

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CAMPUS DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO MESTRADO E DOUTORADO EM
AGRONOMIA

GILBERTO ALVES FERREIRA

**ALTURA DE PASTEJO DA *Brachiaria ruzizensis* SOBRE A PRODUÇÃO DE
PALHADA, ATRIBUTOS FÍSICOS, CARBONO E NITROGÊNIO NO SOLO E
PRODUTIVIDADE DE SOJA EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA
PECUÁRIA CONDUZIDO EM LATOSSOLO ARENOSO**

Marechal Cândido Rondon-PR
2013

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CAMPUS DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO MESTRADO E DOUTORADO EM
AGRONOMIA

GILBERTO ALVES FERREIRA

**ALTURA DE PASTEJO DA *Brachiaria ruziziensis* SOBRE A PRODUÇÃO DE
PALHADA, ATRIBUTOS FÍSICOS, CARBONO E NITROGÊNIO NO SOLO E
PRODUTIVIDADE DE SOJA EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA
PECUÁRIA CONDUZIDO EM LATOSSOLO ARENOSO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como requisito para obtenção do grau de Doutor em Agronomia, Área de Concentração: Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Sérgio Rabello de Oliveira
Co-orientadores: Pesq. Dr. Sérgio José Alves
Prof. Dr. Antonio Carlos Torres da Costa

Marechal Cândido Rondon-PR
2013

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
(Biblioteca da UNIOESTE – Campus de Marechal Cândido Rondon – PR.,
Brasil)

F383a	<p>Ferreira, Gilberto Alves</p> <p>Altura de pastejo da <i>Brachiaria ruziziensis</i> sobre a produção de palhada, atributos físicos, carbono e nitrogênio no solo e produtividade de soja em sistema de integração lavoura pecuária conduzido em Latossolo arenoso / Gilberto Alves Ferreira. – Marechal Cândido Rondon, 2013.</p> <p>83 p.</p> <p>Orientador: Prof. Dr. Paulo Sérgio Rabello de Oliveira Coorientador: Pesq. Dr. Sérgio José Alves Coorientador: Prof. Dr. Antonio Carlos Torres da Costa</p> <p>Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Marechal Cândido Rondon, 2013.</p> <p>1. Soja. 2. Integração lavoura pecuária. 3. <i>Glycine max</i>. 4. Solo - Compactação. 5. Resíduos vegetais. 6. <i>Brachiaria ruziziensis</i>. 7. Produção de palhada. I. Título.</p> <p>CDD 22.ed. 633.34 631.4 CIP-NBR 12899</p>
-------	---

Ficha catalográfica elaborado por Marcia Elisa Sbaraini-Leitzke CRB-9/539



unioeste

Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Campus de Marechal Cândido Rondon - CNPJ 78680337/0003-46
Rua Pernambuco, 1777 - Centro - Cx. P. 91 - <http://www.unioeste.br>
Fone: (45) 3284-7878 - Fax: (45) 3284-7879 - CEP 85960-000
Marechal Cândido Rondon - PR.



PARANÁ
GOVERNO DO ESTADO

Ata da reunião da Comissão Julgadora da Defesa de Tese do Engenheiro Agrônomo **GILBERTO ALVES FERREIRA**. Aos vinte e dois dias do mês de agosto de 2013, às 13h30min, sob a presidência do Prof. Dr. Paulo Sérgio Rabello de Oliveira, em sessão pública, reuniu-se a Comissão Julgadora da Defesa da Tese do Engenheiro Agrônomo Gilberto Alves Ferreira, discente do Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Agronomia – Nível Mestrado e Doutorado, com área de concentração em "**PRODUÇÃO VEGETAL**", visando à obtenção do título de "**DOCTOR EM AGRONOMIA**", constituída pelos membros: Prof. Dr. Antonio Nolla (UEM), Prof. Dr. Brener Magnabosco Marra (UFPR), Prof.^a Dr.^a Maritane Prior (Unioeste), Pesq. Dr. Jeferson Klein (Pós-Doutorando CAPES/PNPD) e Prof. Dr. Paulo Sérgio Rabello de Oliveira (Orientador).

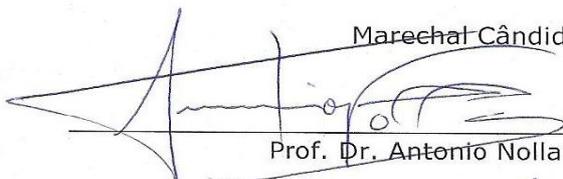
Iniciados os trabalhos, o candidato apresentou seminário referente aos resultados obtidos e submeteu-se à defesa de sua tese, intitulada: "**Altura de pastejo da *Brachiaria ruziziensis* sobre a produção de palhada, atributos físicos, carbono e nitrogênio no solo e produtividade de soja em sistema de integração lavoura pecuária conduzido em Latossolo arenoso**".

Terminada a defesa, procedeu-se ao julgamento dessa prova, cujo resultado foi o seguinte, observada a ordem de arguição:

Prof. Dr. Antonio Nolla.....Aprovado
Prof. Dr. Brener Magnabosco Marra.....Aprovado
Prof.^a Dr.^a Maritane PriorAprovado
Pesq. Dr. Jeferson Klein.....Aprovado
Prof. Dr. Paulo Sérgio Rabello de Oliveira (Orientador).....Aprovado

Apurados os resultados, verificou-se que o candidato foi habilitado, fazendo jus, portanto, ao título de "**DOCTOR EM AGRONOMIA**", área de concentração: "**PRODUÇÃO VEGETAL**". Do que, para constar, lavrou-se a presente ata, que vai assinada pelos senhores membros da Comissão Julgadora.

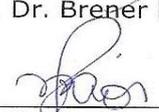
Marechal Cândido Rondon, 22 de agosto de 2013.



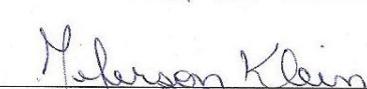
Prof. Dr. Antonio Nolla



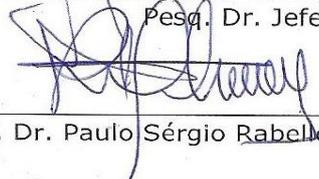
Prof. Dr. Brener Magnabosco Marra



Prof.^a Dr.^a Maritane Prior



Pesq. Dr. Jeferson Klein



Prof. Dr. Paulo Sérgio Rabello de Oliveira (Orientador)

Este trabalho “Altura de pastejo da *Brachiaria ruziziensis* sobre a produção de palhada, atributos físicos, carbono e nitrogênio no solo e produtividade de soja em sistema de integração lavoura pecuária conduzido em Latossolo arenoso” é parte do projeto “Integração Lavoura Pecuária” (3.2.02.5D.00.00-5) desenvolvido pelo Instituto Agronômico do Paraná – IAPAR, com apoio do Finep / Sustagri, conduzido na área da Fazenda Experimental do Instituto Agronômico do Paraná, localizada no município de Xambê-PR.

À Deus

Ao meu pai Roberto e à minha mãe Therezinha onde tudo iniciou

À minha esposa Fabiana pelo amor, carinho e incentivo

Às minhas filhas Yasmin e Isabella forte razão da minha existência

Aos meus familiares

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Deus pela bondade divina.

À Universidade Estadual do Oeste do Paraná e ao Programa de Pós-graduação Mestrado e Doutorado em Agronomia, pela oportunidade de realização deste Curso de Doutorado.

