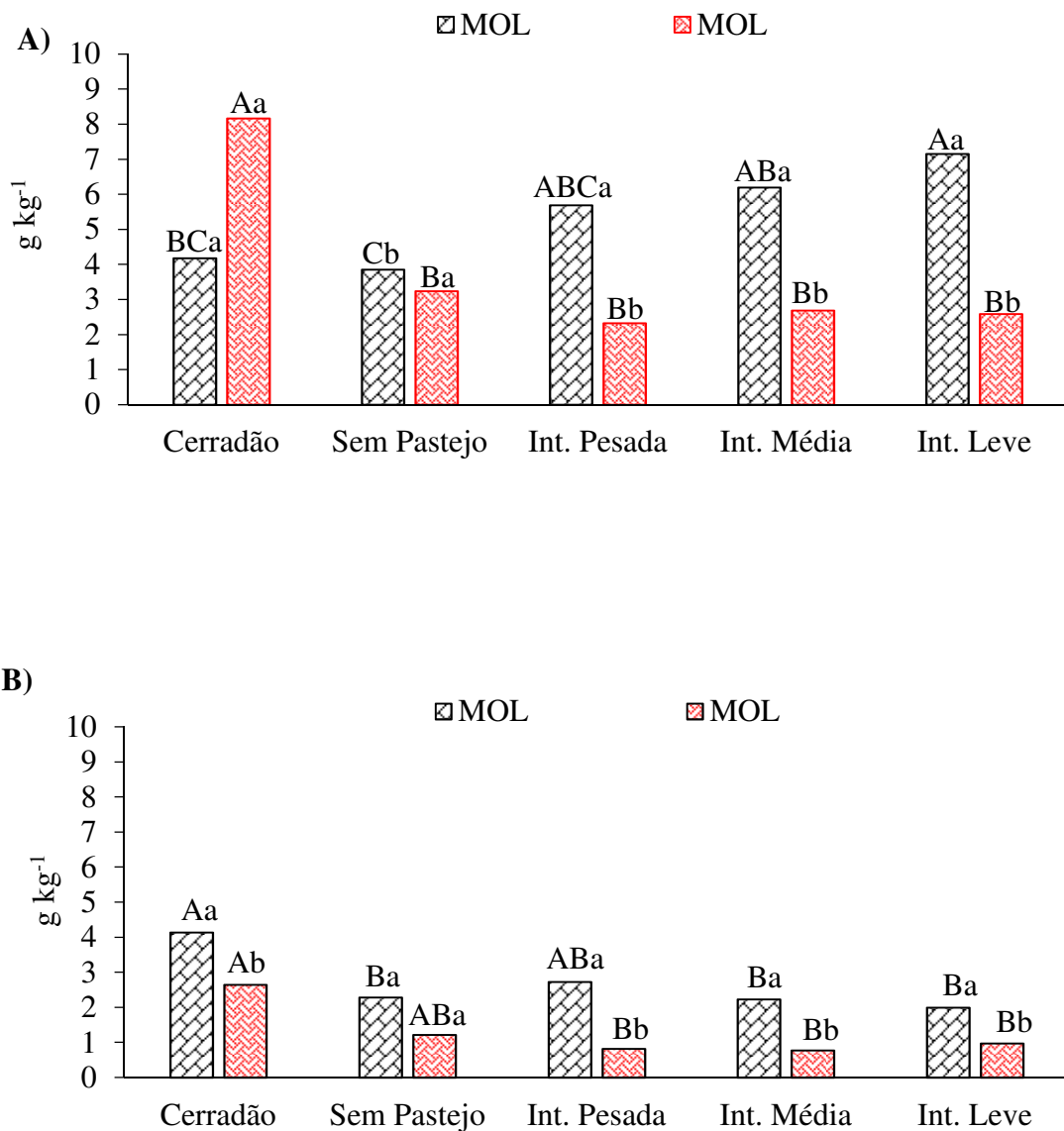
6.4.7 Análises estatísticas

As análises estatísticas estão descritas no item 3.2.9 do capítulo I.

6.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.5.1 Matéria orgânica leve em água com uso de dispersante (MOL_{NaOH})

Na Figura 22 são apresentados os teores de MOL_{NaOH} nas duas épocas distintas de avaliação: pós-pastagem (PP) e pós-lavoura (PL). Também são comparados os diferentes usos da terra: Cerradão (CE), intensidades alta (IA), moderada (IM) e baixa (IB) de pastejo e a ausência de pastejo (SP).



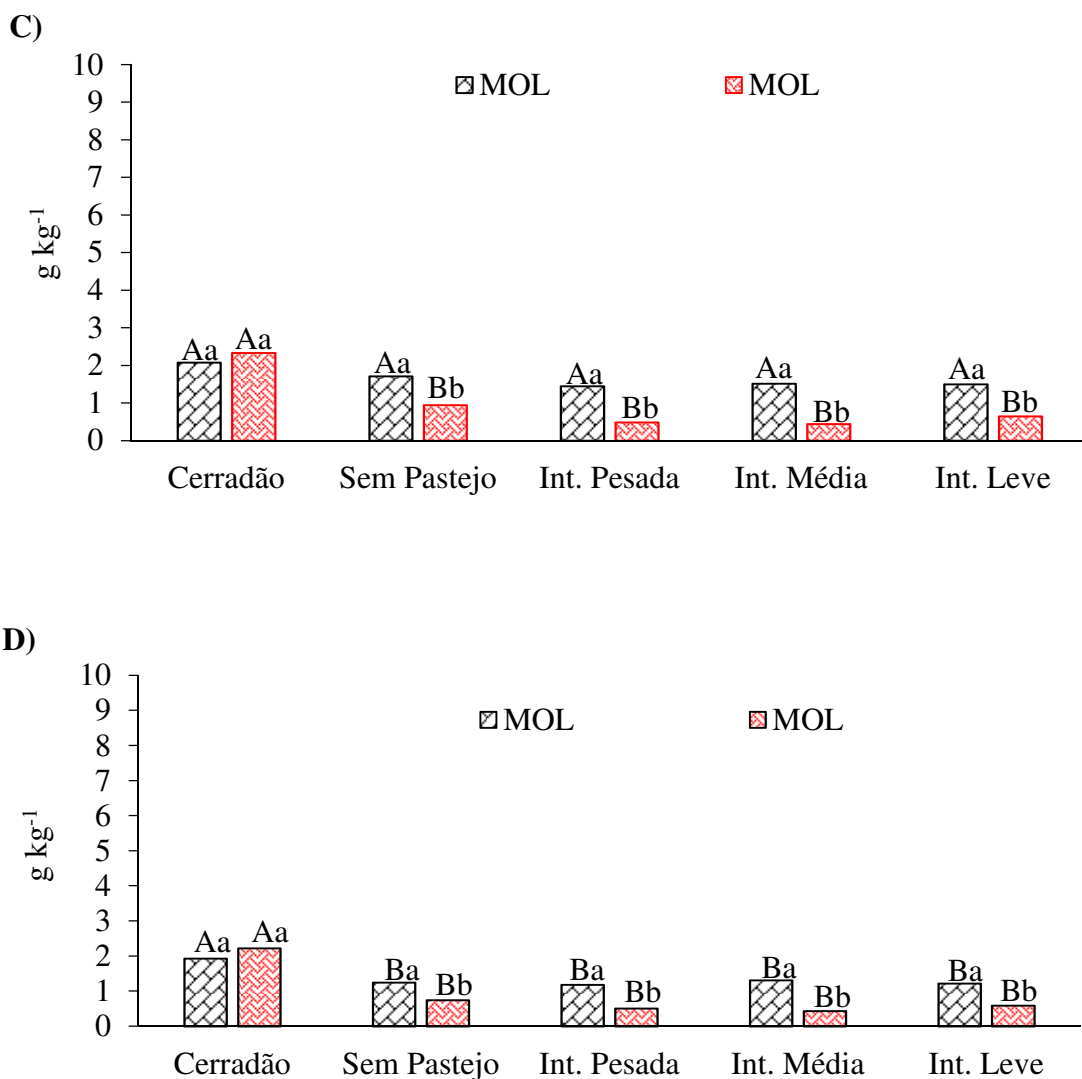


Figura 22. Teores de matéria orgânica leve em água pós dispersão do solo, para uma área com vegetação natural (Cerradão) e áreas com sistema de integração lavoura-pecuária submetido a intensidades de pastejo em plantio direto.

A) Camada de 0-5 cm. B) Camada de 5-10 cm. C) Camada de 10-20 cm. D) Camada de 20-40 cm. Valores seguidos por letras maiúsculas iguais comparam tratamentos e minúsculas iguais comparam épocas e não diferem significativamente pelo teste t de Tukey a 5%.

O padrão verificado até a profundidade de 5 cm entre as épocas de coleta é diferenciado quando compara-se a área de cerradão com as áreas pastejadas. A sazonalidade foi responsável pelo aumento dos teores de MOL_{NaOH} na área de Cerradão em época PL, enquanto para as áreas sob pastejo os teores de MOL_{NaOH} foram menores para esta mesma época. Esses padrões diferenciados podem ser decorrentes da influência da cobertura vegetal sobre a adição de material orgânico leve ao solo. Enquanto a área de Cerradão, em sua condição natural, diminui a incorporação de matéria orgânica ao solo, devido ao déficit hídrico, a *Urochloa ruziziensis*, quando submetida ao pastejo, parece estar adaptada a tal restrição adicionando matéria orgânica ao solo mesmo no período seco.

Frações leves da matéria orgânica do solo consistem formas recentemente adicionadas e que não estão associadas aos minerais do solo (Compton & Boone, 2002), podendo assim

representar a MOS ativa e recentemente incorporada (Gosling et al., 2013), respondendo de forma significativa e em curto prazo às mudanças nas práticas de manejo (Bremer et al., 1995), apresentando eficácia como indicadores de qualidade do solo (Ruivo et al., 2005, Rangel et al., 2012).

Diante dos aspectos acima, na época PP observa-se uma grande contribuição da *Urochloa ruziziensis* no aporte de MOS. Além da abundante palhada gerada por espécies do gênero *Urochloa*, o seu sistema radicular tem sido apontado como estratégico na adição de MOS, principalmente quanto a fração MOL (Loss, 2011). Assim, frente a uma época sazonal desfavorável ao aporte de matéria orgânica no solo, que foi verificado na avaliação da área de Cerrado, o pastejo de áreas com a *Urochloa ruziziensis* pode funcionar como uma ferramenta estratégica em potencializar a adição de matéria orgânica ao solo no inverno, para posteriormente as áreas serem cultivadas no verão.

Outro aspecto que comprova os benefícios da *Urochloa ruziziensis* neste estudo são os maiores teores de MOL_{NaOH} , nas áreas cultivadas, na época PP, até a profundidade de 40 cm. Tais valores desse atributo indicam que há influência do sistema radicular da *Urochloa ruziziensis* nas camadas subsuperficiais do solo. De acordo com Zonta et al. (2006) as condições de estresse podem favorecer os gastos de carbono com o sistema radicular de espécies adaptadas de sistema radicular bem desenvolvido, o que é comum em solos brasileiros, por estes apresentarem baixa disponibilidade de nutrientes. Dessa forma quanto mais escassos os recursos do meio, maiores podem ser os investimentos em sistema radicular (Tingey et al., 2005).

De acordo com os resultados verificados na camada superficial do solo quanto menor for a intensidade de pastejo maiores são os teores de MOL_{NaOH} . Em contrapartida a área SP apresentou menores teores de MOL_{NaOH} quando comparada com as áreas pastejadas para a época PP. Para profundidades maiores que 5 cm não ocorreram diferenças entre estas áreas. Tais resultados mostram que, em uma primeira instância o pastejo favorece os teores de MOL_{NaOH} , e posteriormente que maiores intensidades de pastejo podem desfavorecer a MOL_{NaOH} , tal dinâmica foi observada apenas para a camada superficial do solo. De acordo com Assman et al. (2013) sistemas de ILP, com pastejo adequado, incrementam a produção de raízes e biomassa quando ocorre a desfolha da pastagem, o que promove aumento nos teores de nutrientes e MOS.

A área de Cerrado apresentou os menores teores de MOL_{NaOH} na época PP, em contrapartida para a época PL nesta área foram verificados os maiores teores, quando comparados aos das áreas de cultivo. Para o período com disponibilidade hídrica a cultura da soja tem menor capacidade de aporte de carbono que a área de Cerradão. A área de Cerradão adota como estratégia a deposição de serapilheira sobre o solo na época seca para posterior incorporação de carbono pela biota do solo no período chuvoso (Leite et al., 2010). Segundo Pereira et al. (2010) a MOL, além de ser composta por resíduos vegetais, pode ser incrementada significativamente por adição de resíduos de animais e microrganismos em diversos estádios de decomposição.

Em estudo sobre diferentes usos do solo, dentre eles a avaliação de uma cronossequência do sistema de plantio direto (SPD), Guareschi et al. (2012) verificaram teores de MOL ($4,21 \text{ g kg}^{-1}$) semelhantes ao deste estudo ($4,18 \text{ g kg}^{-1}$) para a área de Cerradão. Entretanto apenas o SPD de 20 anos de duração apresentou valores iguais de MOL quando comparado com a área de Cerradão. As condições edafoclimáticas do estudo de Guareschi et al. (2012) parecem ser similares ao deste estudo, sendo a mesma classificação para o solo e clima. Embora os autores não especifiquem claramente a época em que realizaram a coleta de solo, a discussão dos seus resultados leva a crer que foi no período seco. A informação de maior relevância do trabalho de Guareschi et al. (2012) para este estudo é que, mesmo em SPD de longa duração, os teores de MOL foram menores quando

comparados aos obtidos neste estudo, no inverno pela braquiária sob pastejo. A partir do observado pode-se destacar, a importância do SILP na estratégia de adicionar carbono ao solo.

Estudando diferentes atributos do solo em Montividiu, GO sob SILP, SPD e Cerradão, Loss (2011) não verificou diferenças nos teores de MOL para a camada de 0-5 cm entre as áreas de SPD e ILP. Entretanto o autor observou que na camada de 5 – 10 cm a área de ILP se equiparou à área de Cerradão, e foi maior que a área de SPD. O autor justifica seus resultados ao incremento de carbono em profundidade, promovido pelo sistema radicular da *Urochloa ruziziensis*. A coleta realizada pelo autor foi no mês de março, bem próxima a coleta PA desse estudo. É provável que, se o autor tivesse realizado a coleta pós ciclo de pastejo, e considerando que o SILP do seu estudo já apresenta um longo período de implantação, as diferenças entre a área de SILP e SPD poderiam ser maiores, e talvez a área de SILP pudesse apresentar teores superiores de MOL quando comparada área de Cerradão.

Diante dos resultados verificados para a MOL_{NaOH} , verifica-se a contribuição do sistema radicular da *Urochloa ruziziensis* no incremento da qualidade do solo. Também destaca-se a importância de serem feitas coletas em diferentes épocas para avaliar o SILP, ou ao menos ser considerada a sazonalidade aliada às coberturas vegetais na análise dos resultados. Em estudo onde se deseja avaliar o efeitos de sistemas integrados de produção em curto prazo, é mais do que conveniente que os períodos de agricultura e pecuária sejam, em primeira instância, avaliados de forma separada, para que numa fase posterior possam ser analisados em conjunto.

6.5.2 Sistema radicular presente em matéria orgânica leve em água ($MOL_{\text{água}}$).

Na tabela 20 são apresentados os estoques da matéria orgânica leve em água ($MOL_{\text{água}}$), e na Tabela 22 os estoques de massa seca de raízes leves em água ($RL_{\text{água}}$). Esses atributos constam de diferentes classes de tamanho, sob diferentes épocas de avaliação e usos da terra.

Para facilitar a discussão dos resultados os estoques do material orgânico leve em água retido na peneira de 2 mm foi denominado como MOL-Classe-3, do material retido na peneira de 1 mm como MOL-Classe-2 e do material retido na peneira de 0,5 mm como MOL-Classe-1. Seguindo a mesma sequência os estoques estimados para raízes foram denominados como RL-Classe-3, RL-Classe-2 e RL-Classe-1. Os estoques totais de matéria orgânica leve em água foram denominados como Est- $MOL_{\text{água}}$ enquanto os estoques totais estimados para as raízes leves em água foram denominados como Est- $RL_{\text{água}}$.

As respostas da $MOL_{\text{água}}$ ocorreram principalmente para as épocas avaliadas (Tabela 20). Foram verificados maiores Est- $MOL_{\text{água}}$ e MOL-Classe-3 para a época PP em todas as profundidades avaliadas. Assim mais uma vez é comprovado o benefício promovido pela *Urochloa ruziziensis* no incremento de MOS quando comparado com o cultivo da soja. Esses resultados são similares para as $RL_{\text{água}}$, pois para estimar a quantidade de raízes presentes na $MOL_{\text{água}}$ foram utilizadas 31 % das amostras para separação manual, rigorosa e cuidadosa das raízes, e foram utilizadas porcentagens padrão de raízes para cada camada avaliada (Figura 30).

Tabela 20. Matéria orgânica leve pós lavagem em peneiras de 2 mm (Classe 3), 1 mm (Classe 2) e 0,5 mm (Classe 1) e total de massa seca para uma área com Cerradão e áreas com sistema de integração lavoura-pecuária submetido a intensidades de pastejo em plantio direto.

	Classe 3		Classe 2		Classe 1		TOTAL	
-----kg ha ⁻¹ -----								
0-10 cm								
	PP	PL	PP	PL	PP	PL	PP	PL
IA	3608 (±365)	462 (± 93)	840 (± 140)	396 (± 22)	1970 (± 236)	1459 (± 494)	6418 (± 678)	2318 (± 571)
IM	5888 (± 636)	697 (± 78)	1354 (± 342)	546 (± 124)	1691 (± 384)	1330 (± 190)	8934 (± 815)	2573 (± 380)
IB	3904 (±894)	1173 (± 235)	803 (± 145)	589 (± 67)	1742 (± 136)	1389 (± 135)	6450 (± 961)	3151 (± 413)
SP	4438 (±137)	729 (± 328)	790 (± 82)	469 (± 57)	1910 (± 160)	1187 (± 69)	7137 (± 119)	2384 (± 453)
	CV(1): 7,63		CV(1): 1,19		CV(1): 4,91		CV(1): 4,79	
	CV(2): 6,80		CV(2): 0,71		CV(2): 4,17		CV(2): 2,54	
10 – 20 cm								
IA	382 (± 59)	198 (± 119)	280 (± 67)	184 (± 71)	615 (± 65)	476 (± 67)	1277 (± 87)	858 (± 218)
IM	654 (± 110)	168 (± 35)	209 (± 19)	218 (± 38)	584 (± 46)	564 (± 109)	1447 (± 164)	950 (± 117)
IB	610 (± 123)	143 (± 38)	236 (± 40)	166 (± 42)	644 (± 71)	380 (± 77)	1490 (± 216)	688 (± 132)
SP	1135 (± 265)	234 (± 38)	443 (± 128)	195 (± 26)	642 (± 70)	517 (± 139)	2220 (± 420)	946 (± 117)
	CV(1): 10,23		CV(1): 10,68		CV(1): 29,13		CV(1): 13,67	
	CV(2): 12,29		CV(2): 9,38		CV(2): 29,64		CV(2): 11,64	
20 – 30 cm								
IA	322 (± 73)	114 (± 8)	138 (± 16)	132 (± 5)	384 (± 68)	378 (± 35)	844 (± 131)	624 (± 35)
IM	410 (± 36)	89 (± 17)	112 (± 15)	68 (± 36)	400 (± 36)	352 (± 70)	923 (± 76)	509 (± 54)
IB	277 (± 41)	109 (± 24)	170 (± 37)	87 (± 17)	312 (± 63)	321 (± 40)	759 (± 100)	517 (± 79)
SP	332 (± 41)	102 (± 30)	129 (± 21)	166 (± 72)	281 (± 28)	254 (± 53)	741 (± 83)	522 (± 58)
	CV(1): 8,04		CV(1): 3,18		CV(1): 36,64		CV(1): 3,81	
	CV(2): 8,92		CV(2): 3,68		CV(2): 38,98		CV(2): 5,00	

Valores seguidos por letras maiúsculas iguais na coluna e minúsculas iguais na linha não diferem significativamente pelo teste t de Tukey a 5%. Classe 3: MOL retida na peneira de 2 mm; Classe 2: MOL retida na peneira de 1 mm; Classe 1: MOL retida na peneira de 0,5 mm; PP: avaliação pós-pastejo e PL: avaliação pós-lavoura. CV(1)= coeficiente de variação entre tratamentos (%), CV(2)= coeficiente de variação entre épocas (%). IA: intensidade alta de pastejo; IM: intensidade moderada de pastejo; IL: intensidade baixa de pastejo e SP: área sem pastejo.

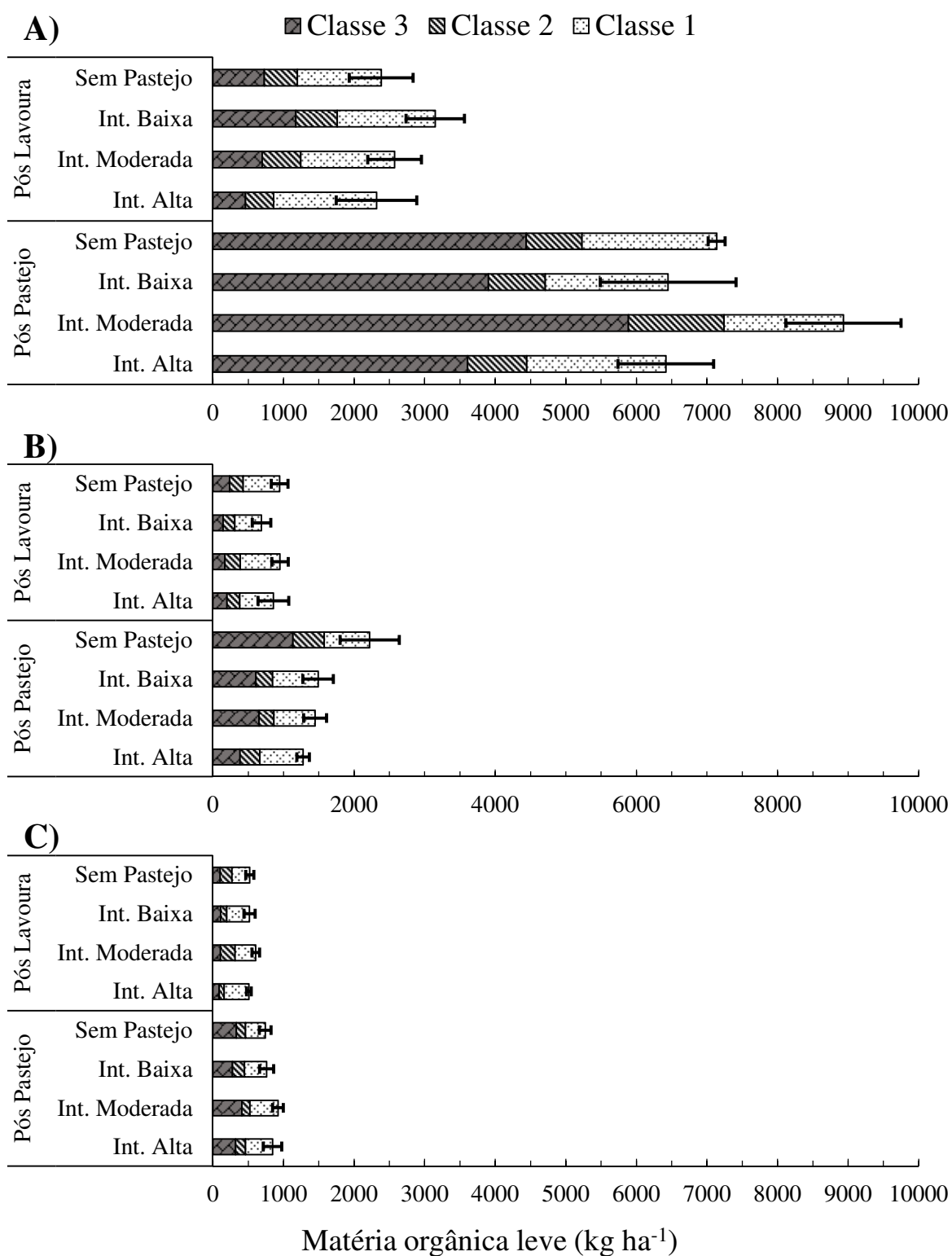


Figura 23: Estoques de matéria orgânica leve em água (Est-MOL_{água}) em sistema de integração lavoura-pecuária submetido a intensidades de pastejo em plantio direto.

A: 0-10 cm. B: 10-20 cm. C: 20-30 cm. Classe 3, Classe 2 e Classe 1: MOL retida nas peneiras de 2 mm, 1 mm e 0,5 mm, respectivamente. Obs: a barra de erros é referente ao somatório do material retido nas três peneiras: 2 mm, 1 mm e 0,5 mm.

avaliadas. Assim, não convém discutir de forma separada a $MOL_{\text{água}}$ e as $RL_{\text{água}}$ comparando as diferentes intensidades de pastejo e a área SP. Nesse estudo as áreas são comparadas apenas para $MOL_{\text{água}}$ e a massa estimada de $RL_{\text{água}}$ está apresentada na Tabela 21, com o objetivo apenas de ilustrar a massa radicular estimada nas diferentes áreas e profundidades.

A camada de 0 – 10 cm apresentou os maiores estoques de $MOL_{\text{água}}$ com grande discrepância quando comparada às outras profundidades (Figura 28). Nesta camada na área de IM foram observados os maiores estoques para a época PP, enquanto a área de IB apresentou os maiores estoques para a época PL. Essas diferenças ocorreram principalmente para a MOL-Classe-3, MOL-Classe-2 e Est- $MOL_{\text{água}}$.

Na época PP para a profundidade de 10 - 20 cm a área de SP foi a que apresentou os maiores Est- $MOL_{\text{água}}$, enquanto nessa mesma época para a profundidade de 20 – 30 cm a área de IM, novamente apresentou os maiores valores de estoque.

Se forem considerados os estoques para a camada de 0 - 30 cm (Figura 24) são verificadas diferenças entre as épocas avaliadas para as três classes de $MOL_{\text{água}}$, entretanto as maiores diferenças são observada para a MOL-Classe-3.

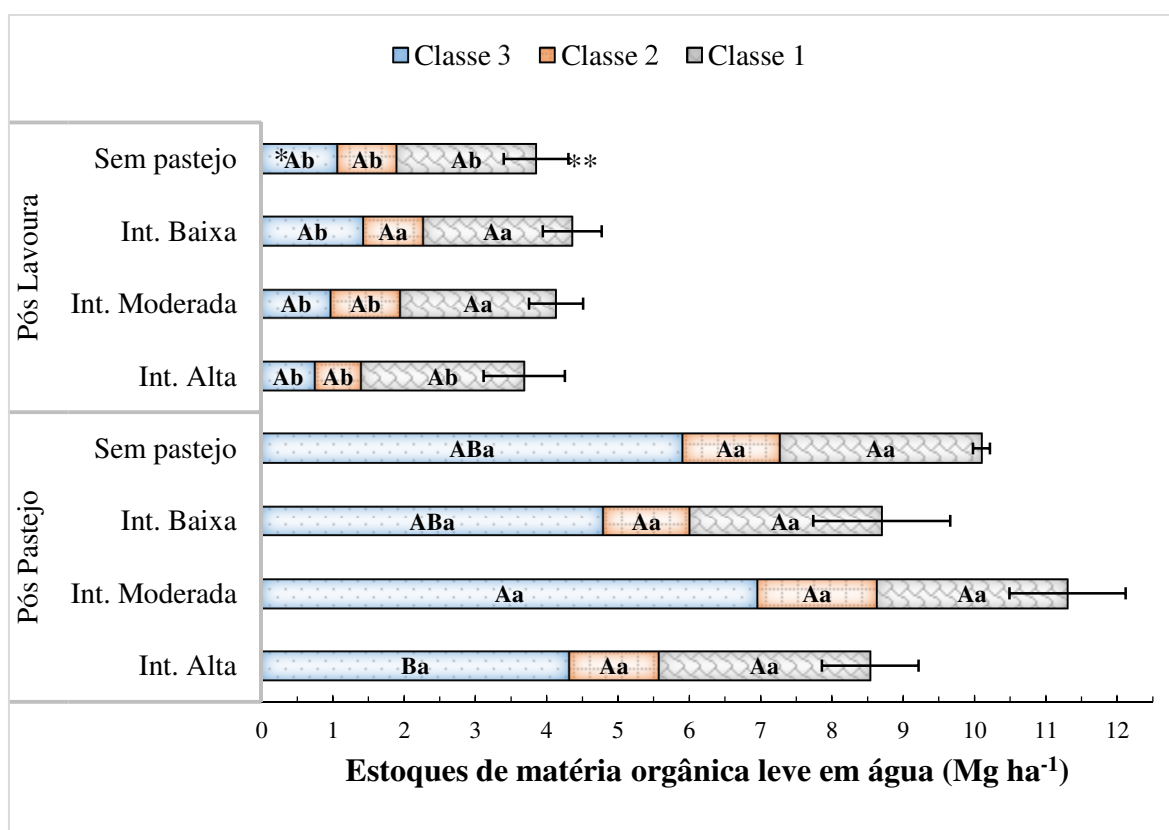


Figura 24. Estoques de matéria orgânica leve em água (Est- $MOL_{\text{água}}$) na camada de 0–30 cm em sistema de integração lavoura-pecuária submetido a intensidades de pastejo em plantio direto.

Classe 3, Classe 2 e Classe 1: MOL retida nas peneiras de 2 mm, 1 mm e 0,5 mm, respectivamente. *Letras maiúsculas comparam os tratamentos das diferentes áreas e as letras minúsculas comparam as épocas pelo teste t de Tukey a 5 % de significância. ** A barra de erros é referente ao somatório do material retido nas três tamises: 2 mm, 1 mm e 0,5 mm.

A MOL-Classe-3 se diferenciou entre tratamentos para a época PP onde a área de IM apresentou os maiores estoques e a área de IA apresentou os menores. Provavelmente em decorrência dos resultados da MOL-Classe-3 podem ser explicadas as os padrões similares para os Est- $MOL_{\text{água}}$ totais. Para as profundidades de 0 – 10 cm e 10 – 20 cm a MOL-Classe-3

e os Est-MOL_{água} tiveram correlação muito próxima a 1, de 0,97 (p = 0,01) e 0,94 (p = 0,01) para as respectivas profundidades.

De acordo com esses resultados, verifica-se que principalmente a MOL-Classe-3, quando comparada às outras classes avaliadas pode ser utilizada como um método prático para avaliar a qualidade do solo.

Os estoques de MOL_{água} e MOL_{NaOH} se inter-relacionaram positivamente com correlações de 0,67 (p= 0,01) e 0,61 (p= 0,01), para as profundidades de 0 – 10 e 10 - 20 cm, respectivamente. O mesmo ocorreu entre MOL_{NaOH} e MOL-Classe-3, sendo as correlações de 0,70 (p= 0,01) e 0,65 (p= 0,01), para as profundidades de 0 – 10 e 10 -20 cm, respectivamente. Tais correlações indicam que os métodos têm similaridades na quantificação da MOL para as diferentes áreas e épocas avaliadas. Embora possa haver teores e/ou estoques diferentes para uma mesma amostra, o padrão verificado para a distribuição dos valores da MOL nas diferentes áreas e épocas pareceu ser bastante similar.

Tabela 21. Correlação de Pearson (r) entre as diferentes classe de MOL_{água}, Est- MOL_{água} e MOL_{NaOH} do solo em sistema de integração lavoura-pecuária submetido a intensidades de pastejo em plantio direto.

	Est-MOL _{NaOH}	Classe 3	Classe 2	Classe 1
0 – 10 cm				
Classe 3	0,70**			
Classe 2	0,57**	0,69**		
Classe 1	0,13 ^{ns}	0,29 ^{ns}	0,21 ^{ns}	
Est-MOL_{água}	0,67**	0,97**	0,76**	0,49**
10 – 20 cm				
Classe 3	0,65**			
Classe 2	0,32*	0,71**		
Classe 1	0,34*	0,40*	0,21 ^{ns}	
Est-MOL_{água}	0,61**	0,94**	0,77**	0,64**

Est-MOL_{NaOH}: estoques de matéria orgânica leve com uso de dispersante do solo. Est-MOL_{água} : estoques de matéria orgânica leve em água sem uso de dispersante. Classe 3: MOL_{água} retida na peneira de 2 mm. Classe 2: MOL_{água} retida na peneira de 1 mm. Classe 1: MOL_{água} retida na peneira de 0,5 mm.

Finalmente, por meio dos resultados verificados para a MOL_{água} pode ser inferido que: (i) ocorre maior aporte de matéria orgânica pela palhada e/ou raízes da *Urochloa ruziziensis* quando comparada com a soja; (ii) há maior incremento nos estoques de MOL_{água} para a área de IM, quando comparada com a área não pastejada, indicando que o SILP pode ser benéfico em incrementar MOS; (iii) o pastejo com IA pode estar reduzindo o aporte de MOS, já nessa área predominam menores estoques de MOL_{água} por ocasião da época pós-pastejo; (iv) a ausência de diferenças entre as áreas para a época PL sugere que o sistema radicular da braquiária pode ter passado por um rápido processo de decomposição, principalmente a MOL-Classe-3, prevalecendo apenas o material leve proveniente da cultura da soja, que adicionou MOL_{água} de forma uniforme para as diferentes áreas em época PL.

Cerca de 50 a 70 % da MOL_{água} era composta de raízes leves (RL_{água}) nas diferentes áreas e épocas avaliadas (Figura 30). Estes resultados estão de acordo com Loss (2011) que, em seu estudo, afirma que grande parte da MOL é proveniente do sistema radicular da *Urochloa ruziziensis*.

Utilizando o método de refração para avaliar a origem do carbono no solo Kätterer et al. (2011), verificaram que em 16 diferentes tratamentos estudados na Suécia, predominando gramíneas como cobertura do solo, a contribuição do sistema radicular foi cerca de 2,3 vezes maior no carbono do solo, quando comparada à contribuição da parte aérea. Os autores

relatam que seu estudo dá suporte à hipótese do sistema radicular contribuir mais aos estoques de formas estáveis de carbono no solo. Assim, pode ser esperado que um sistema radicular abundante e de crescimento agressivo como o da *Urochloa ruziziensis* venha a contribuir mais no aporte de matéria orgânica leve quando comparado às outras fontes, como a parte aérea vegetal.