Ao Prof. Dr. Paulo Sérgio Rabello de Oliveira, pela valiosa e segura orientação, ensinamentos, estímulo, amizade e pela presteza dispensada ao longo do Curso de Pós-Graduação.

Ao Prof. Dr. Antonio Carlos Torres da Costa pela amizade, ensinamentos e co-orientação.

Ao Instituto Agrônomo do Paraná – IAPAR, em particular, ao Dr. Sérgio José Alves, pelas orientações e a oportunidade de realizar e desenvolver os trabalhos de pesquisa neste Instituto.

À Cocamar pela parceria com o IAPAR, apoio e infra-estrutura disponibilizada para execução do projeto.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da UNIOESTE, pelos ensinamentos e sugestões a minha formação profissional.

Aos funcionários da Secretaria de Pós-Graduação em Agronomia, pela amizade e auxílio durante o decorrer do Curso.

Aos funcionários do Instituto Agrônomo do Paraná – IAPAR, em especial, da Estação Experimental de Xambê.

Aos técnicos Alcenir José Garcia e José Antônio Soler pela amizade, dedicação e auxílio na condução do experimento.

Aos colegas e amigos Deise, Charles, Berté, Jeferson, Jucenei, Luiz Faganello, Roberto, pela amizade, sugestões, auxílio e calorosa convivência.

À todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

ALTURA DE PASTEJO DA *Brachiaria ruziziensis* SOBRE A PRODUÇÃO DE PALHADA, ATRIBUTOS FÍSICOS, CARBONO E NITROGÊNIO NO SOLO E PRODUTIVIDADE DE SOJA EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA PECUÁRIA CONDUZIDO EM LATOSSOLO ARENOSO

Resumo

O emprego de espécies forrageiras em sistemas de produção como a integração lavoura pecuária pode ser determinante para a melhoria da fertilidade e incremento de produtividade das pastagens e das culturas. O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da altura de pastejo de *Brachiaria ruziziensis* na produção de palhada, nas propriedades físicas do solo, nos teores e estoques de carbono e nitrogênio do solo e na produtividade da soja em sistema de integração lavoura pecuária. O experimento foi conduzido em área da Fazenda Experimental do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), localizada no município de Xambê-PR, no período de setembro de 2010 a abril de 2012, durante os anos agrícolas de 2010/2011 e 2011/2012. O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, em parcelas subdivididas no tempo (época de amostragem), com cinco tratamentos (altura de pastejo de 10, 20, 30 e 40 cm e uma área sem pastejo) e três repetições. Foram determinadas a massa de matéria seca da parte aérea de *Brachiaria ruziziensis*, matéria seca de resíduo vegetal e massa de matéria seca total. Nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-30 cm foram estudadas a densidade, macroporosidade, microporosidade, porosidade total, água gravimétrica, teores e estoques de carbono orgânico total, carbono particulado e carbono associados aos minerais do solo e os teores e estoque de nitrogênio mineral e total do solo. Na cultura da soja foram avaliadas o número de plantas por metro, altura das plantas e produtividade de grãos. A massa de matéria seca da parte aérea de *Brachiaria ruziziensis* e a massa de matéria seca total foram significativas ($P < 0,05$) nas duas épocas de avaliação, com maior produção na área sem pastejo em relação às áreas pastejadas ($P < 0,05$). Já a variável matéria seca de resíduo vegetal não foi significativa ($P > 0,05$) para a primeira época e significativo na segunda época ($P < 0,05$). A densidade, macroporosidade, microporosidade, porosidade total e umidade gravimétrica do solo não foram alteradas pelas alturas de pastejo e área não pastejada em todas as profundidades avaliadas ($P > 0,05$). Ocorreu redução da densidade, aumento da macroporosidade e da porosidade total na camada 0-10 cm do solo, ao final do experimento ($P < 0,05$). Houve maior microporosidade após a braquiária em relação à época após a cultura da soja ($P < 0,05$). Os teores e estoques de carbono orgânico total do solo e suas respectivas frações, além dos teores e estoques de nitrogênio mineral e total do solo não foram alteradas pelas alturas de pastejo e a área não pastejada ($P > 0,05$). Todavia, ocorreu aumento dos teores e estoques de carbono orgânico total e carbono associado aos minerais e redução do carbono particulado do solo ao final do experimento ($P < 0,05$). Houve aumento do nitrogênio mineral após a colheita da soja para todas as camadas do solo ($P < 0,05$), porém, o aumento do nitrogênio total do solo e seus estoques ocorreram apenas na profundidade 0-10 cm, na última avaliação. O número de plantas por metro, a altura das plantas e a produtividade da cultura da soja não foram influenciados pelas diferentes alturas e pela ausência do pastejo ($P > 0,05$).

Palavras-chave: Resíduos vegetais. Compactação do solo. Umidade gravimétrica. *Glycine max*.

HEIGHT OF GRAZING OF *Brachiaria ruziziensis* ON STRAW PRODUCTION, PHYSICAL ATTRIBUTES, CARBON AND NITROGEN IN SOIL AND SOYBEAN YIELD IN CROP LIVESTOCK INTEGRATION SYSTEM CONDUCTED IN SANDY LATOSOL

Abstract

The use of forage species in production systems such as integrated crop livestock can be key to improving fertility and increasing productivity of pastures and crops. The objective this study was to evaluate the effects height of grazing of *Brachiaria ruziziensis* on straw production, on the physical properties of the soil, in levels and stocks of carbon and nitrogen of the soil and in the soybean yield in crop livestock integration system. The experiment was conducted in the Experimental Farm of the Agronomic Institute of Paraná (IAPAR), located in the municipality of Xambrê-PR, in september 2010 to april 2012, during the agricultural year 2010/2011 and 2011/2012. The experimental design used was randomized in blocks, split plot in time (sampling time), with five treatments (grazing height of 10, 20, 30 and 40 cm and an area with no grazing) and three repetitions. Were determined the dry matter the mass of the aerial part of *Brachiaria ruziziensis*, vegetable residue dry matter and mass of total dry matter. The layers of 0-10, 10-20 and 20-30 cm were studied the density, macroporosity, microporosity, total porosity, gravimetric water, levels and stocks of total organic carbon, particulate carbon and carbon associated with minerals and the levels and stocks of mineral nitrogen and total of the soil. In culture of soy were evaluated the number of plants per meter, height of plants and grain productivity. The dry matter mass of the aerial part of *Brachiaria ruziziensis* and the total dry matter mass were significant ($P < 0,05$) in the two seasons of evaluation, with higher production in the ungrazed compared to grazed area ($P < 0,05$). The variable dry matter of plant residue was not significant ($P > 0,05$) for the first time and significant in second season ($P < 0,05$). The density, macroporosity, microporosity, total porosity and gravimetric soil moisture were not altered by grazing height and area not grazed at all depths evaluated ($P > 0,05$). Density reduction occurred, increase macroporosity and total porosity in the 0-10 cm layer of soil, at the end of the experiment ($P < 0,05$). There was a higher microporosity after brachiaria in relation to the time after the soybean crop ($P < 0,05$). The levels and stocks of total organic carbon of the soil and its fractions, besides levels and stocks of mineral and total nitrogen of the soil were not altered by grazing heights and the area not grazed ($P > 0,05$). However, there was an increase in levels and stocks of total organic carbon and carbon associated with minerals and a reduction of the particulate carbon of the soil in the final experiment ($P < 0,05$). There was an increase of mineral nitrogen after harvest soybeans for all soil layers ($P < 0,05$), however, the increase of total nitrogen and stocks of the soil occurred only in the 0-10 cm depth, in the last evaluation. The number of plants per meter, plant height and yield of soybean were not affected by the different heights and the absence of grazing ($P > 0,05$).

Keywords: Plant residues. Soil compaction. Gravimetric moisture. *Glycine max*.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1- Médias de precipitação pluviométrica mensal e temperaturas dos 1º, 2º 3º decêndios de cada mês nos agrícolas 2010/2011 e 2011/2012.....28
- Figura 2- Croqui da área experimental, com os tratamentos pastejados no inverno (Parcelas: P1 a P4; P6 a P8; P10 a P14), nas alturas 10, 20, 30, 40 cm e tratamento sem pastejo (SP) (Parcelas: P5, P9 e P15), Xambrê-PR30
- Figura 3- Resíduo vegetal de *Brachiaria ruziziensis* sobre a superfície do solo no período final do ciclo da cultura da soja. A, B, C, D e E correspondem, respectivamente, as alturas de pastejo 10, 20, 30, 40 cm e área sem pastejo, (março/2012)..... 40
- Figura 4- Médias de densidade (A), macroporosidade (B), microporosidade (C) e porosidade total do solo (D), nas profundidades 0-10, 10-20 e 20-30 cm, após a colheita da soja (mai/2011 e abr/2012) e após a *Brachiaria ruziziensis* (set/2011)..... 44
- Figura 5- Porcentagens de carbono orgânico particulado (COP) e associado aos minerais (CAM) em relação ao carbono orgânico total (COT) do solo, nas alturas de pastejo (10, 20, 30 e 40 cm) e área sem pastejo (SP) de *Brachiaria ruziziensis*, para as profundidades de 0-10 (A e B), 10-20 (C e D) e 20-30 cm (E e F), nos meses de outubro/2010 (A, C e E) e março/2012 (B, D e F)54
- Figura 6- Médias de teores e estoques de carbono orgânico total (A e B), carbono particulado (C e D) e carbono associado aos minerais (E e F) do solo, nas profundidades 0-10, 10-20 e 20-30 cm, após a *Brachiaria ruziziensis* - outubro/2010 (—●—) e após o ciclo da cultura da soja - março/2012 (—●—)..... 56
- Figura 7- Médias de teores de nitrogênio mineral (A) e de estoques de nitrogênio mineral do solo (B), nas profundidades 0-10, 10-20 e 20-30 cm, após a *Brachiaria ruziziensis*, outubro/2010 (—▲—) e setembro/2011 (—●—) e após a colheita da soja, março/2011 (—●—) e março/2012 (—●—)..... 61
- Figura 8- Médias de teores de nitrogênio total (A) e de estoques de nitrogênio total do solo (B), nas profundidades 0-10, 10-20 e 20-30 cm, após a *Brachiaria ruziziensis*, outubro/2010 (—●—) e após o ciclo da cultura da soja, março/2012 (—●—).....63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-	Caracterização física do Latossolo Vermelho distrófico típico da área experimental.....	29
Tabela 2-	Caracterização química do perfil do Latossolo Vermelho distrófico típico da área experimental.....	29
Tabela 3-	Médias de massa de matéria seca da parte aérea de <i>Brachiaria ruziziensis</i> , matéria seca de resíduo vegetal e massa de matéria seca total (massa de matéria seca da parte aérea de braquiária + resíduo vegetal), após a <i>Brachiaria ruziziensis</i> (set/2010 e set/2011), sob diferentes alturas de pastejo e área sem pastejo (SP).....	38
Tabela 4-	Médias de densidade e macroporosidade do solo, após a colheita da soja (mai/2011 e abr/2012) e após a <i>Brachiaria ruziziensis</i> (set/2011), sob diferentes alturas de pastejo e sem pastejo (SP).....	41
Tabela 5-	Médias de microporosidade e porosidade total do solo, após a colheita da soja (mai/2011 e abr/2012) e após a <i>Brachiaria ruziziensis</i> (set/2011), sob diferentes alturas de pastejo e sem pastejo (SP).....	42
Tabela 6-	Médias de umidade gravimétrica do solo, em diferentes épocas, sob diferentes alturas de pastejo e área sem pastejo (SP) de <i>Brachiaria ruziziensis</i> , nos anos agrícolas 2010/2011 e 2011/2012	48
Tabela 7-	Médias de teores de carbono orgânico total (COT) e de estoques de carbono orgânico total (ECOT) do solo, após a <i>Brachiaria ruziziensis</i> (out/2010) e após a colheita da soja (mar/2012), sob diferentes alturas de pastejo e área sem pastejo (SP)	50
Tabela 8-	Médias de teores de carbono orgânico particulado (COP) e de estoques de carbono orgânico particulado (ECOP) do solo, após a <i>Brachiaria ruziziensis</i> (out/2010) e após a colheita da soja (mar/2012), sob diferentes alturas de pastejo e área sem pastejo (SP).....	51
Tabela 9-	Médias de teores de carbono orgânico associado aos minerais (CAM) e de estoques de carbono orgânico associado aos minerais (ECAM) do solo, após a <i>Brachiaria ruziziensis</i> (out/2010) e após a colheita da soja (mar/2012), sob diferentes alturas de pastejo e área sem pastejo (SP)	52
Tabela 10-	Médias de teores nitrogênio mineral (NM) e de estoques de nitrogênio mineral (ENM) do solo, após a <i>Brachiaria ruziziensis</i> (outubro/2010 e setembro/2011) e após a colheita da soja (março), sob diferentes alturas de pastejo e área sem pastejo (SP).....	59
Tabela 11-	Médias de teores de nitrogênio total (NT) e de estoques de nitrogênio total (ENT) do solo, após a <i>Brachiaria ruziziensis</i> (outubro) e após a colheita da soja (março), sob diferentes alturas de pastejo e área sem pastejo (SP).....	60
Tabela 12-	Médias de número final de plantas por metro, altura das plantas e produtividade da cultura da soja, sob diferentes alturas de pastejo e sem pastejo (SP) de <i>Brachiaria ruziziensis</i> , nos anos agrícolas 2010/2011 e 2011/2012.....	64

- Tabela 13- Resumo da análise de variância para massa de matéria seca da parte aérea de *Brachiaria ruziziensis*, matéria seca de resíduo vegetal e massa de matéria seca total (massa de matéria seca da parte aérea de braquiária + resíduo vegetal), após a *Brachiaria ruziziensis*, sob diferentes alturas de pastejo e área sem pastejo (SP), nos anos agrícolas 2010/2011 e 2011/2012.....79
- Tabela 14- Resumo da análise de variância para densidade, macroporosidade, microporosidade, porosidade total do solo, nas profundidades 0-10, 10-20 e 20-30 cm, após a colheita da soja (mai/2011 e abr/2012) e após a *Brachiaria ruziziensis* (set/2011), sob diferentes alturas de pastejo e área sem pastejo (SP).....80
- Tabela 15- Resumo da análise de variância para umidade gravimétrica do solo, nas profundidades 0-10, 10-20 e 20-30 cm, em diferentes épocas, sob diferentes alturas de pastejo e área sem pastejo (SP) de *Brachiaria ruziziensis*, nos anos agrícolas 2010/2011 e 2011/2012.....80
- Tabela 16- Resumo da análise de variância para COT, ECOT, COP, ECOP, CAM, ECAM do solo, nas profundidades 0-10, 10-20 e 20-30 cm, após a *Brachiaria ruziziensis* (out/2010) e após a colheita da soja (mar/2012), sob diferentes alturas de pastejo e área sem pastejo (SP).....81
- Tabela 17- Resumo da análise de variância para NM e ENM do solo, nas profundidades 0-10, 10-20 e 20-30 cm, após a *Brachiaria ruziziensis* (out/2010 e set/2011) e após a colheita da soja (mar/2011 e mar/2012), sob diferentes alturas de pastejo e área sem pastejo (SP).....82
- Tabela 18- Resumo da análise de variância para NT e ENT, nas profundidades 0-10, 10-20 e 20-30 cm, após a *Brachiaria ruziziensis* (out/2010) e após a colheita da soja (mar/2012), sob diferentes alturas de pastejo e área sem pastejo (SP).....82
- Tabela 19- Resumo da análise de variância para número final de plantas por metro, altura das plantas e produtividade da cultura da soja, sob diferentes alturas de pastejo e área sem pastejo (SP) de *Brachiaria ruziziensis*, nos anos agrícolas 2010/2011 e 2011/2012..... 83