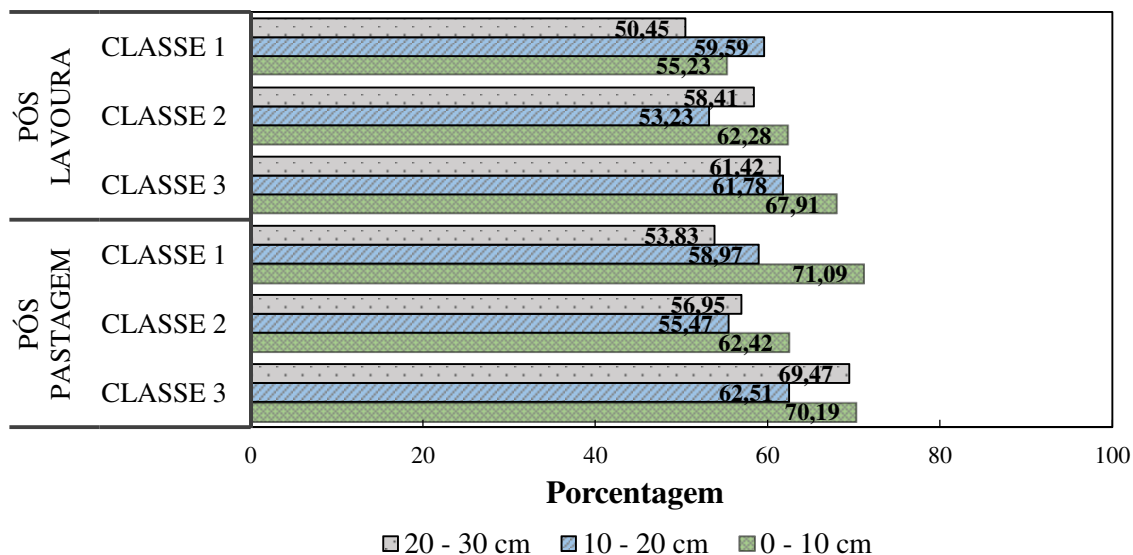


Figura 25. Porcentagem de massa de raízes leves na MOL_{água} retida nas diferentes peneiras utilizadas para as profundidades e épocas avaliadas em sistema de integração lavoura-pecuária submetido a intensidades de pastejo em plantio direto.

Classe 3: raízes retidas na tamise de 2 mm; Classe 2: raízes retidas na tamise de 1mm; Classe 1: raízes retidas na tamise de 0,5 mm. Obs: foram separadas manualmente 7 amostras por profundidade avaliada.

Raízes de menores diâmetros, além de conterem maiores teores de nitrogênio e fósforo, e maiores níveis de colonização micorrízica, disponibilizam os nutrientes de forma mais rápida mesmo tendo menor velocidade de decomposição quando comparadas às raízes de diâmetros maiores (Goebel et al., 2011). Diante disso, nesse estudo é verificado que para a peneira de 2 mm (RL-Classe-3), o material de raízes leves quantificado na época PL esteve na casa dos 10 à 30 % do quantificado na época PP. Já para o tamis de 1 mm (RL-Classe-2) e 0,5 mm (RL-Classe-3), o material quantificado variou de 39 a 131 % (Tabela 22).

Tabela 22. Massa seca de raízes leves em água pós lavagem, em peneiras de 2 mm (Ordem 3), 1 mm (Ordem 2) e 0,5 mm (Ordem 1) em sistema de integração lavoura-pecuária submetido a intensidades de pastejo em plantio direto.

	Ordem 3		Ordem 2		Ordem 1		TOTAL	2mm	1 mm	0,5mm	
	-----kg ha ⁻¹ -----										
	0-10 cm								PL/PP		
	PP	PL	PP	PL	PP	PL	PP	PL			
IA	2526 (± 376)	314 (± 93)	521 (± 140)	246 (± 22)	1399 (±236)	803 (± 494)	4445 (± 678)	1363 (± 571)	0,12	0,47	0,57
IM	4122 (± 636)	474 (± 78)	840 (± 342)	339 A(± 124)	1201 (±384)	731 (± 190)	6162 (± 815)	1544 (± 380)	0,12	0,40	0,61
IB	2733 (± 894)	798 (± 235)	498 (± 145)	365 (± 67)	1237 (±136)	736 (± 135)	4468 (± 961)	1899 (± 413)	0,29	0,73	0,59
SP	2996 (± 137)	496 (± 328)	476 (± 82)	291 (± 57)	1297 (±160)	653 (± 69)	4769 (± 119)	1439 (± 453)	0,17	0,61	0,50
	10 – 20 cm										
IA	241 (± 37)	123 (± 74)	154 (± 37)	97 (± 38)	363 (± 38)	314 (± 44)	758 (± 53)	534 (± 130)	0,51	0,63	0,87
IM	412 (± 70)	104 (± 22)	115 (± 10)	116 (± 20)	345 (± 27)	372 (± 72)	872 (± 100)	592 (± 76)	0,25	1,00	1,08
IB	384 (± 77)	88 (± 24)	130 (± 22)	88 (± 22)	357 (± 48)	251 (± 51)	871 (± 129)	427 (± 82)	0,23	0,68	0,70
SP	759 (± 198)	145 (± 23)	263 (± 84)	103 (± 14)	398 (± 55)	341 (± 92)	1419 (± 304)	590 (± 78)	0,19	0,39	0,86
	20 – 30 cm										
IA	222 (± 50)	70 (± 5)	79 (± 9)	76 (± 3)	207 (± 37)	189 (± 18)	508 (± 81)	335 (± 18)	0,31	0,97	0,91
IM	283 (± 25)	55 (± 10)	64 (± 9)	39 (± 21)	216 (± 19)	176 (± 35)	563 (± 46)	270 (± 27)	0,19	0,62	0,81
IB	187 (± 28)	67 (± 15)	97 (± 21)	50 B(± 10)	168 (± 34)	161 (± 20)	452 (± 59)	278 (± 43)	0,36	0,52	0,95
SP	229 (± 28)	62 (±18)	73 (± 12)	96 (± 42)	152 (± 15)	127 (± 26)	454 (± 51)	285 (± 35)	0,27	1,31	0,84

Valores seguidos por letras maiúsculas iguais na coluna e minúsculas iguais na linha não diferem significativamente pelo teste t de Tukey a 5%. Ordem 3: raízes retidas na peneira de 2 mm; Ordem 2: raízes retidas na peneira de 1 mm; Ordem 1: raízes retidas na peneira de 0,5 mm; PP: avaliação pós-pastejo e PL: avaliação pós-lavoura. CV(1)= coeficiente de variação entre tratamentos (%), CV(2)= coeficiente de variação entre épocas (%). IA: intensidade alta de pastejo; IM: intensidade moderada de pastejo; IB: intensidade baixa de pastejo e SP: área sem pastejo.

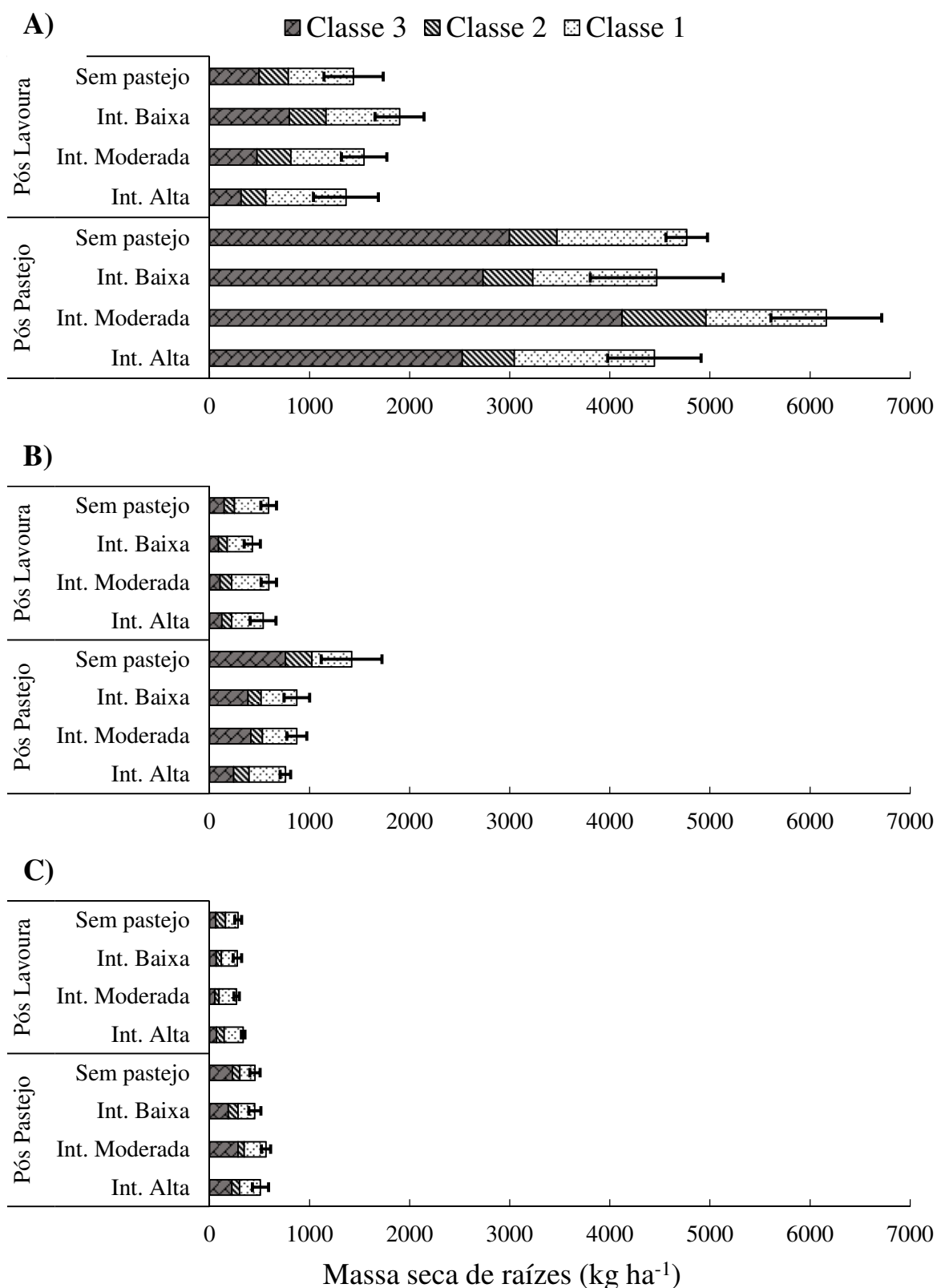


Figura 26. Estoques estimados de massa seca de raízes leves em água (Est-RL_{água}) em sistema de integração lavoura-pecuária submetido a intensidades de pastejo em plantio direto.

A: 0-10 cm. B: 10-20 cm. C: 20-30 cm. Classe 3, Classe 2 e Classe 1: MOL retida nas peneiras de 2 mm, 1 mm e 0,5 mm, respectivamente. Obs: a barra de erros é referente ao somatório do material retido nas três peneiras: 2 mm, 1 mm e 0,5 mm.

Muitas das vezes espera-se que as raízes de maior diâmetro, se decomponham mais lentamente quando comparadas as de menor diâmetro, (Fan & Guo, 2010) devido a maior relação C:N e maiores teores de lignina (Goebel et al., 2011). Entretanto os resultados em estudo de decomposição de raízes mostram padrão contrário, onde as raízes de menor diâmetro se decompõem de forma bem mais lenta, o que pode ser explicado por: (i) apresentarem maior associação micorrízica, sendo que os fungos liberam compostos químicos de defesa, inibindo a decomposição; (ii) apresentarem menores teores de carboidratos não estruturais, o que atrai menos a biota decompositora; (iii) apresentarem maiores teores de N, que inibem a atividade da lignase. Assim o processo de decomposição para as raízes se difere quando comparado com o típico processo dos resíduos da parte aérea de plantas (Fan & Guo, 2010, Goebel et al., 2011).

6.5.3 Teores de carbono (C), nitrogênio (N) e relação C/N de compartimentos da matéria orgânica do solo.

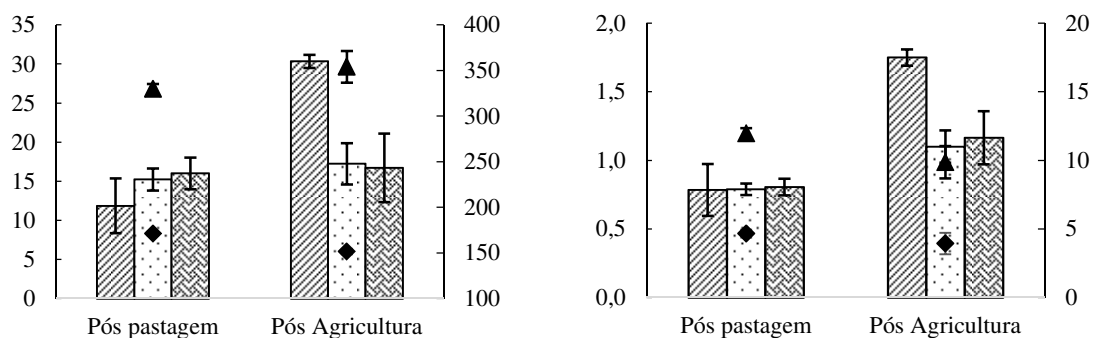
Foram quatro os compartimentos caracterizados quanto aos seus teores de carbono (C) e nitrogênio total (N), bem como a relação C/N para estes. Foram eles: a fração areia, separada para a determinação do C e N particulado; a matéria orgânica leve em água obtida após dispersão do solo com hidróxido de sódio (MOL_{NaOH}); a matéria orgânica leve em água sem o uso de dispersante ($MOL_{água}$); e as raízes leves em água ($RL_{água}$) obtidas a partir da ($MOL_{água}$). Os teores de C e N, e a relação C/N do solo foram utilizados apenas como referência.

Os teores de C e N para os diferentes compartimentos estão apresentados na Figura 32 para as áreas pastejadas, e na Figura 33 para a área de SP e Cerradão. Para as áreas cultivadas a fração areia apresentou menores teores de C e N quando comparados aos teores no solo. Esses resultados estão parcialmente de acordo com os verificados por Chan (2001) em estudo sobre frações da MOS na Austrália, e também com Freixo et al. (2002) em estudo sobre estoques de C e N no Cerrado de Goiás. Esses autores verificaram menores teores de C para a fração areia, entretanto quantificaram maior relação C/N para essa fração, quando comparada com o solo.

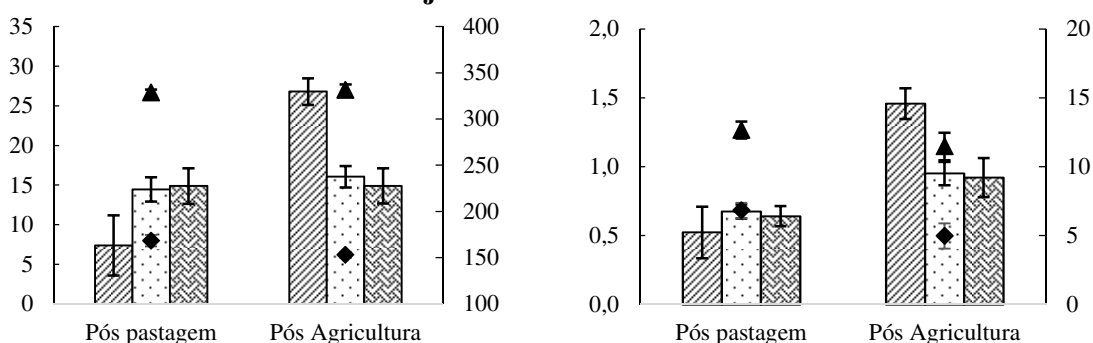
Para a área de Cerradão o padrão do N e do C da areia se diferenciou das áreas cultivadas. Na época seca (PP) os teores de N foram iguais para o solo e para a areia e na época chuvosa o teor de N foi bastante superior no solo. Tais resultados indicam que na época seca predomina material parcialmente decomposto na areia, pois não há incorporação de C no solo devido ao déficit hídrico. Para o período chuvoso predomina matéria orgânica recentemente adicionada, o que foi discutido no Capítulo III deste estudo. Visto à estratégia de remobilização do N pelas plantas do Cerradão, para reduzir gastos de energia com a absorção radicular, as folhas depositadas sobre o solo normalmente são pobres em nitrogênio (Nardoto, 2005).

A matéria orgânica recentemente adicionada da área de Cerradão pode ser considerada a MOL_{NaOH} e esta apresentou características peculiares para os teores de C e N. Em primeiro lugar MOL_{NaOH} da área de Cerradão teve os maiores teores de N em ambas as épocas avaliadas quando comparada com as áreas de cultivo. A matéria orgânica adicionada.