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
2.1 <i>Brachiaria ruziziensis</i> (Germain & Evrard).....	15
2.2 Propriedades Físicas do Solo no Sistema de Integração Lavoura Pecuária.....	16
2.3 Água no Solo, Cobertura da Superfície do Solo e a Cultura da Soja.....	18
2.4 Carbono e Nitrogênio do Solo em Sistema de Integração Lavoura Pecuária.....	20
2.5 Fracionamento Físico da Matéria Orgânica do Solo.....	23
2.6 A Altura de Pastejo e a Cultura da Soja no Sistema de Integração Lavoura Pecuária.....	24
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	28
3.1 Localização da Área Experimental e Clima da Região.....	28
3.2 Características Físicas e Químicas do Solo.....	29
3.3 Área Experimental.....	29
3.4 Tratamentos e Delineamento Experimental.....	31
3.5 Plantio da <i>Brachiaria ruziziensis</i> e Animais Experimentais.....	31
3.6 Cultivo da Soja.....	32
3.7 Coleta dos Dados.....	33
3.7.1 Massa da parte aérea de <i>Brachiaria ruziziensis</i> e resíduo vegetal.....	33
3.7.2 Densidade, macroporosidade, microporosidade e porosidade total do solo....	33
3.7.3 Umidade gravimétrica do solo.....	34
3.7.4. Carbono e nitrogênio do solo.....	34
3.7.4.1 Fracionamento físico do carbono do solo.....	35
3.7.4.2 Estoque de carbono e nitrogênio do solo.....	35
3.7.5 Número final de plantas, altura das plantas e rendimento dos grãos de soja..	36
3.8 Análises Estatísticas.....	36
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	37
4.1 Produção de Massa da Parte Aérea de <i>Brachiaria ruziziensis</i> e de	

Resíduo vegetal.....	37
4.2 Densidade, Macroporosidade, Microporosidade e Porosidade Total do Solo.....	40
4.3 Umidade Gravimétrica do Solo.....	47
4.4 Teores e Estoques de Carbono Orgânico do Solo.....	49
4.5 Teores e Estoques de Nitrogênio Mineral e Nitrogênio Total do solo.....	58
4.6 Rendimento da Cultura da Soja.....	63
5. CONCLUSÕES.....	67
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	69
7. ANEXOS.....	79

1 INTRODUÇÃO

Os solos de textura arenosa são altamente susceptíveis a erosão merecendo cuidados no seu manejo para o estabelecimento de pastagens e culturas com produção sustentável. Na região Noroeste do Paraná ocorrem solos originados do Arenito Caiuá, caracterizados por apresentarem textura média a arenosa (85 a 90% de areia), sendo altamente suscetíveis à erosão e com níveis críticos de fósforo, potássio, cálcio, magnésio e, não raro, baixos níveis de matéria orgânica, cerca de 1 g kg^{-1} (OLIVEIRA et al., 2000).

Esses níveis críticos de nutrientes no solo podem variar de acordo com a cultura e o tipo de solo. Em trabalho de Côrrea e Hagg (1993), os níveis críticos de fósforo em solo álico de textura média variaram de 8,0 a 12,0 ppm (mg dm^{-3}) pelo extrator de Mehlich I, no primeiro corte para o estabelecimento de gramíneas (*Brachiaria decumbens*, *Brachiaria brizantha* e o *Panicum maximum*). Para a cultura da soja sob plantio direto, Vieira et al. (2013) verificaram teores críticos de 6,0 mg dm^{-3} de fósforo e 0,16 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de potássio na camada 0-20 cm para Latossolos Brunos. Em solos com CTC menor que 8 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, os níveis críticos para a cultura da soja são de 2,0 e 0,8 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, respectivamente, para cálcio e magnésio (BORKET et al., 2006).

O manejo correto destes solos, além do emprego de espécies forrageiras em sistemas de produção como a integração lavoura pecuária, pode ser determinante para a melhoria da fertilidade e incremento de produtividade das pastagens e das culturas.

Nos sistemas integrados de produção agropecuária deve-se destacar também o manejo da pastagem de espécies forrageiras. O manejo da pastagem deve ser favorável ao crescimento do pasto e a produção animal, e no caso do sistema de integração lavoura pecuária deve propiciar uma quantidade de palhada remanescente após a retirada dos animais suficiente para a lavoura em sucessão (CARVALHO et al., 2011).

Segundo Nicoloso et al. (2006), a soja em monocultivo de verão sob um manejo das pastagens de inverno menos intensivo (sem pastejo ou pastejo a cada 28 dias) propicia maior adição de resíduos de pastejo para cobertura de solo. Nestes manejos, estes autores verificaram adições acima de 8000,0 Kg ha^{-1} de matéria seca no ano. Além disso, a produção animal não foi afetada pelo manejo com pastoreio a

cada 14 dias, todavia, houve menor aporte de palha em cobertura do solo, e o uso de frequências elevadas sobre as pastagens de inverno limitou a produtividade da soja. Para estes autores, as possíveis causas desta limitação seria a compactação do solo provocada pelo pisoteio dos bovinos e redução dos estoques de matéria orgânica do solo.

No entanto, Flores et al. (2007), manejando pasto de aveia + azevém com 10, 20, 30 e 40 cm de altura, em sistema de integração lavoura pecuária, verificaram que as alturas de pastejo não promoveu compactação do solo e não foi prejudicial ao estabelecimento inicial e ao rendimento de grãos da soja em condições de clima subtropical do Rio Grande do Sul.

O manejo da pastagem não é somente importante para a produtividade vegetal e animal, mas também para a manutenção de estoque de carbono no solo (SALTON, 2005). Souza et al. (2009) observaram, em sistema de integração lavoura pecuária em plantio direto, aumento nos estoques de carbono e nitrogênio no solo com intensidades de pastejo moderadas (20 e 40 cm de altura do pasto de aveia-preta + azevém), porém, em alta intensidade de pastejo (10 cm), foi encontrado redução no estoque desses elementos, com degradação da qualidade da matéria orgânica.