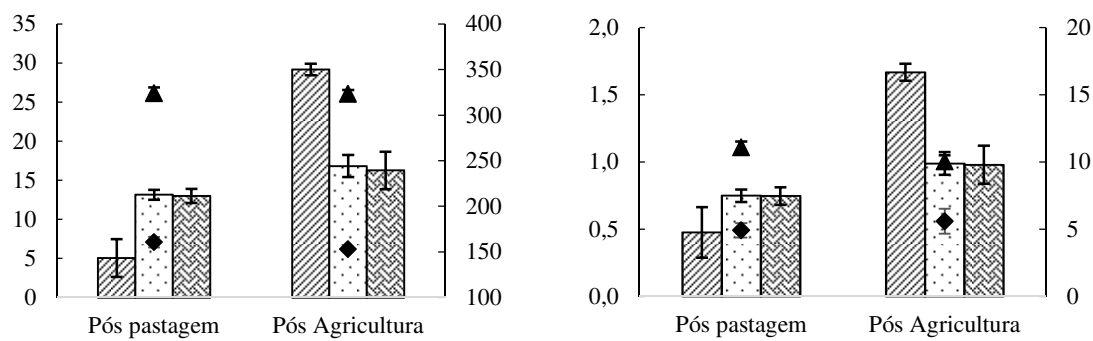
Pastejo: Intensidade Pesada



Pastejo: Intensidade Média



Pastejo: Intensidade Leve



Carbono (g kg⁻¹)

Nitrogênio (g kg⁻¹)

MOLNaOH
 MOLágua
 Raiz
 Solo
 Areia

MOLNaOH
 MOLágua
 Raiz
 Solo
 Areia

Figura 27. Teores de carbono e nitrogênio em diferentes frações da matéria orgânica do solo, na profundidade de 0-10 cm, em sistema de integração lavoura-pecuária submetido a intensidades de pastejo em plantio direto.

O eixo esquerdo é referente à areia e ao solo. O eixo direito se refere à matéria orgânica leve em água dispersa com NaOH (MOL_{NaOH}), matéria orgânica leve em água (MOL_{água}) e raízes leves em água (Raiz).

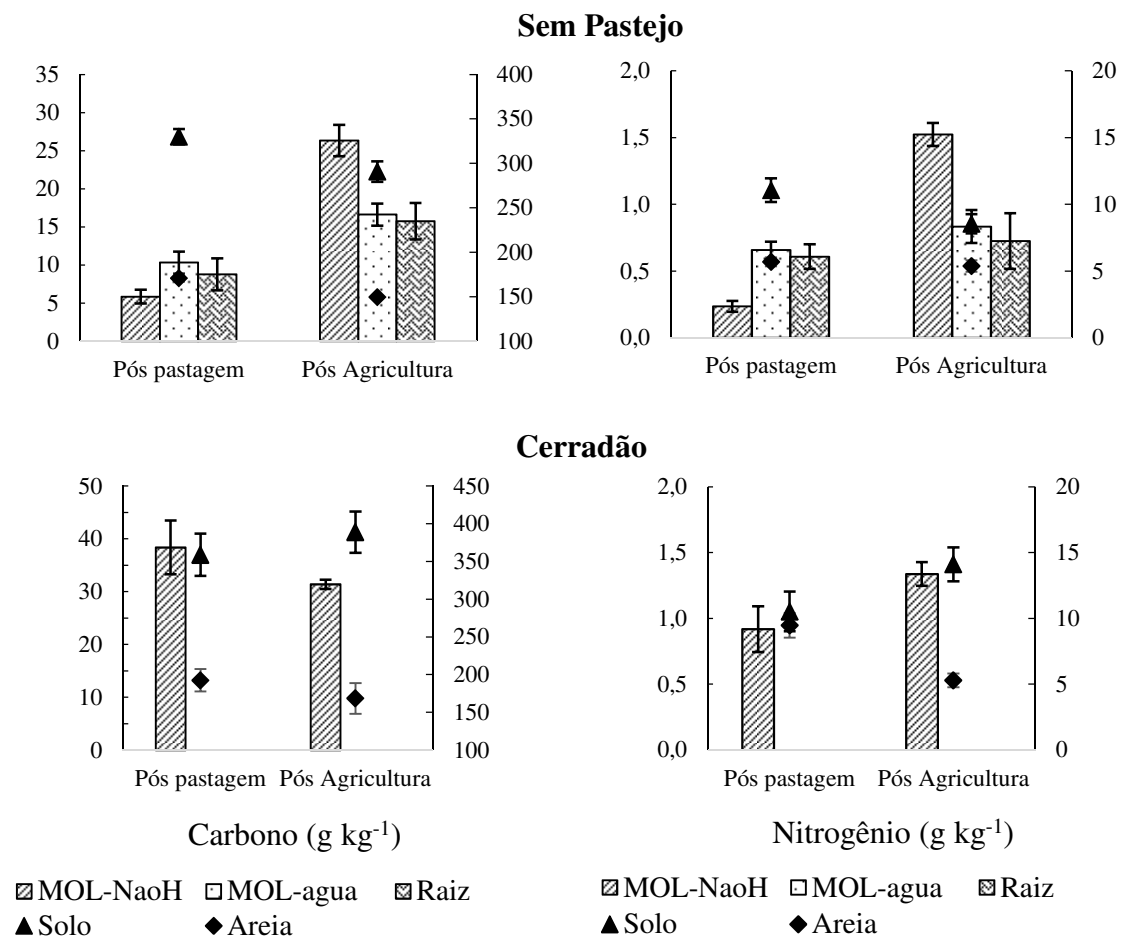


Figura 28. Teores de carbono e nitrogênio em diferentes frações da matéria orgânica do solo, na profundidade de 0-10 cm, em as áreas de sistema de plantio direto (Sem Pastejo) e Cerradão.

O eixo esquerdo é referente à areia e ao solo. O eixo direito se refere à matéria orgânica leve em água dispersa com NaOH (MOL_{NaOH}), matéria orgânica leve em água (MOL_{água}) e raízes leves em água (Raiz).

ao solo pela área de Cerradão é advinda de plantas C₃, enquanto para a rotação de culturas das áreas cultivadas a *Urochloa ruziziensis* tem mecanismo fotossintético das plantas C₄

Pela MOL da área de Cerrado apresentar maiores teores de C e N, esses resultados não são concordantes com o sugerido por Loss (2011). Em seu estudo o autor afirma que se adicionada MOL de forma equitativa para o Cerrado e o SILP, serão adicionados maiores quantias de C e N para o SILP, pois este sistema dispõe de plantas do mecanismo C₄, que tem melhor qualidade quando comparadas as plantas C₃ do Cerradão. Segundo o autor as plantas C₄ são de melhor qualidade, e em áreas de cultivo provavelmente apresentam maiores aportes de C e N quando comparadas aos aportes da MOL do Cerradão. Já os padrões observados por Freixo et al. (2002) corroboram com os resultados deste estudo, onde os autores verificaram maiores teores de C e N da fração leve livre (FLL) da matéria orgânica para a área de Cerradão quando comparada às outras áreas cultivadas.

As maiores diferenças verificadas entre épocas para as áreas cultivadas foram para os teores de C e N da MOL_{água}. Esses teores foram superiores na época chuvosa quando comparados com a época seca, e, além disso, a relação C/N reduziu para a época PL (Tabela 23). Tais resultados são um indício de que a MOL quantificada na época PL ainda é composta

de remanescentes dos resíduos da *Urochloa ruziziensis*, pois as gramíneas perenes, com seu sistema radicular agressivo alocam uma fração maior de C fotossintetizado para as raízes, quando comparadas com culturas anuais (Lovato et al., 2004). Assim, embora a relação C/N da palhada de soja também seja menor quando comparada a da braquiária (Torres et al., 2008), é provável que a baixa relação C/N seja proveniente de um estágio intermediário de decomposição da MOL.

A MOL_{água} e as RL_{água} apresentaram teores iguais de C e N quando comparadas entre si, estas frações apresentaram, na maioria das vezes, maiores valores de C e N na época seca e menores na época chuvosa quando comparados aos teores da MOL_{NaOH}. Assim embora os teores da MOL determinado pelos dois métodos tenham sido positivamente correlacionados, a qualidade da MOL quantificada se diferencia. De acordo com Compton & Boone (2002) a MOL é o compartimento da MOS que mais contribui como fonte de N e alguns outros nutrientes ao solo.

A MOL_{NaOH} foi a fração que, apresentou maior relação C/N (Tabela 23) para as áreas avaliadas na época PP. Tais resultados indicam que a MOL_{NaOH} provavelmente é a matéria orgânica mais recentemente adicionada ao solo. Em consequência disso é provável que, das frações da MOS avaliadas neste estudo, a mesma seja a mais eficiente em detectar impactos do manejo no solo. A MOL_{NaOH} também foi a única em que as relações C/N apresentaram redução sazonal para todas as áreas, podendo indicar que a mesma é sensível em quantificar a MOL adicionada pela cultura específica da época, ou, no entanto verificar se a MOL está em processo de decomposição.

Tabela 23. Relação C:N para o solo, para a fração areia e para a matéria orgânica leve para uma área com vegetação natural (Cerradão) e áreas com sistema de integração lavoura-pecuária submetido a intensidades de pastejo em plantio direto.

	Int. Alta	Int. Moderada	Int. Baixa	Sem Pastejo	Cerradão
Pós Pastagem					
Solo	23 Bb	21 BCa	24 ABa	25 Ba	36 Aa
Areia	18 Ba	12 Ca	14 Ba	14 Ba	14 Ba
MOL_{NaOH}	33 Aa	38 Aa	44 Aa	56 Aa	38 Aa
MOL_{água}	30 ABa	34 ABa	29 ABa	29 ABa	
RL_{água}	30 ABa	37 Aa	29 ABa	30 ABa	
Pós Agricultura					
Solo	30 Aa	25Aa	27 Aa	27 ABa	26 Ab
Areia	21 Aa	17 Aa	16 Ba	11 Bb	18 Aa
MOL_{NaOH}	21 Ab	23 Ab	21 ABb	22 ABb	24 Ab
MOL_{água}	23 Aa	26 Aa	26 Aa	31 Aa	
RL_{água}	21 Aa	27 Aa	28 Aa	29 ABa	
CV(1):	9,94	19,02	12,97	13,72	14,70
CV(2):	9,59	18,51	11,59	8,66	11,69

Valores seguidos por letras maiúsculas iguais na coluna e minúsculas iguais na linha não diferem significativamente pelo teste t de Tukey a 5%. Areia: fração separada no fracionamento granulométrico da matéria orgânica do solo; MOL_{NaOH}: matéria orgânica leve com uso do dispersante hidróxido de sódio a 0,1 mol L⁻¹; MOL_{água}: matéria orgânica leve em água; RL_{água}: raízes leves em água. CV(1)= coeficiente de variação entre as frações da matéria orgânica do solo (%), CV(2)= coeficiente de variação entre épocas (%).

Além dos resultados supracitados é possível verificar que a relação C/N da MOL_{água} aumenta na época PP à medida em que é reduzida a intensidade de pastejo. Através da análise desse padrão pode ser inferido que há maior ciclagem de N quando os animais pastejam, ou mesmo, diante da necessidade de renovação das raízes sob pastejo, parte das raízes mortas

esteja em processo intermediário de decomposição, influenciando assim nos teores de C e N (Figura 32).

As menores relações C/N foram verificadas na fração areia para ambas as épocas avaliadas, o que contraria diversos estudos na literatura (Chan, 2001; Freixo et al, 2002;). Outro aspecto interessante é que o solo da área de Cerradão apresentou relação C/N elevada e na época PP, maior que as áreas de cultivo, embora a braquiária favoreça adição de material de elevada relação C/N (Borgui & Crusciol, 2007). Já para a época PL as relações C/N do solo das áreas de cultivo e da área de Cerradão se equiparam, observando que para a área de Cerradão essa relação no solo teve redução sazonal.

Para a época chuvosa as maiores relações C/N foram verificadas nas frações $MOL_{\text{água}}$ e $RL_{\text{água}}$, o que sugere que o material “extra” quantificado pela MOL_{NaOH} na época PP apresente maior relação C/N e na época PL menor, quando comparados com a matéria orgânica leve em água, sem o uso de dispersante que confere o material orgânico leve livre. Esse material pode ser justamente o material contido entre as peneiras de 0,5 e 0,25 mm utilizadas para as diferentes metodologias.

6.6 CONCLUSÕES

A sazonalidade condicionou maior aporte de matéria orgânica ao solo no período chuvoso.

A matéria orgânica leve em água (MOL), com ou sem a dispersão prévia do solo, apresentou sensibilidade às mudanças de manejo e/ou sazonalidade.

As respostas ao manejo foram predominantes na camada superficial do solo, 0–5 cm para a MOL pós dispersão do solo (MOL_{NaOH}) e 0-10 cm para a MOL sem dispersão do solo (MOL_{água}).

O pastejo da *Urochloa ruziziensis*, principalmente para a intensidade média, favorece concomitantemente os aportes de MOL_{NaOH} e MOL_{água} na camada superficial do solo, sendo ferramenta benéfica e estratégica para melhorar a qualidade do solo diante do déficit hídrico do inverno.

Se a MOL for utilizada para avaliar manejo em sistemas integrados de produção, a sazonalidade e as coberturas vegetais devem estudados de forma particular para que numa fase posterior possam ser analisados de forma conjunta.

A *Urochloa ruziziensis* aporta maior quantidade de matéria orgânica pela sua palhada e/ou raízes quando comparada com a soja.

Mais da metade da MOL_{água} foi composta por raízes leves (RL_{água}) e destas, as retidas no tamis de 2 mm foram as que apresentaram maiores repostas ao manejo.

A MOL_{NaOH} e a MOL_{água} visto apresentarem-se em elevados teores, são importantes fontes de nitrogênio para o solo.

As elevadas relações carbono/nitrogênio da MOL_{NaOH} classificam essa matéria orgânica como a mais recentemente adicionada ao solo.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com o exposto nos capítulos anteriores foi verificado que alguns atributos se destacaram, apresentando maior sensibilidade às intensidades de pastejo e/ou à época de avaliação. As diferenças verificadas foram predominantes na camada de 0-5 cm, sendo também observadas diferenças com menor frequência para a profundidade de 5–10 cm.

Os atributos da fertilidade do solo (Capítulo I) que apresentaram maiores respostas ao manejo nas profundidades estudadas foram: (i) o potássio (K^+), com maior disponibilidade na avaliação pós-lavoura (PL) e de forma geral foram observados maiores teores na área sem pastejo (SP); (ii) os teores de $H^+ + Al^{+3}$ que, de maneira geral foram maiores na época PL, e menores na área SP quando os tratamentos são comparados; (iii) A CTC potencial do solo (valor T), que de forma geral foi maior nas áreas com as duas maiores intensidades de pastejo (IA e IM), principalmente para a época PL; (iv) a saturação por bases (V%), que foi menor para a área de intensidade leve, sendo também observadas reduções dos valores da época PP para a PL; (v) os teores de nitrogênio que tenderam a serem menores na época PA e (vi) os teores de fósforo remanescente (Prem) onde observou-se uma tendência de serem maiores nas áreas de IM e SP em época PL.

Os atributos físicos do solo (Capítulo II) mais responsíveis aos tratamentos foram: (i) a macroporosidade do solo (Ma), que na camada de 0–5 cm foi ou tendeu a ser menor na época PP, sendo que nessa época a área de SP apresentou os maiores valores. A Ma parece ter sido o atributo físico que mais foi alterado no processo evolutivo do sistema e de acordo com as três últimas avaliações apresenta tendência de incremento; (ii) a porosidade total do solo (Pt) que tendeu a ser maior na época PL, onde a área sem pastejo apresentou os menores valores. A Pt também vem sendo gradativamente incrementada nas áreas quando é considerada a evolução ocorrida desde o início do experimento; (iii) a densidade do solo, que tendeu a ser menor para a época PL e também a reduzir seus valores, de acordo com as últimas três avaliações realizadas. Na época PL a área de IA apresentou os maiores valores de densidade do solo.

As frações da matéria orgânica do solo (Capítulo III) que, além de serem citadas na literatura como mais responsivas ao manejo, indicando aporte ou perda de carbono, foram: (i) o carbono particulado (Cp), que quando analisado em paralelo a labilidade da MOS permitiu identificar que a MOS é mais lábil em época PP e que na profundidade de 5-10 cm é mais lábil para a área SP. (ii) A fração oxidável lábil (F1), em qual os teores das áreas de cultivo foram muito próximos ou até superiores a área de Cerradão. Para as áreas de cultivo a fração F1 tende a ser maior quanto menor for intensidade de pastejo, e também foi a fração que apresentou maior participação no carbono orgânico total; (iii) a soma das frações oxidáveis lábil (F1) e moderadamente lábil (F2), dentre as frações da matéria orgânica mais lábil, e portanto indica aporte de COT, foi a que apresentou maior correlação com os teores de COT com valores superiores a 0,80 ($p = 0,01$).

A matéria orgânica leve (Capítulo IV) foi o atributo mais sensível, seja a influência da cobertura vegetal e do manejo do solo ou a sazonalidade. Para os diferentes métodos de quantificação da matéria orgânica leve (MOL) foi observado: (i) a matéria orgânica leve em água, com dispersão prévia do solo, MOL_{NaOH} foi maior, em todos os casos na época PP nas áreas de pastejo. Esse atributo foi maior na área IB na camada de 0 – 5 cm, e maior na área de IP na camada de 5-10 cm, quando as áreas de cultivo são comparadas; (ii) a massa de matéria orgânica leve em água ($MOL_{água}$) e raízes leves em água ($RL_{água}$), obtidas a partir de amostras de solo coletadas com o monólito (indeformadas) de forma geral foram maiores para a época PP, sendo bastante superiores na camada de 0 – 5 cm. Os maiores estoques foram verificados na área de IM.

Para uma análise conjunta de todos os resultados encontrados foi realizada uma análise de componentes principais (ACP) com uso da extensão biplot do excel. Tal procedimento, realizado separadamente para as profundidades de 0-5 cm e 5-10 cm, e também para as áreas de cultivo e o Cerradão, visou: (i) selecionar atributos físicos e químicos do solo que apresentaram a maioria das diferenças encontradas nesse estudo; (ii) selecionar frações da matéria orgânica do solo que possam representar aporte recente de carbono nos tratamentos; (iii) selecionar atributos considerados de maior importância, principalmente por serem predominantemente limitantes para a produtividade das culturas nas condições edafoclimáticas do local; (iii) em um gráfico de ACP analisar como os atributos do solo se comportam perante as épocas e tratamento avaliados, e também verificar como estes se agrupam.