Neste contexto busca-se o uso de sistemas produtivos que proporcione aumentos nos índices de produtividades das pastagens e das culturas comerciais. Conforme Alvarenga et al. (2007), a integração lavoura pecuária é caracterizada por sistemas produtivos que proporcionam benefícios para as atividades agrícolas e pecuárias dentro da propriedade rural. De acordo com estes autores, a produtividade e a longevidade das pastagens são favorecidas pelo aumento do potencial produtivo do solo em função das correções químicas e adubações dos cultivos das lavouras e, estas, têm a produtividade aumentada pela melhoria no ambiente do solo devido ao aporte de resíduos vegetais oriundos da parte aérea e das raízes da pastagem.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos da altura de pastejo e área sem pastejo de *Brachiaria ruziziensis* na produção de palhada, nas propriedades físicas do solo, nos teores e estoques de carbono e nitrogênio do solo e na produtividade da soja em sistema de integração lavoura pecuária.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 *Brachiaria ruzizensis* (Germain & Evrard)

A *Brachiaria ruzizensis* é uma espécie perene, subereta, com 1,0 a 1,5 m de altura, que apresenta boa cobertura de solo, podendo ser utilizada em relevos ondulados, com boa qualidade nutricional e suporta bem o pastejo, sendo sua propagação por sementes ou mudas (ALVES e SOARES FILHO, 1996). A proteína bruta varia de 4 a 11% na matéria seca e seu rendimento pode atingir até 80000,0 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de massa de matéria verde (EVANGELISTA e ROCHA, 1997).

Esta espécie vem sendo utilizada em pastejo, consórcio ou como cobertura de solo em sistema de integração lavoura pecuária. Como planta de cobertura a braquiária tem se destacado para a produção de palhada durante a entressafra no Cerrado, com uso da sobressemeadura na cultura da soja (PACHECO et al, 2008). É uma gramínea (Poaceae) de alta relação carbono/nitrogênio (C/N) (CUNHA et al., 2007), sendo um aspecto importante, visto que a taxa de decomposição dos resíduos vegetais está associado as relações C/N do tecido (CERETTA et al., 2002). Pacheco et al. (2011) obtiveram para *Brachiaria ruzizensis*, como plantas de cobertura no inverno que antecede o plantio da cultura comercial, em duas safras avaliadas, respectivamente, a relação C/N igual a 30 e 34 no momento da dessecação. A alta relação C/N da *Brachiaria ruzizensis* favorece a permanência da palhada por mais tempo sobre a superfície do solo podendo proporcionando efeitos positivos nas rotações de culturas. Em trabalho de Cunha et al. (2007), a associação de soja com braquiária teve contribuição na estabilidade dos agregados do solo.

A *Brachiaria ruzizensis* pode produzir entre 14000 a 15000 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de matéria seca (VILELA, 2012), contribuindo na formação de uma camada espessa e uniforme sobre a superfície do solo, que auxilia no controle de plantas daninhas (NEPOMUCENO et al., 2012). Conforme Gimenes et al. (2011) verificaram redução da infestação de plantas daninhas avaliadas pela utilização da *Brachiaria ruzizensis* em sistema de integração lavoura pecuária.

Machado et al. (2010), ao avaliarem a produção de palha e de forragem por forrageiras anuais e perenes, implantadas em sucessão à cultura da soja, e seus efeitos sobre a produtividade de grãos da cultura no próximo cultivo, verificaram que

a *Brachiaria ruziziensis* e a *Brachiaria decumbens* apresentaram melhor desempenho para a produção de palha, e o cultivo das espécies forrageiras em sucessão à soja não afetaram a produtividade da cultura.

Por fim, a parte aérea das braquiárias também protege o solo contra a erosão e diminuiu a sua temperatura, propiciando melhores condições para o desenvolvimento de microorganismos e mesoorganismos (SILVA e FERRARI, 2012).

2.2 Propriedades Físicas do Solo no Sistema de Integração Lavoura Pecuária

Quando se trabalha com integração lavoura pecuária surgem questionamentos a respeito do pastejo produzir efeitos negativos de compactação sobre o solo pelo pisoteio animal. Há uma tendência à compactação e diminuição dos espaços porosos do solo devido à ação de forças externas que agem em sua deformação, sendo a umidade do solo um fator determinante (SILVA et al., 2002). Por sua vez, a utilização de máquinas agrícolas para efetivar aplicações de defensivos ou realizar colheitas, não é sempre possível em condições de umidade adequada no solo para minimizar os efeitos de compactação (BRAIDA et al., 2006). Tanto as máquinas agrícolas como a movimentação dos animais em pastejo exercem pressão sobre a superfície do solo. Segundo Flores et al. (2007), os bovinos, mesmo com menor peso, exercem maior pressão em relação as máquinas agrícolas, devido a distribuição do peso ser numa menor área de contato com o solo.

A compactação do solo depende do padrão de carga e estresse aplicado, bem como do teor de umidade do solo, do tamanho das partículas, do teor de carbono orgânico do solo e da estabilidade dos agregados na condição inicial do solo antes da aplicação da pressão (MITCHELL e BERRY, 2001).

Silva et al. (2002), trabalhando com dois solos com texturas arenosa e argilosa, verificaram que a maior susceptibilidade do solo à compressão para o Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico ocorreu em menor grau de saturação do que em Latossolo Vermelho distrófico típico textura argilosa.

Braida et al. (2006), utilizando amostras de solo coletadas em um Argissolo Vermelho-Amarelo arênico e de um Nitossolo Vermelho distrófico de textura argilosa, buscaram determinar efeito da matéria orgânica do solo no comportamento da

curva de compactação. Para os dois solos, o acúmulo de carbono reduziu a densidade máxima e aumentou a umidade crítica para compactação do solo, significando que o solo torna-se mais resistente à compactação. Ainda, o coeficiente angular (b) da equação, que descreve a relação entre densidade máxima e carbono, foi de 0,0155 no solo franco-arenoso (Argissolo), sendo o efeito do carbono cerca de 2,3 vezes superior ao do argiloso (Nitossolo) com b de 0,0066. Segundo estes autores isso ocorre porque, provavelmente, no solo arenoso, o efeito da matéria orgânica em reduzir o efeito lubrificante da água entre as partículas minerais é muito maior do que no argiloso.

Beutler et al. (2005) avaliaram o efeito da compactação do solo na estabilidade de agregados e no conteúdo gravimétrico de água, em um Latossolo Vermelho distrófico típico de textura média. Este autores constataram que o solo compactado pelo tráfego de trator proporciona menor estabilidade dos agregados e, em tensões menores do que 0,01 MPa, a compactação reduz o conteúdo gravimétrico de água retida pelo solo.

A influência desses fatores relatados mostra a necessidade de buscar manejos e uso do solo de forma mais adequada para minimizar os efeitos de compactação do solo. O pisoteio do gado em sistemas intensivos pode causar influência negativa no solo, reduzindo o crescimento das raízes e da parte aérea das pastagens, aumentando a proporção de solo descoberto e reduzindo a sustentabilidade dos sistemas agrícolas (MITCHELL e BERRY, 2001).

Em Latossolo Amarelo distrófico de textura arenosa franca, Araujo et al. (2010) estudaram três sistemas de manejo do solo: Preparo convencional; sistema de plantio direto; sistema de integração lavoura pecuária e, ainda, uma área sob Floresta Nativa de Cerrado. Os resultados demonstraram que na camada de 0 - 5 cm, o sistema de integração lavoura pecuária com pastejo contínuo apresentou o maior valor de densidade do solo, porém não houve efeito na macroporosidade, entre os sistemas de manejo e à Floresta Nativa. A estrutura do solo foi modificada pelos sistemas de manejo, com menor proporção de solo nas maiores classes de agregados e, por fim, o sistema de integração lavoura pecuária não promoveu a melhoria da qualidade física do solo.