Foram selecionados os seguintes atributos, de forma empírica, para as áreas de cultivo: Carbono orgânico total (COT), carbono particulado (Cp), fração oxidável lábil (F1), soma da F1 e da fração oxidável moderadamente lábil (F1+F2), matéria orgânica leve em água (MOL_{NaOH}), potássio (K⁺), acidez potencial do solo (H⁺+Al⁺³), soma de bases (S), capacidade potencial de troca de cátions do solo (T), saturação por bases (V), nitrogênio total (N), fósforo assimilável (P), fósforo remanescente (Prem), macroporosidade do solo (Ma), porosidade total do solo (Pot), densidade do solo (Ds) e diâmetro médio de agregados (DMP).

Na Figura 33 está apresentada a ACP para as áreas de cultivo na profundidade de 0-5 cm. A análise de ACP avaliou o padrão dos atributos supracitados para as diferentes áreas e épocas avaliadas. Assim, quando interpoladas as áreas e épocas avaliadas resultam em oito tratamentos: (i) área de intensidade alta de pastejo em época pós pastejo (IA-PP); (ii) área de intensidade alta de pastejo em época pós lavoura (IA-PL); (iii) área de intensidade moderada de pastejo em época pós pastagem (IM-PP); (iv) área de intensidade moderada de pastejo em época pós lavoura (IM-PL); (v) área de intensidade baixa de pastejo em época pós pastagem (IB-PP); (vi) área de intensidade baixa de pastejo em época pós lavoura (IM-PL); (vii) área sem pastejo em época pós pastagem (SP-PP); (viii) área sem pastejo em época pós lavoura (SP-PL).

Também foi plotado o gráfico de ACP para a área de referência (Figura 34), principalmente para observar as respostas dessa área à sazonalidade.

O mesmo padrão analítico foi procedido para as áreas de cultivo na profundidade de 5–10 cm (Figura 35) e para a área de Cerradão na profundidade de 5-10 cm (Figura 36).

Para a profundidade de 0-5 cm, tanto para as áreas de cultivo quanto para a área de Cerradão verifica-se a distribuição dos atributos de acordo com as épocas avaliadas. Deve se atentar como os atributos e tratamentos se distribuíram ao longo do eixo x, pois o mesmo foi o que apresentou a maior porcentagem na explicação da variação, de 46,76 % e 56,03 % para as áreas cultivadas e a área de Cerradão, respectivamente. Nas áreas de cultivo a época PP ficou agrupada principalmente quadrantes superiores e também no quadrante inferior direito, enquanto a época PL nos quadrantes inferiores. Quando a área de Cerradão é avaliada a época seca (equivalente a época PP) esta fica agrupada a direita do eixo y e a na época chuvosa (equivalente à época PL) à esquerda.

Para a área de Cerradão, até os 5 cm de profundidade observa-se que há uma associação do COT, Valor S, N, Prem, Valor T, MOL, H⁺+Al⁺³, F1 e F1+F2 à época chuvosa de avaliação, onde a fertilidade do solo é melhorada devido às características sazonais, provavelmente o fator de maior influência seja a maior disponibilidade hídrica desse período. Já os atributos como o K, Cp, o V% e o P parecem estar mais equidistantes para o período seco e chuvoso. Nos resultados dos testes de comparação de médias o Cp apresentou redução sazonal, enquanto o K, o P e o V% tenderam a apresentar incrementos sazonais.

Para as áreas de cultivo MOL, a Pot, o N, o Cp, o K⁺, o V% , a S e o valor T ficaram agrupadas nos quadrantes direitos do eixo y e a análise mostrou que esses atributos estão associados a época PP. Sendo os diferentes tratamentos da época distribuídos dispersamente

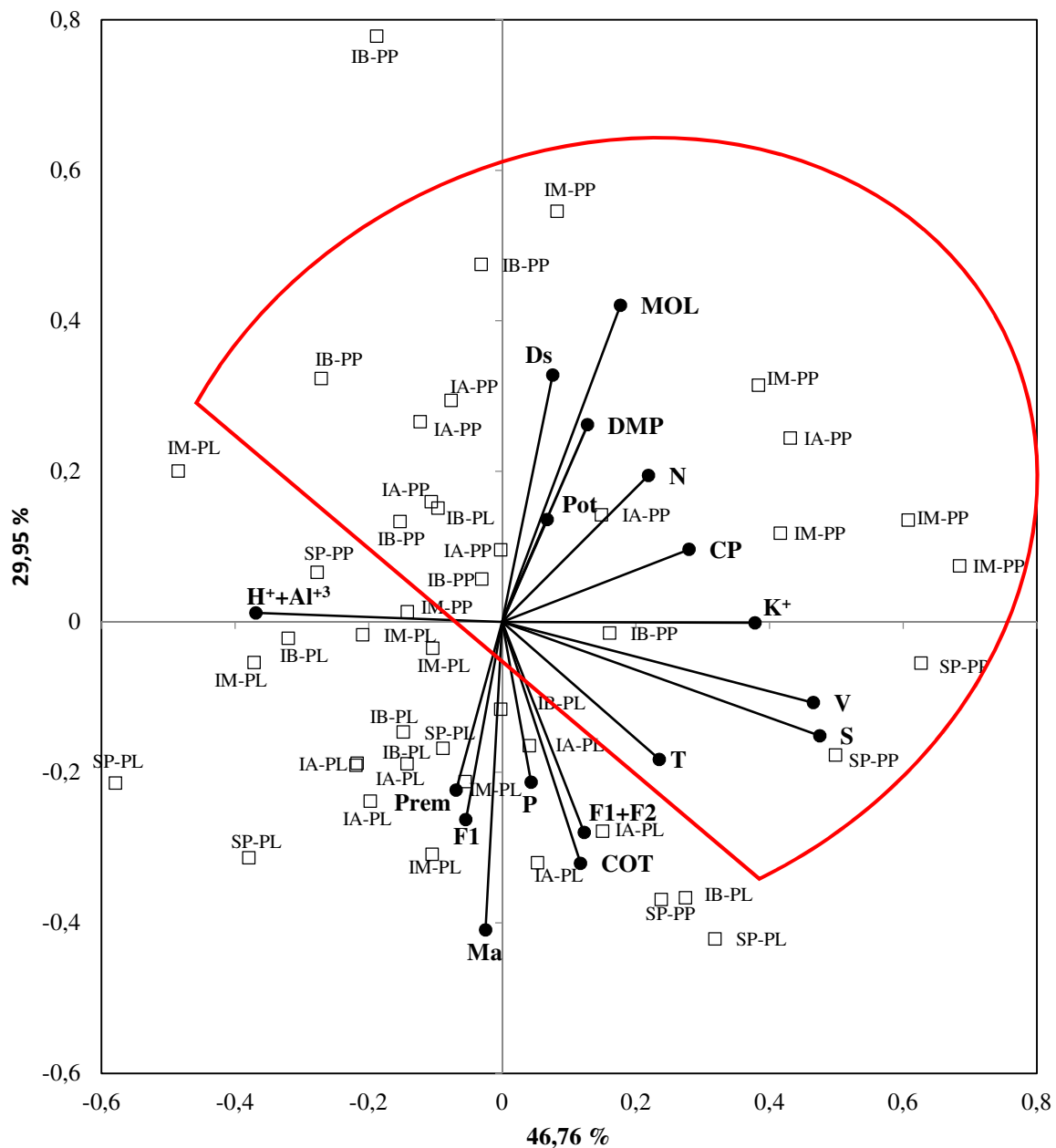


Figura 29. Análise de componentes principais, na profundidade de 0 – 5 cm em sistema de integração lavoura-pecuária submetido a intensidades de pastejo em plantio direto (Jataí – GO).

para esses atributos o que pode ser inferido em primeira instância é a influência da *Urochloa ruziziensis* sobre os mesmos. Quando sob pastejo principalmente a intensidade média, associa-se mais aos teores de K^+ , N, Cp e MOL e valores de D_s e DMP. Com ausência de pastejo há maior associação com a fertilidade do solo, para os valores de V%, S e T.

A área de IM, na época PL parece estar associada com os teores de H^+Al^{3+} , o que é concomitante com a associação dessa área com os teores de MOL e Cp. Assim infere-se que na época seca essa área aporta MOS, e na época chuvosa, com o processo de decomposição desta a acidez potencial do solo é incrementada.

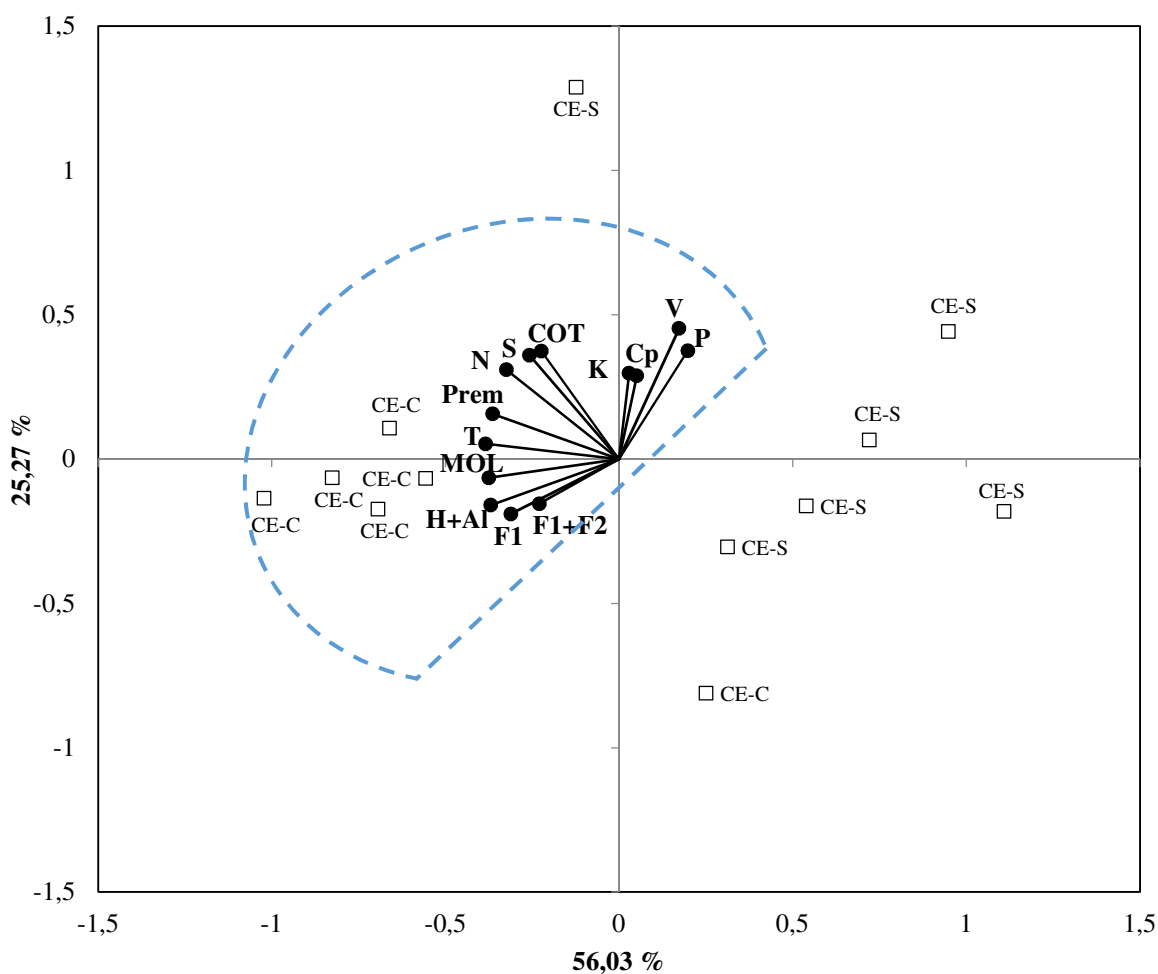


Figura 30. Análise de componentes principais, na profundidade de 0 – 5 cm, para a área de Cerradão, utilizada como referência na avaliação de áreas com diferentes usos em sistema de integração lavoura-pecuária em Jataí, GO.

A época pós lavoura (PL) se associou com a Ma e teores de Prem, frações F1, F1+F2, e COT. A partir da análise destes resultados, pode ser inferido que: (i) a decomposição do sistema radicular e os ciclos de umedecimento e secagem do solo da época PL incrementam a macroporosidade do solo; (ii) a adubação do solo e os aumentos de COT no período chuvoso, provavelmente decorrentes da incorporação de material orgânico pela biota do solo, melhoram a disponibilidade de P, aumentando também os teores de Prem no solo; (iii) a F1 e a F2 podem ser frações menos lábeis que o COP e a MOL, pois se comportaram de maneira oposta na ACP.

Para as áreas cultivadas na profundidade de 5–10 cm (Figura 36), de forma similar a camada superficial parece ter havido maior influência da época de avaliação na explicação dos resultados dos diferentes atributos avaliados. As áreas se agruparam predominantemente nos quadrantes inferiores para a época PP e nos quadrantes superiores para a época PL.

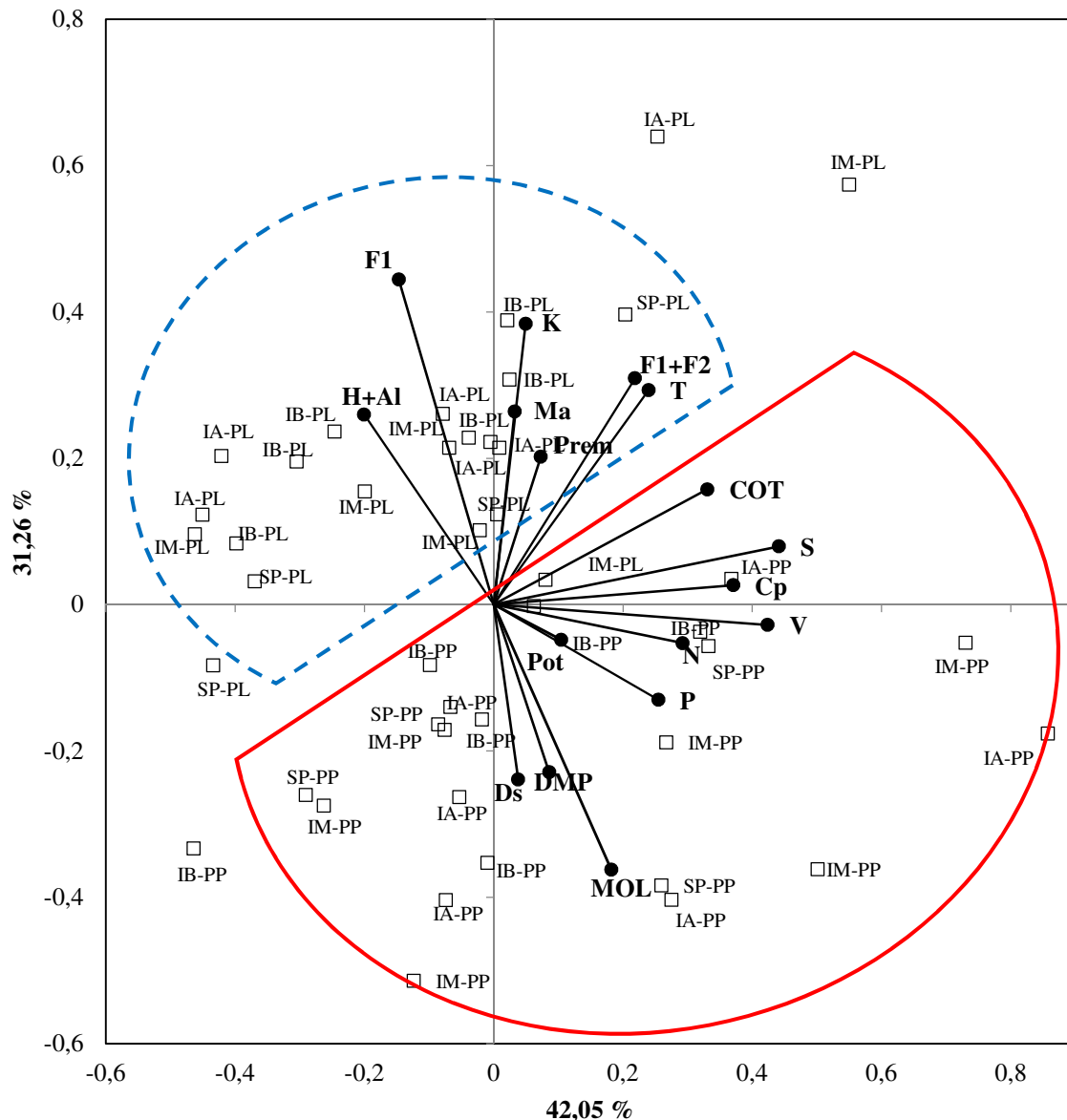


Figura 31. Análise de componentes principais, na profundidade de 5 - 10 cm em sistema de integração lavoura-pecuária submetido a intensidades de pastejo em plantio direto (Jataí – GO).

As áreas e atributos se comportaram de forma bastante similar a camada superficial, entretanto com algumas variações: (i) não estar ocorrendo qualquer relação dos atributos com as intensidades de pastejo; (ii) os teores de K^+ estão associados à época chuvosa de avaliação, podendo indicar assim deslocamento desse nutriente em profundidade, devido a maior disponibilidade hídrica e boa drenagem do solo estudado, associado a esse nutriente não estar associado ao tecido vegetal e com isto ser mais facilmente perdido por lixiviação; (iii) o P está associado a época seca, podendo indicar maior influência da ciclagem de nutrientes pelo sistema radicular da braquiária.

Na figura 37 é possível observar que novamente, para a camada de 5 – 10 cm os atributos da área de Cerradão estiveram associados à época chuvosa de avaliação, com exceção para o P.

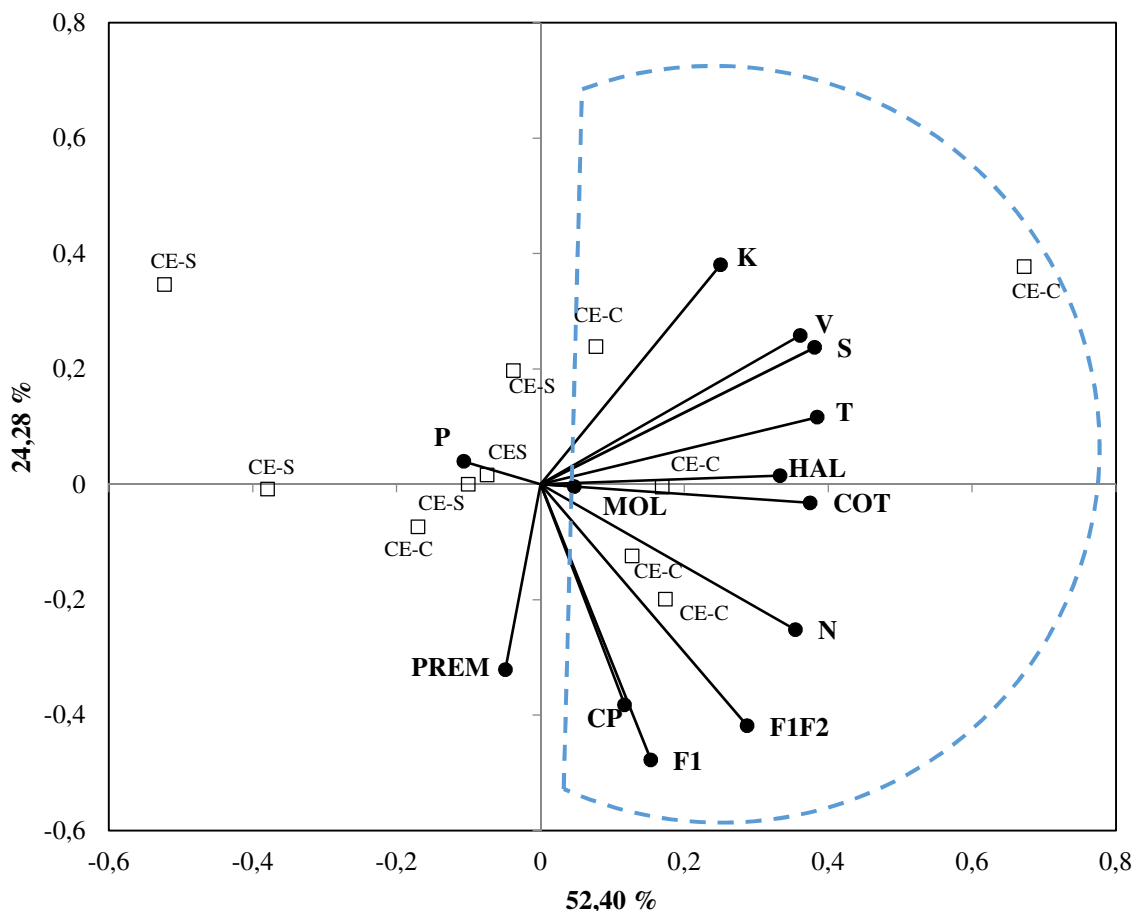


Figura 32. Análise de componentes principais, na profundidade de 5 – 10 cm, para a área de Cerradão, utilizada como referência na avaliação de áreas com diferentes usos em sistema de integração lavoura-pecuária em Jataí, GO.

De forma geral, verifica-se que a sazonalidade proporcionou uma influência oposta ao padrão observado para as áreas cultivadas (coletadas nas mesmas ocasiões). A época chuvosa potencializa a adição de matéria orgânica e melhoria da fertilidade do solo. Entretanto para as áreas cultivadas na época PP, que tem baixa disponibilidade hídrica ocorreram melhorias significativas na qualidade do solo. Diante destes resultados infere-se que a *Urochloa ruziziensis* incrementa benefícios à qualidade do solo no período seco, protegendo o mesmo dos agentes climáticos, por cobrir perfeitamente o solo, e incrementar o conteúdo de matéria orgânica e a fertilidade do solo, principalmente através do seu sistema radicular.

8 CONCLUSÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

O pastejo pelo gado na *Urochloa ruziziensis*, em qualquer intensidade, não promoveu impactos danosos à produtividade da soja, no sistema de integração lavoura-pecuária.

A adubação potássica utilizada para a soja deve ser reformulada. Sugere-se que esta também seja realizada na pastagem, visto ao provável balanço negativo deste nutriente no sistema de integração lavoura-pecuária estudado.

Quanto maior for a intensidade de pastejo menor pode ser o intervalo entre a dessecação e a semeadura da soja, pois neste estudo a palhada da braquiária atuou como barreira física e luminosa, dificultando a germinação da soja.

Os resultados dos atributos físicos avaliados sugerem que a qualidade destes está sendo incrementada no sistema de integração lavoura-pecuária.

O carbono total e as frações granulométricas da matéria orgânica indicaram similiares entre as intensidades de pastejo, entretanto o fracionamento oxidável e os teores de matéria orgânica leve em água indicaram a intensidade média como o melhor tratamento a ser aplicado.

As diferenças verificadas neste estudo são predominantemente decorrentes da época de avaliação, com influência benéfica da *Urochloa ruziziensis* para a maioria dos atributos.

Coletas de solo em diferentes épocas, para avaliar cada cobertura do solo, e a avaliação da área Cerradão para verificar influências sazonais, foram fatores indispensáveis para análise dos resultados.

O sistema de integração lavoura-pecuária ainda está em fase de consolidação, por isso futuros estudos na área são necessários, para que seja avaliado quanto o solo é alterado e qual o tempo necessário para que o equilíbrio de seus atributos seja alcançado.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE, J.A.; SANGOI, L.; ENDER, M. Efeitos da integração lavoura-pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. R. Bras. Ci. Solo, v.25, p.717-723, 2001.
- ALVAREZ V.H.; NOVAIS, R. F.; DIAS, L. E.; OLIVEIRA, J. A. Determinação e uso do fósforo remanescente. B. Inf. Soc. Bras. Ci. Solo, 25:27-32, 2000.
- ANDERSON, J.M.; INGRAM, J.S.I. Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods. Wallingford: CAB International, 171p., 1989.
- ANGHINONI, I.; CARVALHO, P.C.F.; MORAES, A.; SOUZA, E.D.; CONTE, O.; LANG, C.R. Benefícios da integração lavoura-pecuária sobre a fertilidade do solo em sistema plantio direto. Fertilidade do solo em plantio direto. Ponta Grossa: AEAGPG, p. 1-31, 2011 .
- ANGHINONI, I.; CARVALHO, P.S.F.; COSTA, S.V.G.A. Abordagem sistêmica do solo em sistemas integrados de produção agrícola e pecuária no subtropico brasileiro. In: Tópicos em ciência do solo, Volume 8. Viçosa. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. p. 325-380, 2013.
- ARSHAD, M.A.; LOWERY, B.; GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN, J.W.; JONES, A.J. (Ed.). Methods for assessing soil quality. Madison: Soil Science Society of America. p.123-141, 1996. (SSSA special publication, 49).
- ASSMANN, J.M.; ANGHINONI, I.; MARTINS, A.P.; COSTA, S.E.V.G.D.A.; CECAGNO, D.; CARLOS, F.S.; CARVALHO, P.C.D.F. Soil carbon and nitrogen stocks and fractions in a long-term integrated crop–livestock system under no-tillage in southern Brazil. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2013.
- BALBINO L. C.; CORDEIRO, L.A.M.; SILVA, V.P.; MORAES, A.; MARTÍNEZ, G.B.; ALVARENGA, R.C.; KICHEL, A.N.; FONTANELI, R.S.; SANTOS, H. P.; FRANCHINI, J.C.; GALERANI, P.R.; Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 46, n. 10, p. i-xii, 2011.
- BALBINO, L. C.; BRUAND, A.; BROSSARD, M.; GUIMARÃES, M. F. Comportement de la phase argileuse lors de la dessiccation dans des Ferralsols microagrégés du Brésil: role de la microstructure et de la matière organique. Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Paris, v. 332, p. 673–680, 2001.
- BALBINOT JUNIOR, A.A.; VEIGA, M.; VOGT, G.A.; SPAGNOLLO, E.; Atributos de solo e produtividade de feijão após diferentes formas de uso do solo no inverno, no quinto ano de experimentação. Ciência Rural, Santa Maria, v.42, n.3, p. 401-406, 2012.
- BARRETO, P.A.B.; GAMA-RODRIGUES, E.F.; GAMARODRIGUES, A.A.; FONTES, .G.; POLIDORO, J.C.; MOÇO, M.K.S.; MACHADO, R.C.R. & BALIGAR, V.C. Distribution of oxidizable organic C fractions in soils under cacao agroforestry systems in Southern Bahia. Agroforestry systems, v. 81, n. 3, p. 213-220, 2011.
- BASTOS, R. S.; MENDONÇA, E. S.; ALVAREZ, V. H.; V.(3), MARCELO METRI CORRÊA, M. M.; COSTA, L. M.; Formação e estabilização de agregados do solo influenciados por ciclos de umedecimento e secagem após adição de compostos orgânicos

com diferentes características hidrofóbicas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. Vol 29, p. 21-31, 2005.

BATISTA, I. Atributos edáficos e fauna do solo em áreas de integração lavoura-pecuária no Bioma Cerrado, Mato Grosso do Sul. 2011. 124 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2011.

BATISTA, I.; CORREIA, M.E.F.; PEREIRA, M.G.; BIELUCZYK, W.; SCHIAVO, J.A.; DE MELLO, N.A. Caracterização dos agregados em solos sob cultivo no cerrado, MS. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 34, n. 4, p. 1535-1548, 2013a.

BATISTA, I.; CORREIA, M.E.F.; PEREIRA, M.G.; BIELUCZYK, W.; SCHIAVO, J.A.; DE MELLO, N.A.; ROWS, J.R.C. Teores e estoque de carbono em frações lábeis e recalcitrantes da matéria orgânica do solo sob integração lavoura-pecuária no bioma Cerrado. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 34, n. 6, p. 3377-3388, 2013b.

BATISTA, K.; MONTEIRO, F.A. Sistema radicular do capim marandu considerando as combinações de doses de nitrogênio e de enxofre. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.30, p.821-828, 2006.

BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, F. A. O.; CAMARGO, F. A. O., Eds 2. Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre, Genesis, p.7-26, 2008.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Armazenamento de Carbono em Frações Lábeis da Matéria Orgânica de um Latossolo Vermelho sob Plantio Direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 39, n. 7, p. 677-683, 2004.

BELL, L. W.; MOORE, A. D. Integrated crop–livestock systems in Australian agriculture: Trends, drivers and implications. *Agricultural Systems*, v. 111, p. 1-12, 2012.

BELLOWS, Barbara. Nutrient cycling in pastures. *Livestock Systems Guide*, 2001.

BERG, B; MCCLAUGHERTY, C. Plant litter: decomposition, humus formation, carbon sequestration. Springer, 2008.

BERWANGER, A.L. Alterações e transferências de fósforo do solo para o meio aquático com o uso de dejetos líquidos de suínos. Santa Maria: UFSM, 2006. 102p. Dissertação de Mestrado.

BIRCHAM, J.S. Herbage growth and utilization under continuous stocking management. 1981. Thesis (Ph.D), University of Edinburgh, Edinburgh, 1981.

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, p.1459-1466, 1995.

BOLINDER, M.A.; ANGERS, D.A.; GREGORICH, E.G.; CARTER, M.R. The response of soil quality indicators to conservation management. *Canadian Journal Soil Science*, Ottawa, v.79, p.37-45, 1999.

BONETTI, J.A. Atributos Físicos do solo em Sistema de integração lavoura-pecuária submetido a intensidades de pastejo no Cerrado. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Universidade Federal de Goiás. 58 p. 2013.

- BOONE, R.D. Light-fraction soil organic matter: origin and contribution to net nitrogen mineralization. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 26, n. 11, p. 1459-1468, 1994.
- BORGHI, E.; CRUSCIOL, C.A.C. Produtividade de milho, espaçamento e modalidade de consorciação com *Brachiaria brizantha* em sistema plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 42, n. 2, p. 163-171, 2007.
- BRADY, NYLE C.; WEIL, RAY R. Elementos da natureza e propriedades dos solos. Bookman, 2012.
- BRANDAO, E.D.; SILVA, I.F. Formação e estabilização de agregados pelo sistema radicular de braquiária em um Nitossolo Vermelho. *Ciência Rural*, vol.42, n.7, p. 1193-1199, 2012.
- BRASIL, F.C.; ZONTA, E.; OLIVEIRA, M.R.G. Métodos de amostragem e quantificação para estudos do sistema radicular em condições de campo – uma revisão crítica. *Revista Universidade Rural, Sér. Ciência e Vida. Seropédica, RJ, EDUR*, v. 27, n. 2, p. 14-33., 2007.
- BRIEDIS, C.; DE MORAES SÁ, J.C.; CAIRES, E.F.; DE FÁTIMA NAVARRO, J.; INAGAKI, T. M.; DE OLIVEIRA FERREIRA, A. Carbono do solo e atributos de fertilidade em resposta à calagem superficial em plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 47, n. 7, p. 1009-1016, 2012.
- BUCKMAN, H.O. & BRADY, N.C. Natureza e propriedade dos solos. 7. ed. Tradução de A. B. de Figueiredo Filho. Rio de Janeiro, Freitas Bastos, 1989.
- CAMARGO, M.S.; BARBOSA, C.S.; RESENDE, R.E.; KORNDÖRFER, G.E.; PEREIRA, H.S. Fósforo em solos de cerrado submetidos a calagem. *Bioscience Journal*, v. 26, n. 2, p. 187-194, Uberlândia. 2010.
- CAMBARDELLA, C.A. & ELLIOTT, E.T. Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Science Society of America Journal, Madison*, vol. 56, p. 777-783, 1992.
- CARMO D.N; CURI N.; RESENDE M. Caracterização e gênese de Latossolos da região do Alto ParanaíbaMG. Parte de tese. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 8, 1984.
- CARMO, F.F.; FIGUEIREDO, C.C; RAMOS, M.L. G; VIVALDI, L.J.; ARAÚJO, L.G. Frações granulométricas da matéria orgânica em Latossolo sob plantio direto com gramíneas. *Biosci. J.*, Uberlândia, v. 28, n. 3, p. 420-431, 2012.
- CARVALHO, A.M.; SOUZA, L.L.P.; GUIMARÃES JÚNIOR, R.G.; ALVES, P.C.A.C.; VIVALDI, L.J. Cover plants with potential use for crop-livestock integrated systems in the Cerrado region. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 46, n. 10, p. 1200-1205, 2011.
- CARVALHO, J. L. N. G. S. RAUCCI, C. E. P. CERRI, M. BERNOUX, B. J. FEIGL, F. J. WRUCK, AND C. C. CERRI. Impact of pasture, agriculture and crop-livestock systems on soil C stocks in Brazil. *Soil & Tillage Research* 110:175-186, 2010b.
- CARVALHO, P.C. de F.; ANGHINONI, I.; MORAES, A. de; SOUZA E.D. de; SULC, R.M.; LANG, C.R.; FLORES, J.P.C.; LOPES, L.M.T.; SILVA, J.L.S. da; CONTE, O.; WESP, C.L.; LEVIEN, R.; FONTANELI, R.S.; BAYER, C. Managing grazing animals to achieve nutrient cycling and soil improvement in no-till integrated systems. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v.88, p.259-273, 2010a.
- CARVALHO, P.C.F.; MORAES, A; ANGHINONI, I; LANG, C.R.; SILVA, J. L. S.; SULC, R.M.; TRACY, B.; O estado da arte em integração lavoura e pecuária. In: *Ciclo de Palestras em Produção e Manejo de Bovinos*, 10., 2005, Porto Alegre. Anais... Canoas: ULBRA, . p.7-44, 2005.