Conte et al. (2011a) determinaram, em um Latossolo Vermelho, o efeito das alturas de pastejo e dos sucessivos ciclos de pastejo sobre os atributos físicos do solo em um sistema de integração lavoura pecuária. Neste trabalho não observaram

alterações significativas na densidade e na porosidade do solo após sete anos de aplicação de tratamentos de altura de pastejo. Por sua vez, imediatamente após o pastejo dos animais, houve incremento da resistência mecânica do solo à penetração, na camada de 0–10 cm. Em relação ao diâmetro médio ponderado dos agregados estáveis em água, foi maior nas áreas sob pastejo, e a agregação do solo aumentou nas áreas pastejadas, independentemente da intensidade de pastejo.

2.3 Água no Solo, Cobertura da Superfície do Solo e a Cultura da Soja

A capacidade de armazenamento de água no solo depende de sua textura, estrutura, distribuição e diâmetro médio dos poros, e a disponibilidade de água às plantas depende de fatores intrínsecos do solo e da capacidade das plantas em extrair água nos diferentes níveis de umidade e de energia de retenção (PETRY et al., 2007).

O manejo e práticas culturais acarretam ao solo alterações na dinâmica e retenção de água nos poros (KLEIN e LIBARDI, 2000). Esses autores verificaram, em Latossolo Roxo, aumento no armazenamento de água no solo e disponibilidade às culturas quando a densidade chegou até $1,11 \text{ Mg m}^{-3}$ e, redução na disponibilidade de água para valores superiores de densidade.

Arshad et al. (1999) determinaram os efeitos a longo prazo do preparo convencional e sistema de plantio direto sobre os componentes da estrutura do solo, e verificaram que o armazenamento de água no solo foi maior no plantio direto em comparação ao preparo convencional, podendo ser atribuído à maior fração de volume de microporos sob plantio direto do que sob preparo convencional. Estes resultados podem ser devido às melhorias estrutural do solo associadas com acúmulo de resíduos da superfície e o não revolvimento do solo.

A presença de resíduos vegetais sobre a superfície do solo pode trazer benefícios para manutenção da umidade do solo. Peres et al. (2010) avaliaram a cobertura do solo com palha de cana-de-açúcar ($1,5 \text{ kg m}^{-2}$) e a condição sem palha sobre a umidade do solo nas camadas de 0 - 20 cm e 20 - 40 cm de profundidade. Na camada de 0 - 20 cm estes autores verificaram redução dos valores da umidade volumétrica do solo de 0,103% por dia, condição com palha, e de 0,223% por dia, na condição sem palha. Na camada de 20 - 40 cm, constataram redução da umidade

volumétrica bem menor em relação à verificada na situação anterior, da ordem de 0,116% por dia, na condição com palha e de 0,159% por dia, na condição sem palha. Ainda esses autores relatam que a perda de água no solo na condição sem palha se deu praticamente por evaporação, enquanto na condição com palha a perda de água foi preponderantemente por percolação profunda. Dantas et al. (2010), também, constataram aumento na umidade do solo em camada superficial (0-5 cm) quando da aplicação de palha de aveia sobre o solo, nas doses de 20, 40 e 60 t ha⁻¹ em relação a condição sem palha.

Em relação à cultura da soja, a importância da água se destaca, principalmente, em dois períodos de desenvolvimento: germinação-emergência e floração-enchimento de grãos, sendo que no primeiro período, tanto, o excesso como o déficit de água é prejudicial à obtenção favorável de uma população adequada de plantas (EMBRAPA, 2008). A semente de soja necessita absorver, no mínimo, 50 % de seu peso em água para assegurar boa germinação, e nessa fase, o conteúdo de água no solo não deve exceder a 85% do total máximo de água disponível e nem ser menor que 50% (EMBRAPA, 2008).

De acordo com Rosseto et al. (1997), há relação entre o teor de água inicial das sementes de soja e a qualidade fisiológica na emissão de raiz primária e na germinação, sendo que nos potenciais hídricos do substrato de -0,20 e -0,40 MPa causaram redução da emissão da raiz primária e da porcentagem de germinação de sementes de soja e redução na emergência de plântulas em potencial hídrico de -0,40 MPa.

A máxima necessidade de água na cultura da soja ocorre durante a floração-enchimento de grãos (7 a 8 mm/dia), e a quantidade total de água necessária para a cultura da soja para obtenção do máximo rendimento varia entre 450 a 800 mm/ciclo, dependendo das condições climáticas, do manejo da cultura e da duração do ciclo (EMBRAPA, 2008).

O teor de umidade do solo e a densidade têm importância na semeadura das lavouras, pois podem prejudicar negativamente o desenvolvimento radicular da cultura (MODOLO et al., 2009). Esses autores observaram que quando da aplicação de diferentes cargas pela roda compactadora ao solo, na condição de 0,36 kg kg⁻¹ de teor de água no solo, apresentaram valores de densidade superiores a 1,55 Mg m⁻³ para profundidades maiores que 13 cm, valores estes que podem influenciar o desenvolvimento radicular da cultura, fazendo com que as raízes se concentrem na

superfície do solo, acarretando um estande deficiente de plantas em períodos de déficit hídrico.

Em trabalho realizado por Beutler e Centurion (2003), em Latossolo Vermelho textura média e Latossolo Vermelho textura argilosa, o nível crítico de resistência à penetração para a produção de grãos de soja foi superior a 2 MPa com conteúdo de água retida na tensão de 0,01 MPa.

Portanto, o teor de água do solo está relacionado a vários aspectos intrínsecos do solo, e sua retenção pode ser influenciada pelo manejo adotado no sistema de produção. O entendimento desses aspectos é particularmente importante dentro da produção da cultura da soja.

2.4 Carbono e Nitrogênio do Solo em Sistema de Integração Lavoura Pecuária

A fração orgânica correspondente à matéria orgânica do solo é constituída basicamente por carbono, hidrogênio, oxigênio, nitrogênio, enxofre e fósforo, com o carbono participando com cerca de 58% da matéria orgânica do solo, hidrogênio com 6%, oxigênio com 33%, enquanto que nitrogênio, enxofre e fósforo contribuem em torno de 3%, individualmente (SILVA e MENDONÇA, 2007). A matéria orgânica do solo apresenta elevada heterogeneidade quanto a sua composição, sua dinâmica e funções desempenhadas (SALTON, 2005). Esta substância está ligada a vários processos no ambiente, podendo destacar a ciclagem de nutrientes, a agregação do solo, a dinâmica da água e também como fonte de energia para a atividade biológica (ROSCOE et al., 2006a), sendo assim uma componente essencial dentro do sistema agrícola.

Para aumentar o teor de matéria orgânica no solo é necessária a entrada de carbono ao solo, sendo possível pelo acréscimo de resíduos vegetais sobre o solo após a colheita das culturas, pelas raízes, exsudatos e micorrizas e sua posterior decomposição (SALTON et al., 2005). Ainda, segundo esses autores a quantidade de matéria orgânica presente no solo é o resultado da diferença das entradas e saídas de carbono do sistema e, estas saídas, podem ser por erosão, lixiviação ou pela atividade dos microorganismos no interior do solo.

O emprego de sistemas conservacionistas de manejo do solo tende a aumentar o teor de carbono do solo, e o plantio direto, associado ao retorno de

resíduos sobre o solo e a rotação de culturas, é um dos principais sistemas conservacionistas para recuperação de matéria orgânica dos solos de regiões tanto tropical como temperadas (SÁ, 2001).

O nitrogênio presente no sistema solo-planta também pode ter papel essencial no aumento da matéria orgânica do solo. Em áreas que se trabalha com o plantio direto tem-se redução da taxa de perda de matéria orgânica e quando associado às sistemas de culturas com leguminosas, pela alta adição de carbono fotossintetizado e de nitrogênio fixado simbioticamente, favorece a recuperação dos estoques de carbono total e nitrogênio total do solo (LOVATO et al., 2004). Estes autores encontraram, em leguminosas, as maiores contribuições na adição anual de carbono e nitrogênio ao solo pelos sistemas de culturas, variaram de 4,17 a 8,39 Mg ha⁻¹ e de -21 a 178 kg ha⁻¹, respectivamente. Alves et al. (2006), também relataram que a fixação biológica de nitrogênio, inoculada sob sistema de plantio direto, foi superior a 80% do nitrogênio nas plantas de soja, proporcionando alta produtividade de grãos e balanço positivo de nitrogênio para o solo.

Em sistema de integração lavoura pecuária a quantidade de resíduo deixado no solo após o pastejo e pela cultura utilizada pode ser determinante para a sustentabilidade do sistema. Darolt (1998) preconiza no mínimo 6000,0 kg ha⁻¹ de matéria seca sobre a superfície do solo para plantio direto em esquema de rotação de culturas. Ainda, é importante que esta palha apresente uma maior persistência sobre o solo, pois segundo Roscoe et al. (2006a), para se ter um acúmulo de matéria orgânica no sistema é necessário ter um aporte de carbono superior à taxa de decomposição. Colonego et al. (2012a), avaliando resíduos vegetais de milho, braquiária e labe-labe, observaram que a palha de labe-labe apresentou a menor persistência entre as espécies estudadas, relacionando este fato com a menor relação C/N dessa espécie em relação a braquiária e ao milho.

Conforme Alvarenga et al. (2002), um valor de relação C/N próximo de 25 serve de referência na separação entre plantas de decomposição rápida e lenta. Assim, estes autores citam que as leguminosas, por imobilizarem nos seus tecidos o nitrogênio proveniente da fixação biológica via associação simbiótica com o rizóbio, possuem relação C/N próximo a 20 e taxa de decomposição rápida, ao passo que as gramíneas são de decomposição mais lenta, pois a quantidade de nitrogênio na sua massa vegetal é menor.

Nesse sentido, as braquiárias apresentam características favoráveis para sua utilização em sistemas de integração lavoura pecuária. São espécies forrageiras que produzem considerável produção de biomassa, proporcionando excelente cobertura vegetal, com grande potencial para a manutenção da palha sobre o solo em função da sua alta relação C/N, o que favorece a menor taxa de decomposição da palha (TIMOSSI et al., 2007). Pacheco et al. (2011) verificaram para *Brachiaria ruziziensis* a relação C/N igual a 30 e 34, em duas safras avaliadas. Colonego et al. (2012a) encontraram para fragmentos da parte aérea verde de braquiária (*Urochloa brizantha*) relação C/N igual a 44.

A rotação de pastagens com lavouras apresenta-se como uma importante alternativa para a produção de massa vegetal sobre o solo, como também através do abundante sistema radicular produzido pelas pastagens (SALTON et al., 2005). A introdução de braquiária na entressafra do cultivo da soja, em sistema de plantio direto, pode favorecer acúmulo de carbono orgânico no solo (ROSSI et al., 2012). Salton et al. (2005) observaram que a utilização de pastagens em sistemas de produção, em relação a lavouras em plantio direto, podem contribuir na retenção de carbono no solo em taxas médias de $0,43 \text{ Mg ha}^{-1}$, quando em rotação com soja e entre $0,65$ a $1,11 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, quando isolados. Em trabalho de D'Andréia et al. (2004), verificaram, em pastagem de braquiária, valores positivos no estoque de carbono nas profundidades estudadas (0-10; 10-20 e 20-40 cm), indicando possibilidade de acúmulo de carbono em relação ao cerrado nativo.

Souza et al. (2009), avaliando a evolução dos estoques de carbono orgânico total e nitrogênio total do solo e suas frações particuladas ao longo de um período de 6 anos, constaram nas alturas moderadas (20 e 40 cm) de manejo da pastagem de aveia-preta + azevém que houve incremento nesses estoques de carbono e nitrogênio do solo, semelhante ao plantio direto sem pastejo. Já na altura de alta intensidade de pastejo (10 cm) ocorreu redução nos estoques desses elementos químicos a partir do terceiro ano, sem, porém, apresentar diferenças em relação aos teores iniciais.

Salton et al. (2011), trabalhando em experimentos de longa duração, averiguaram nos sistemas com pastagem permanente maiores taxas de acúmulo e os maiores estoques de carbono no solo, apresentando valores menores quando o sistema era realizado com lavouras anuais e valores intermediários para sistemas

com integração lavoura pastagem, devendo estar associado, essas diferenças, as grandes quantidades de material vegetal normalmente deixado pelas pastagens.

Assim, a manutenção ou aumentos no carbono e nitrogênio do solo pode ser alcançado em sistemas de produção conservacionistas que possibilitem um adequado aporte de palhada e, principalmente, com inserção de pastagens nas rotações, em sistemas de integração lavoura pecuária.

2.5 Fracionamento Físico da Matéria Orgânica do Solo

A qualidade de um solo pode ser determinada pelos teores de matéria orgânica, utilizando como indicativo os teores de carbono e nitrogênio do solo (VEZZANI e MIELNICZUK, 2009). Porém, em situações que o sistema de manejo foi implantado em curto prazo, a matéria orgânica do solo pode não ser um eficiente discriminador das alterações na qualidade do solo (CONCEIÇÃO et al., 2005).

No estudo da qualidade do solo, além do conhecimento dos teores totais de matéria orgânica do solo é importante avaliar as diferentes frações da matéria orgânica para o estudo da degradação do solo (ROSCOE et al, 2006a). Conforme estes autores, mesmo em Latossolos ricos em oxi-hidróxidos de ferro e alumínio, em que verificaram pequenas ou nenhuma alterações nos teores totais de matéria orgânica do solo, evidenciaram degradação e perda de qualidade do solo em sistemas convencionais de cultivo quando realizaram análises de frações de matéria orgânica do solo.

Salton et al. (2005), avaliando sistemas de produção, lavoura em plantio direto (Lav); rotação de lavouras com pastagens (Lav-Past); pastagem contínua de *Brachiaria ruziziensis* (Past) e área com vegetação original como referência (VN), encontraram, no experimento de Campo Grande, estoques de carbono orgânico particulado na camada 0 - 20 cm variando de 8,5 Mg ha⁻¹ a 11,1 Mg ha⁻¹, respectivamente, para os sistemas Past e VN. Esses autores citam que embora o estoque total de carbono do solo no sistema Past seja maior que nos outros sistemas, o fracionamento da matéria orgânica do solo permite prever que a manutenção deste manejo não será sustentável em médio prazo, pois não havendo suprimento de carbono ao solo, via carbono particulado, haverá redução no estoque total de carbono do solo.

Assim, a avaliação da matéria orgânica particulada do solo pode ser uma alternativa, pois esta é uma fração lábil e alterações em seus estoques em função do manejo são verificadas geralmente em curto prazo (BAYER et al., 2002).