- CASTRO FILHO, C. de; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 22, n. 3, p. 527-538, 1998.
- CASTRO, G.S.A.; CALONEGO, J.C.; CRUSCIOL, C.A.C. Propriedades físicas do solo em sistemas de rotação de culturas conforme o uso de corretivos da acidez. *Pesquisa agropecuária brasileira*, vol.46, n.12, p. 1690-1698, 2011.
- CECATO, U., CANO, C.C.P., BORTOLO, M., HERLING, V.R., CANTO, M.W.D.; CASTRO, C.R.D.C. Teores de carboidratos não-estruturais, nitrogênio total e peso de raízes em coastcross-1 (*Cynodon dactylon* (L.) Pers) pastejado por ovinos. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.30, n.2, p.644-50, 2001.
- CERLI, C.; CELI, L.; KALBITZ, K.; GUGGENBERGER, G.; & KAISER, K. Separation of light and heavy organic matter fractions in soil—Testing for proper density cut-off and dispersion level. *Geoderma*, v. 170, p. 403-416, 2012.
- CERRI, C.C., BERNOUX, M., CERRI, C.E.P., LAL, R. Challenges and opportunities of soil carbon sequestration in Latin America. In: LAL, R., CERRI, C.C., BERNOUX, M., ETCHEVERS, J., CERRI, C.E.P. (Eds.), *Carbon sequestration in soils of Latin America*. p. 41–47, 2006.
- CESSA, R.M.A.; VITORIANO, A.C.T.; CELI, L.C.; NOVELINO, J.O.; BARBERIS, E. Adsorção de fósforo em frações argila na presença de ácido fúlvico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, vol.34, n.5, p.1535-1542, 2010.
- CHAN, K. Y. Soil particulate organic carbon under different land use and management. *Soil use and management*, v. 17, n. 4, p. 217-221, 2001.
- CHAN, K. Y.; BOWMAN, A.; OATES, A. Oxidizidable organic carbon fractions and soil quality changes in an oxic paleustalf under different pasture ley. *Soil Science*, 166: 61-67. 2001.
- CHIODEROLI, C.A., FURLANI, C.E., AGUIAR, A.O., CAVICHIOLI, F.A., & CASSIA, M.T. Operational parameters of soybean seeding in santa fe system. *Engenharia Agrícola*, v. 32, n. 5, p. 900-908, 2012.
- CHRISTENSEN, B. T. Structure and organic matter storage in agricultural soils. In: CARTER, M. R.; STEWART, B. A. (Ed.). *Structure and organic matter storage in agricultural soils*. Boca Raton: CRC Press, p. 97- 165, 1996.
- COMPTON, J.E.; BOONE, R.D. Soil nitrogen transformations and the role of light fraction organic matter in forest soils. *Soil Biol. Biochem.*, 34:933-943, 2002.
- CONCEIÇÃO, P.C.; CARNEIRO, T. J.; MIELNICZUK, J.; Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, v. 29, n. 5, 2005.
- CONTE, O. Atributos físicos de solo e demanda de tração em semeadura direta de soja, com diferentes pressões de pastejo em sistema de integração lavoura-pecuária. (Tese de Mestrado), 91p., Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2007.
- CONTE, O.; FLORES, J.P.C.; CASSOL, L.C.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P.C. de F.; LIEVIN, R.L.; WESP, C. de L. Evolução de atributos físicos de solo em sistema de integração lavoura-pecuária. *Pesquisa agropecuária brasileira*, v. 46, n. 10, p. 1301-1309, 2011.

- CORSINI, P.C.; FERRAUDO, A.S; Efeitos de sistemas de cultivo na densidade e macroporosidade do solo e no desenvolvimento radicular do milho em Latossolo Roxo, Pesquisa Agropecuária Brasileira, v,34, p. 289-298, 1999.
- CORSINI, P. C.; FERRAUDO, A. S. Efeitos de sistemas de cultivo na densidade e macroporosidade do solo e no desenvolvimento radicular do milho em Latossolo Roxo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 34, n. 2, p. 289-298, 1999.
- COSTA NETO, P. R. & ROSSI, L.F.S. Produção de biocombustível alternativo ao óleo diesel através da transesterificação de óleo de soja usado em fritura. Química Nova, v.23, p. 4, 2000.
- COUTINHO, F.S.; LOSS, A.; PEREIRA, M.G.; RODRIGUES JUNIOR, D.J.; TORRES, J.L.R. Estabilidade de agregados e distribuição do carbono em Latossolo sob sistema plantio direto, Uberaba, Minas Gerais. Comunicata Scientiae, v.1, p.100-105, 2010.
- DAY, P. R. Particle fractionation and particle-size analysis. In: BLACK, C. A. (Ed.). Methods of soil analysis. Madison: American Society of Agronomy, v. 1, p. 545-556, 1965.
- DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; Atributos físicos do solo e produtividade da soja em sistema de integração lavoura-pecuária com braquiária e soja. Ciência Rural. vol.42, n.7, p. 1180-1186, 2012.
- DEMOLINARI, M.S.M.; SILVA, I.R.; LIMA, M.A.N.; VERGUTZ, L; SÁ, E.M. Efeito da solução de separação densimétrica na quantidade e qualidade da matéria orgânica leve e na quantificação do carbono orgânico da fração pesada. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.32, p. 871-879, 2008.
- ELIAS, F.; MARIMON, B.S.; GOMES, L.; FORSTHOFER, M.; ABREU, M.F.; REIS, S. A.; LENZA, E.; FRANZAC, D.D.; MARIMON-JUNIOR, B.H. Resiliência de um cerrado submetido a perturbações intermediárias na transição Cerrado-Amazônia. Biotemas, v. 26, n. 3, p. 49-61, 2013.
- EMATER GO, visita online em 07/09/2012: <http://www.emater.go.gov.br/w/3446> no Brasil.
- EMBRAPA- Centro Nacional de Pesquisa Agropecuária de Solos (Rio de Janeiro). Manual de Métodos de análise de solo 2a ed. ver. atual. Rio de Janeiro, 1997, 212p.
- ENTZ MH, BELLOTTI WD, POWELL JM. Evolution of integrated crop-livestock production systems.Grassland: A global resource. Wageningen Academic Publ., Wageningen, the Netherlands, p. 137-148, 2005.
- FAN, P.; GUO, D. Slow decomposition of lower order roots: a key mechanism of root carbon and nutrient retention in the soil. Oecologia, v. 163, n. 2, p. 509-515, 2010.
- FANCELLI, A.L; DOURADO NETO, D. Plantio direto. In: Produção de milho. Guaíba: Agropecuária. 385p., 2000.
- FERREIRA, E.V.O., ANGHINONI, I., ANDRIGHETTI, M.H., MARTINS, A.P., & DE FACCIO CARVALHO, P.C. Ciclagem e balanço de potássio e produtividade de soja na integração lavoura-pecuária sob semeadura direta. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 35, n. 1, p. 161-169, 2011.
- FITTER, A.H. Characteristics and functions of root systems. In: Waisel, Y., Eshel, A., Kafkafi, U. Plant Roots: The hidden half. New York, Marcel Dekker, p. 3-24, 1991.
- FLORES, J.P.C. Atributos de solo e rendimento de soja em um sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto com calcário na superfície. 2004. 84 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

- FLORES, J.P.C.; ANGHINONI, I.; CASSOL, L.C.; CARVALHO, P.C.F. de; LEITE, J.G.D.; FRAGA, T.I. Atributos físicos do solo e rendimento de soja em sistema plantio direto em integração lavoura-pecuária com diferentes pressões de pastejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, p.771-780, 2007.
- FRANZLUEBBERS, A.J.; STUEDEMANN, J.A. Crop and cattle responses to tillage systems for integrated crop-livestock production in the Southern Piedmont, USA. *Renewable agriculture and food systems*, v. 22, n. 3, p. 168-180, 2007.
- FRANZLUEBBERS, A.J.; STUEDEMANN, J.A. Crop and cattle production responses to tillage and cover crop management in integrated crop-livestock system in the southeastern USA. *European Journal of Agronomy*, Available online, In press. 2013.
- FREIRE, R.L.; BALIEIRO, F.B.; ZONTA, E.; ANJOS, L.H.C.; PEREIRA, M.G.; LIMA, E.; GUERRA, J.G.M.; FERREIRA, M.B.C.; LEAL, M.A.A.; CAMPOS, D.V.B.; POLIDORO, J.C. *Manual de Calagem e Adubação do Estado do Rio de Janeiro*. 430p. 2013.
- FREITAS, M.C.M. A cultura da soja no Brasil: o crescimento da produção brasileira e o surgimento de uma nova fronteira agrícola. *ENCICLOPÉDIA BIOSFERA*, Centro Científico Conhecer - Goiânia, vol.7, N.12; pg 1-12, 2011.
- FREIXO, A.A., MACHADO, P.L.O.A., GUIMARAES, C.M., SILVA, C.A., & FADIGAS, F.D.S. Estoques de carbono e nitrogênio e distribuição de frações orgânicas de Latossolo do Cerrado sob diferentes sistemas de cultivo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 26, p. 425-434, 2002.
- FULTZ, L.M. Dynamics of soil aggregation, organic carbon pools, and greenhouse gases in integrated crop–livestock agroecosystems in the Texas High Plains, Doctoral dissertation, Texas Tech University, Lubbock, 2012.
- GOEBEL, M.; HOBBIE, S.E.; BULAJ, B.; ZADWORNÝ, M.; ARCHIBALD, D.D.; OLEKSYN, J.; REICH, P.B.; EISENSTAT, D.M. Decomposition of the finest root branching orders: linking belowground dynamics to fine-root function and structure. *Ecological Monographs*, v. 81, n. 1, p. 89-102, 2011.
- GOLCHIN, A.; OADES, J.M.; SKJEMSTAD, J.O.; CLARKE, P. Study of free and occluded particulate organic matter in soil by solid state spectroscopy and scanning electron microscopy. *Australian Journal of Soil Research* Collingwood, 32:285-309, 1994.
- GOSLING, P.; PARSONS, N.; BENDING, G. D. What are the primary factors controlling the light fraction and particulate soil organic matter content of agricultural soils?. *Biology and fertility of soils*, v. 49, n. 8, p. 1001-1014, 2013.
- GREEN, V.S.; STOTT, D.E.; CRUZ, J.C.; CURI, N.; Tillage impacts on soil biological activity and aggregation in a Brazilian Cerrado Oxisol, *Soil and Tillage Research*, v.92, p.114-121, 2007.
- GREGORY, P.J. Root growth and activity. In: *Physiology and determination of crop yield*. cap. 4, p. 65-93, 1994.
- GUARESCHI, R. *Matéria orgânica e atributos físicos e químicos do solo em uma cronosequência de agricultura sob plantio direto no Cerrado Goiano*. 95 f. Tese (Doutorado em Agronomia, Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2013.
- 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*, v. 36, n. 3, p. 909-920, 2012.

GUARESCHI, R.F.; PEREIRA, M.G.; PERIN, A. Oxidizable carbon fractions in Red Latosol under different management systems. *Revista Ciência Agronômica*, v. 44, n. 2, p. 242-250, 2013.

HAYNES, R.J. & WILLIAMS, P.H. Nutrient cycling and fertility in the grazed pasture ecosystem. *Advances in agronomy (USA)*, 1993.

HE, Y., XU, Z., CHEN, C., BURTON, J., MA, Q., GE, Y., & XU, J. Using light fraction and macroaggregate associated organic matters as early indicators for management-induced changes in soil chemical and biological properties in adjacent native and plantation forests of subtropical Australia. *Geoderma*, v. 147, n. 3, p. 116-125, 2008.

HEREDIA, B.; PALMEIRA, M.; LEITE, S.P. Sociedade e economia do “agronegócio” *Revista Brasileira de Ciências Sociais*, vol. 25, nº 74, outubro de 2010.

JAKELAITIS, A.; SILVA, A.A. da; SANTOS, J.B. dos; VIVIAN, R. Qualidade da camada superficial de solo sob mata, pastagens e áreas cultivadas. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.38, p.118-127, 2008.

JANZEN, H.H.; CAMPBELL, C.A.; BRANDT, S.A.; LAFOND, G.P. & TOWNLEY-SMITH, L. Light-fraction organic matter in soils from long-term crop rotations. *Soil Science Society of America Journal*, v. 56, n. 6, p. 1799-1806, 1992.

KÄTTERER, T.; BOLINDER, M. A.; ANDRÉN, O.; KIRCHMANN, H.; MENICHETTI, L. Roots contribute more to refractory soil organic matter than above-ground crop residues, as revealed by a long-term field experiment. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 141, n. 1, p. 184-192, 2011.

KEMPER, W.D. & CHEPIL, W.S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C.A.; EVANS, D.D.; WHITE, J.L., eds. *Methods fo soil analysis*. Madison, American Society of Agronomy, p.499-510, 1965.

KISSMANN, K.G.; GROTH, D. *Plantas infestantes e nocivas*. 2.ed. São Paulo: BASF. Tomo I. 825p, 1997.

LAL, R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *science*, v. 304, n. 5677, p. 1623-1627, 2004.

LANZANOVA, M.E.; NICOLOSO, R.S.; LOVATO, T.; ELTZ, F.L.F.; AMADO, T.J.C. & REINERT, D.J. Atributos físicos do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária sob plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, 31:1131-1140, 2007.

LAVELLE, P.; DECAËNS, T.; AUBERT, M.; BAROT, S.; BLOUIN, M.; BUREAU, F.; MARGERIE, P.; MORA, P.; ROSSI, J.-P. Soil invertebrates and ecosystem services, *European Journal of Soil Biology*, v.42, p.S3-S15, 2006.

LEIFELD, J.; KÖGEL-KNABNER, I. Soil organic matter fractions as early indicators for carbon stock changes under different land-use?. *Geoderma*, v. 124, n. 1, p. 143-155, 2005.

LEITE, L.F.C.; FREITAS, R.C.A.; SAGRILO, E.; GALVÃO, S.R.S. Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos vegetais depositados sobre Latossolo Amarelo no Cerrado Maranhense. In: *Revista Ciência Agronômica*, v. 41, n. 1, p. 29-35, jan-mar, 2010. Centro de Ciências Agrárias - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE

LIEBIG, M.A.; TANAKA, D.L.; KRONBERG, S.L.; SCHOLLJEGERDES, E.J.; KARN, J.F. Integrated crops and livestock in central North Dakota, USA: agroecosystem management to

buffer soil change,"Renewable Agriculture and Food Systems", Cambridge University Press, 10 p., 2011.

LOSS, A. Dinâmica da matéria orgânica, fertilidade e agregação do solo em áreas sob diferentes sistemas de uso no Cerrado Goiano. 122 f. Tese (Doutorado em Agronomia, Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2011.

LOSS, A., PEREIRA, M. G., COSTA, E. M., & BEUTLER, S. J. Frações granulométricas e oxidáveis de matéria orgânica sob diferentes sistemas de uso do solo, no Paraná, Brasil= Granulometric and oxidizable fractions of organic matter under different land use systems in the state of Paraná, Brazil. *Bioscience Journal*, v. 30, n. 1, 2014.

LOSS, A., PEREIRA, M. G., PERIN, A., BEUTLER, S. J., & ANJOS, L. D. Oxidizable carbon and humic substances in rotation systems with brachiaria/livestock and pearl millet/no livestock in the Brazilian Cerrado. *Spanish Journal of Agricultural Research*, v. 11, n. 1, p. 217-231, 2013b.

LOSS, A., PEREIRA, M. G., SCHULTZ, N., ANJOS, L. H.C.; SILVA, E.M.R. Frações orgânicas e índice de manejo de carbono do solo em diferentes sistemas de produção orgânica. *Idesia (Arica)*, v. 29, n. 2, p. 11-19, 2011b.

LOSS, A.; MORAES, A.G.L.; PEREIRA, M.G.; SILVA, E.M.R.; ANJOS, L.H.C. Carbono, matéria orgânica leve e frações oxidáveis do carbono orgânico sob diferentes sistemas de produção orgânica. *Comunicata Scientiae*, v.01, p.57-64, 2010.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A.; COUTINHO, F. S.; ANJOS, L. H. C. Particulate organic matter in soil under different management systems in the Brazilian Cerrado. *Soil Research*, v. 50, n. 8, p. 685-693, 2013a.

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 (1916-9752)*, v. 4, n. 8, 2012.

LOSS, A.; PEREIRA, M.G; GIÁCOMO, S.G.; PERIN, A.; ANJOS, L.H.C. dos. Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo sob plantio direto com integração lavoura-pecuária. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.46, p.1269-1276, 2011.

LOURENTE, E. R. P.; SILVA, R. F.; SILVA, D. A.; MARCHETTI, M. E.; MERCANTE, F. M.; Macrofauna edáfica e sua interação com atributos químicos e físicos do solo sob diferentes sistemas de manejo. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 29, n. 1, p. 17-22, 2007.

LOVATO, T.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F. Adição de carbono e nitrogênio e sua relação com os estoques no solo e com o rendimento do milho em sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 28, n. 1, p. 175-187, 2004.

LUNARDI, R.; CARVALHO, P.C. de F.; TREIN, C.R.; COSTA, J.A.; CAUDURO, G.F.; BARBOSA, C.M.P.; AGUINAGA, A.A.Q. Rendimento de soja em sistema de integração lavoura-pecuária: efeito de métodos e intensidades de pastejo. *Ciência Rural*, v.38, p.795-801, 2008.

LUNARDI, R.; CARVALHO, P.D.F.; TREIN, C.R.; COSTA, J.A.; CAUDURO, G.F.; BARBOSA, C.M.P.; AGUINAGA, A.A.Q. Rendimento de soja em sistema de integração lavoura-pecuária: efeito de métodos e intensidades de pastejo. *Ciência Rural*, v. 38, n. 3, p. 795-801, 2008.

- MACEDO, M.C.M. Integração lavoura e pecuária: alternativa para sustentabilidade da produção animal. In: Simpósio Sobre Manejo da Pastagem, 2001, Piracicaba. Anais... Piracicaba: FEALQ, p. 257-283, 2001.
- MACEDO, M.C.M. Integração lavoura e pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas. Revista Brasileira de Zootecnia, v.38, p.133-146, 2009.
- MAIA, S.M.F.; XAVIER, F.A.S.; OLIVEIRA, T.S.; MENDONÇA, E.S.; ARAÚJO FILHO, J.A. Organic carbon pools in a Luvisol under agroforestry and conventional farming systems in the semi-arid region of Ceará, Brazil. Agroforestry systems, v. 71, n. 2, p. 127-138, 2007.
- MARCHÃO, R. L.; Integração lavoura-pecuária num Latossolo do Cerrado: impacto na física, matéria orgânica e macrofauna. Universidade Federal de Goiás, 2007. 153p. (Tese de Doutorado).
- MARCHÃO, R.L.; BALBINO, L.C.; SILVA, E.D.; SANTOS JÚNIOR, J.D.; SÁ, M.D.; VILELA, L.; BECQUER, T; Qualidade física de um Latossolo Vermelho sob sistemas de integração lavoura-pecuária no Cerrado. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 42, n. 6, p. 873-882, 2007.
- MARTHA JUNIOR, G.B.; ALVES, E.R. de A.; CONTINI, E. Dimensão econômica de sistemas de integração lavoura-pecuária. Pesquisa agropecuária Brasileira. Brasília, v.46, n.10, p.1117-1126, 2011.
- MARTINS, A. P. Acidez do solo e reaplicação de calcário em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto. Dissertação (Mestrado e Ciência do Solo) Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 111p., 2013.
- MATTA, F.M. In: WORKSHOP SOBRE SISTEMA RADICULAR: metodologias e estudo de casos. Aracaju. Anais... Aracaju: EMBRAPA Tabuleiros Costeiros, 1999. 300p.
- MENDONÇA, E.S. & MATOS, E.S. Matéria orgânica do solo: Métodos de análises. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2005. 107p.
- MENEZES, F.P. Substâncias húmicas em solos de diferentes feições geomorfológicas no rebordo do Planalto do Rio Grande do Sul. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2008b. 112p. Tese de Doutorado.
- MIELNICZUK, J. Desenvolvimento de sistemas de culturas adaptadas à produtividade, conservação e recuperação de solos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO. 21., 1998. A responsabilidade Social da Ciência do Solo. Campinas : SBCS, p.109-116, 1997.
- MORAES, A.; LESAMA, M.F. & ALVES, S.J. Lavoura-pecuária em sistemas integrados na pequena propriedade. In: ENCONTRO LATINO AMERICANO SOBRE PLANTIO DIRETO NA PEQUENA PROPRIEDADE, 3., Pato Branco, 1998. Anais. Pato Branco, CEFET-PR, 1998. CD-ROM.
- MUNIZ, L.C.; MADARI, B.E.; TROVO, J.B.F.; CANTANHÊDE, I.S.L.; MACHADO, P. L.A.; COBUCCI, T.; FRANÇA, A.F.S. Soil biological attributes in pastures of different ages in a crop-livestock integrated system. Pesquisa agropecuária brasileira, vol. 46, n.10, p. 1262-1268, 2012.
- NARDOTO, G.B. Abundância natural de ¹⁵N na Amazônia e Cerrado-implicações para a ciclagem de nitrogênio. 2005. 100p. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

- NASCIMENTO JR., D. & CAVALCANTE, M.A.B. Reciclagem de excreções animais na pastagem. 2001. Disponível em: <<http://www.forragricultura.com.br/vermat.asp?codmat=39>>. Acesso em: 20 jan. 2014.
- NETO, O.C.P.; GUIMARÃES, M.D.F.; RALISCH, R.; FONSECA, I.C. Análise do tempo de consolidação do sistema de plantio direto. R. Bras. Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 11, n. 5, p. 489-496, 2007.
- NICOLOSO, R. da S.; LOVATO, T.; AMADO, T.J.C.; BAYER, C.; LANZANOVA, M.E. Balanço do carbono orgânico no solo sob integração lavoura-pecuária no Sul do Brasil. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.32, p.2425-2433, 2008.
- NICOLOSO, R.S. Dinâmica da matéria orgânica do solo em áreas de integração lavoura-pecuária sob sistema plantio direto. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2005. 149p. (Tese de Mestrado)
- NICOLOSO, R.D.S., LANZANOVA, M.E., & LOVATO, T. Manejo das pastagens de inverno e potencial produtivo de sistemas de integração lavoura-pecuária no Estado do Rio Grande do Sul. Ciência Rural, v.36, n.6, p.1799-1805, 2006.
- NOVAIS, R. F. & SMYTH, T. J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399p.
- ODUM, H.T. Systems Ecology. Wiley, Nova York, 644 p., 1983.
- PACHECO, A.R.; CHAVES, R.Q.; NICOLI, Clarisse Maia Lana. Integration of crops, livestock, and forestry: A system of production for the Brazilian Cerrados. Eco-efficiency: from vision to reality'. (Ed. KG Cassman) Ch, v. 4, 2012.
- PAGOTTO, D.S. Comportamento do sistema radicular do capim Tanzânia (*Panicum maximum* Jacq.) sob irrigação e submetido a diferentes intensidades de pastejo. 2001. 51p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.
- PEREIRA, M .G.; LOSS, A.; BEUTLER, S. J.; TORRES, J. L. R. Carbono, matéria orgânica leve e fósforo remanescente em diferentes sistemas de manejo do solo. Pesquisa agropecuária brasileira, Brasília, v.45, n.5, p.508-514, 2010.
- PEZZONI, T.; VITORINO, A.C.T.; DANIEL, O.; LEMPP, B. Influência *Pterodon imarginatus* Vogel sobre atributos químicos e físicos do solo e valor nutritivo de *Brachiaria decumbens* Stapf em sistema silvipastoril. Cerne, Lavras, v. 18, n. 2, p. 293-301, 2012.
- PIRON, D.; PÉRÈS, G.; HALLAIRE, V.; CLUZEAU, D. Morphological description of soil-structure patterns produced by earthworm bioturbation at the profile scale. European Journal of Soil Biology, v.50, p.83-90, 2012. (In press).
- PRADO, R.M. Manual de nutrição de plantas forrageiras. 1. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2008. v. 1. 500 p.
- PRAGANA, R.B.; NÓBREGA, R.S.A.; RIBEIRO, M.R.; & LUSTOSA FILHO, J.F. Effect of cropping systems on biological properties and organic matter dynamics of Yellow Oxisols in the Cerrado region of Piauí, Brazil. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 36, n. 3, p. 851-858, 2012.
- PULLEMAN, M.M.; MARINISSEN, J.C.Y.; Physical protection of mineralizable C in aggregates from long-term pasture and arable soil. Geoderma , p. 273–282, 2004.
- RANGEL, O.J.P.; SILVA, C.A. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 31, n. 6, p. 1609-1623, 2007.

- RANGEL, O.J.P.; SILVA, C.A.; GUIMARAES, P.T.G.; GUILHERME, L.R. Frações oxidáveis do carbono orgânico de Latossolo cultivado com cafeeiro em diferentes espaçamentos de plantio. *Ciênc. agrotec.*, (Impr.), v. 32, n. 2, p. 429-437, 2008.
- RANGEL-VASCONCELOS, L.G.T.; KATO, O.R.; VASCONCELOS, S.S. Matéria orgânica leve do solo em sistema agroflorestal de corte e trituração sob manejo de capoeira. *Pesquisa agropecuária brasileira*, Brasília, v. 47, n. 8, p. 1142-1149, 2012.
- RASMUSSEN, C.; TORN, M.S.; SOUTHARD, R.J. Mineral assemblage and aggregates control carbon dynamics in a California conifer forest. *Soil Science Society of America Journal*, v. 69, n. 6, p. 1711-1721, 2005.
- RASSE, D.P.; RUMPEL, C.; & DIGNAC, M.F. Is soil carbon mostly root carbon? Mechanisms for a specific stabilisation. *Plant and soil*, v. 269, n. 1-2, p. 341-356, 2005.
- RESCK, D.V.S.; FERREIRA, E.A.B.; FIGUEIREDO, C. C.; ZINN, Y.L. Dinâmica da matéria orgânica no cerrado. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. *Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais*. 2. ed. Porto Alegre: Editora Cinco Continentes, p. 359-417. 2008.
- RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S. B.; CORRÊA, G. F. *Pedologia: base para distinção de ambientes*. Viçosa: NEPUT, 1995. 304 p.
- REZENDE, J. O. Conseqüências da aplicação de vinhaça sobre algumas propriedades físicas de um solo Aluvial (estudo de um caso). 1979. p. 112. Tese de Doutorado - Universidade de São Paulo.
- RIBEIRO, P.H.; Santos, J.V.V.M.; Coser, S.M.; Nogueira, N.O.; Martins, c. A.S. Adubação verde, os estoques de carbono e nitrogênio e a qualidade da matéria orgânica do solo. *Revista Verde*, Mossoró, RN, v.6, n.1, p.43-50, 2011.
- RODRIGUES, A.C.G.; ZEVALLOS, A.C. Efeito da intensidade de pastejo sobre o sistema radicular de pastagem. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.26, p.439-445, 1991.
- ROSCOE, R. & MACHADO, P.L.O.A. Fracionamento físico do solo em estudos da matéria orgânica. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 86 p., 2002.
- ROSSI, C.Q.; PEREIRA, M.G.; GIÁCOMO, S.G.; BETTA, M.; POLIDORO, J.C.; Frações lábeis da matéria orgânica em sistema de cultivo com palha de braquiária e sorgo. *Revista Ciência Agronômica*, vol.43, n.1, pp. 38-46, 2012.
- RUIVO, M. de L.P.; AMARAL, I.G.; FARO, M.P. da S.; RIBEIRO, E.L.C.; GUEDES, A. L.S.; SANTOS, M.M. de L.S. Caracterização química da manta orgânica e da matéria orgânica leve em diferentes tipos de solo em uma toposseqüência na ilha de Algodal/Maiandeuá, PA. *Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi, Série. Ciências Naturais*, v.1, n.1, p.227-234, 2005.
- SALTON, J.C., MIELNICZUK, J., BAYER, C., FABRICIO, A.C., MACEDO, M.C.M., BROCH, D.L., BOENI, M., CONCEIÇÃO, P.C. Matéria Orgânica do Solo na Integração Lavoura-Pecuária em Mato Grosso do Sul. Dourados, (MS). EMBRAPA Agropecuária Oeste (Boletim Técnico 29), 2005.
- SALTON, J.C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P.C.; FABRICIO, A.C.; MACEDO, M.C.M.; BROCH, D.L. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, p.11-21, 2008.

- SALTON, J.C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; FABRÍCIO, A.C.; MACEDO, M.C.M.; BROCH, D.L. Teor e dinâmica do carbono no solo em sistemas de integração lavoura-pecuária. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.46, p.1349-1356, 2011.
- SANCHES, L.; VALENTINI, C.M.A.; BIUDES, MARCELO S. Dinâmica sazonal da produção e decomposição de serrapilheira em floresta tropical de transição. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 13, n. 2, p. 183-189, 2009.
- SCHIAVO, J.A.; COLODRO, G. Agregação e resistência à penetração de um Latossolo Vermelho sob sistema de integração lavoura-pecuária. *Bragantia*, v. 71, n. 3, p. 406-412, 2012.
- SCHIAVO, J.A.; ROSSET, J.S.; PEREIRA, M.G.; & SALTON, J.C. Carbon management index and chemical attributes of an Oxisol under different management systems. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 46, n. 10, p. 1332-1338, 2011.
- SILVA NETO, L. de F.; SILVA, I. de F.; INDA, A.V.; NASCIMENTO, P. C. do N.; BORTOLON, L. Atributos físicos e químicos de agregados pedogênicos e de coprólitos de minhocas em diferentes classes de solos da Paraíba. *Ciênc. Agrotecnologia*, v. 34, p. 1365-1371, 2010.
- SILVA, C.J.D., SANCHES, L., BLEICH, M.E., LOBO, F.D.A., & NOGUEIRA, J.D.S. Produção de serrapilheira no cerrado e floresta de transição Amazônia-Cerrado do Centro-Oeste Brasileiro. *Acta Amazônica*, v. 37, n. 4, p. 543-548, 2007.
- SILVA, E.F., LOURENTE, E.P.R., MARCHETTI, M.E., MERCANTE, F. M., FERREIRA, A.K.T., & FUJII, G.C. Frações lábeis e recalcitrantes da matéria orgânica em solos sob integração lavoura-pecuária. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 46, p. 1321-1331, 2011.
- SILVA, F.D.D., AMADO, T.J.C., FERREIRA, A.O., ASSMANN, J.M., ANGHINONI, I.; CARVALHO, P.C.D.F. Soil carbon indices as affected by 10 years of integrated crop–livestock production with different pasture grazing intensities in Southern Brazil. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2013.
- SILVA, I. de F.; MIELNICZUK, J. Sistemas de cultivo e características do solo afetando a estabilidade de agregados. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 22, n. 2, 1998.
- SILVA, I.R.; MENDONÇA, E.S.; Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R. F. Fertilidade do solo. 2ª edição. Viçosa-MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, p.275-374.
- SOUZA, E. D.; CARNEIRO, M. A. C.; PAULINO, H. B. Atributos físicos de um neossolo quartzarênico e um latossolo vermelho sob diferentes sistemas de manejo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 40, n. 11, p.1135-1139, 2005.
- SOUZA, E.D. Evolução da matéria orgânica, do fósforo e da agregação em sistema de integração agricultura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2008. 162p. (Tese de Doutorado)
- SOUZA, E.D. de; COSTA, S.E.V.G. de A.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P.C. de F.; ANDRIGUETI, M.; CAO, E. 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*, v.33, p.1829-1836, 2009.
- SPERA, S.T.; SANTOS, H.P.; FONTANELI, R. S. & TOMM, G.O. Efeito de integração entre lavoura e pecuária, sob plantio direto, em alguns atributos físicos do solo após dez anos. *Bragantia*, Campinas, v 69, p. 695-704, 2010.

STEINFELD, H., GERBER, P., WASSENAAR, T.D., CASTEL, V., ROSALES, M., DE HAAN, C. Livestock's long shadow: environmental issues and options. Food & Agriculture Org. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 2006.

STEVENSON, F.J. Humus chemistry: Genesis, composition, reactions. 2nd ed. John Wiley and Sons, Inc., New York, NY, 1994.

TINGEY, D.T., PHILLIPS, D.L., JOHNSON, M.G., RYGIIEWICZ, P.T., BEEDLOW, P. A., & HOGSETT, W.E. Estimates of Douglas-fir fine root production and mortality from minirhizotrons. *Forest Ecology and Management*, v. 204, n. 2, p. 359-370, 2005.

TIRLONI, C.; VITORINO, A.C.T.; NOVELINO, J.O.; TIRLONI, D.; COIMBRA, D.S. Disponibilidade de fósforo em função das adições de calagem e de um bioativador do solo. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 33, n. 4, p. 977-984, 2009.

TORRES, J. L. R., PEREIRA, M. G., & FABIAN, A. J. Produção de fitomassa por plantas de cobertura e mineralização de seus resíduos em plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 43, n. 3, p. 421-428, 2008.

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G. Dinâmica do potássio nos resíduos vegetais de plantas de cobertura no Cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa - MG. Vol. 32, p.75-87, 2007.

TRACY, B. The ecology of integrated crop-livestock systems. In *International Symposium on Integrated Crop-Livestock Systems*, Curitiba, 2007. *Proceedings...Curitiba, UFPR, 2007. CD ROM*.

VALLADARES, G. S.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C. Adsorção de fósforo em solos de argila de atividade baixa. *Bragantia*, v 62, p.111-118, 2003.

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

VILELA, L.; MARTHA JUNIOR, G. B.; MACEDO, M. C. M.; MARCHÃO, R. L.; GUIMARAES JUNIOR, R.; PULROLNIK, K.; MACIEL, G. A; Sistemas de integração lavoura-pecuária na região do Cerrado. *Pesquisa agropecuária brasileira*, v. 46, p. 1127-1138, 2011.

WANDER, M. Soil organic matter fractions and their relevance to soil function. *Soil organic matter in sustainable agriculture*. CRC Press, Boca Raton, FL, p. 67-102, 2004.

WENDLING, B.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E.D.S.; NEVES, J.C.L. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 40, n. 5, p. 487-494, 2005.

WEST, T.O. & SIX, J. Considering the influence of sequestration duration and carbon saturation on estimates of soil carbon capacity. *Climatic Change*, 80:25-41, 2007.

YAMADA, L.T.P., Barcelos, M. F. P., Sousa, R. V., & Lima, A. L. Composição química e conteúdo de ferro solúvel em soja [*Glycine max (L.) Merrill*]. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 27, n. 2, p. 406-413, 2003.

YEOMANS, J.C. & BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 19:1467-1476, 1988.

YODER, R.E. A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. *J.Am. Soc. Agr.* , 28:337 351, 1936.

ZANGERLÉ, A.; PANDO, A.; LAVELLE, P. Do earthworms and roots cooperate to build soil macroaggregates? A microcosm experiment. *Geoderma*, p.167–168, p.303-309, 2011.

ZECH, W.; SENESI, N.; GUGGENBERGER, G.; KAISER, K.; LEHMANN, J.; MIANO, T. M.; MILTNER, A. & SCHROTH, G. Factors controlling humification and mineralization of soil organic matter in the tropics. *Geoderma*, 79:117-161, 1997.

ZONTA, E.; BRASIL, F.C.; GOI, S.R. & ROSA, M.M.T. O sistema radicular e suas interações com o ambiente edáfico. In: FERNANDES, M.S., ed. *Nutrição mineral das plantas*. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, P 07-52, 2006.

Sites visitados:

www.agrolink.com.br : acesso em 15/01/2014

<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep> último acesso em setembro de 2013.