Os métodos para o fracionamento da matéria orgânica do solo podem ser densimétricos ou granulométricos, ou uma combinação de ambos (SALTON, 2005; ROSCOE et al., 2006b). Os métodos granulométricos envolvem a separação da matéria orgânica em função do tamanho das partículas às quais está associada (ROSCOE et al., 2006b). O método densimétrico baseia-se na diferença de densidade entre a fração orgânica e a mineral do solo (ROSCOE e MACHADO, 2002).

No fracionamento físico da matéria orgânica pelo método granulométrico descrito por Cambardella e Elliott (1992), o material retido na peneira com malha de 0,053 mm refere-se à fração particulada da matéria orgânica do solo, correspondente à fração lábil. Já o carbono orgânico da fração não retida na peneira, partículas de tamanho correspondente ao silte e argila, é considerado a parte não lábil (SALTON et al., 2005).

2.6 A Altura de Pastejo e a Cultura da Soja no Sistema de Integração Lavoura Pecuária

Os sistemas de integração lavoura pecuária permitem a maximização do uso do solo por meio de rotações ou cultivos em sequência de grãos com pastagens, garantindo a sustentabilidade da produção, além da possibilidade de maior rentabilidade e quando o sistema é bem manejado (CAVALCANTE et al., 2013).

Em sistemas de integração lavoura pecuária busca-se o equilíbrio entre a oferta de forragem para produção animal e quantidade de cobertura remanescente após o pastejo para a cultura em sucessão. Nicoloso et al. (2006) verificaram redução na produtividade da soja após o cultivo em sucessão, em área de pastagem de inverno que se manejou com maior frequência de pastejo em relação a área não pastejada. Portanto, conhecer e entender a ação dos animais e a quantidade de resíduos vegetais deixada pelo manejo dos mesmos são aspectos importantes para a consolidação do sistema integração lavoura pecuária.

A soja tem um importante papel no processo de desenvolvimento da integração lavoura pecuária como cultura de excelente mercado, e do ponto de vista ambiental, por ser uma leguminosa (Fabacea) que fixa nitrogênio e participa com a melhoria da fertilidade do sistema produtivo, contribuindo para a sustentabilidade do sistema (FRANCHINI et al., 2010).

Segundo Salton et al. (2001), a soja é a cultura base do sistema integração lavoura pecuária, e os seus efeitos na forrageira subsequente são fundamentais à melhoria das gramíneas, da mesma forma que os efeitos desta na cultura da soja são também bastante evidentes.

Machado e Valle (2011), testando genótipos de capim-braquiária [*Urochloa brizantha* (Syn. *Brachiaria brizantha*)], como Marandu, MG 4, Xaraés, Piatã, Arapoty e B 6, em sucessão à soja, para uso em sistemas de integração lavoura pecuária, não tiveram a produtividade de grãos de soja afetada por esses genótipos. Esses autores alegam que isso deve provavelmente à pequena variação imposta pelas forrageiras ao meio, já que são todas de uma única espécie.

Em sistema de integração lavoura pecuária a semeadura da soja é realizada cerca de 15 dias após a dessecação da pastagem de braquiária, não podendo ser feita antes, principalmente em solos arenosos, porque pode induzir a deficiência de nitrogênio (SALTON et al, 2001).

Nepomuceno et al. (2012) recomendam o manejo químico de *Urochloa ruziziensis* (Syn. *Brachiaria ruziziensis*) com glyphosate entre 10 e 20 dias antes da semeadura da soja, pois quando realizaram a semeadura da soja no dia da dessecação da *Urochloa*, observaram redução na produtividade da cultura da soja, de 31% no experimento de Colina e, a realização da semeadura após 0 e 7 dias da aplicação de glyphosate na área experimental de Jaboticabal, a redução média de produtividade de grãos foi de 7,1%. Esses autores citam que a diferença na produtividade de grãos, correspondente à aplicação de glyphosate no dia da semeadura entre Colina e Jaboticabal, se deve provavelmente a maior cobertura vegetal de *Urochloa* verificada em Colina, que foi 40% superior à de Jaboticabal, além de possíveis efeitos aleloquímicos presentes nesta braquiária que foram lixiviados pelas chuvas e carregados para a solução do solo, e atingindo concentrações suficientes para afetar negativamente a cultura da soja.

Debiasi e Franchini (2012), não observaram alteração na produtividade da soja da cultivar BRS 255RR, em função das pressões de pastejo e épocas de

dessecação da testemunha não pastejada de *Brachiaria brizantha*. Contudo, verificaram que a produtividade da soja da cultivar BRS 294RR foi afetada pelo intervalo entre a época de dessecação da pastagem e da semeadura da cultura, quando se trabalha com alta produção de matéria seca de *Brachiaria brizantha* em sistema de integração lavoura pecuária. As menores produtividades observadas por esses autores foram nos tratamentos dessecados aos 30 dias da semeadura, e a quantidade de massa de matéria seca de era superior a 9000,0 kg ha⁻¹. Já as maiores produtividades ocorreram nos tratamentos sem pastejo e dessecados aos 44 ou 52 dias após a semeadura e para o tratamento pastejado com 16,5 UA ha⁻¹, que apresentava menor quantidade de massa de matéria seca por ocasião da dessecação.

A intensidade de pastejo adotado pode ser determinante na produtividade da cultura subsequente, pois a produção pode ser afetada por aspectos físicos, químicos e biológicos do solo. Segundo Carvalho et al. (2011), uma intensidade de pastejo adequada deve propiciar uma quantidade de área foliar remanescente que não prejudique a interceptação de luz e o crescimento do pasto, além da produção animal, e no caso de um sistema de integração lavoura pecuária, a quantidade de palhada remanescente após a retirada dos animais deve ser suficiente para a lavoura em sucessão.

Flores et al. (2007), em experimento realizado em Latossolo Vermelho distroférico com pastagem de aveia-preta + azevém, manejada em diferentes alturas da pastagem (10, 20, 30 e 40 cm), e uma área com aveia-preta + azevém sem pastejo, não verificaram interferência do manejo do pasto sobre o rendimento de grãos de soja.

Lunardi et al. (2008) verificaram aumento na produção de soja (1384,0 kg ha⁻¹) em área submetida ao pastejo por cordeiros em azevém em comparação a área não pastejada (934,0 kg ha⁻¹). Para os pastejados constataram maior rendimento de soja na intensidade de pastejo baixa (1559,0 kg ha⁻¹) em comparação com a intensidade moderada (1208,0 kg ha⁻¹). Ainda, esses autores ressaltam que os baixos rendimentos de soja foram consequência da restrição hídrica ocorrida no período de 20/2/2004 a 10/4/2004. A chuva acumulada nesse período foi de 66 mm, coincidindo com o período de floração e enchimento de grãos.

Lopes et al. (2009), testando quatro alturas de manejo do pasto: 10, 20, 30 e 40 cm e um tratamento sem pastejo, encontraram diferença entre os tratamentos

para palhada residual e estande inicial de plantas de soja, porém essas diferenças não afetaram o rendimento de grãos da cultura. Esses autores relataram que a presença de animais não compromete a produção da cultura posterior, sendo favorável ao produtor pela oportunidade de melhor exploração da área na entressafra da soja. Já Cassol (2003), trabalhando nas alturas de pastejo 10, 20, 30 e 40 cm e sem pastejo, verificou redução na população de plantas e na produtividade da soja com a redução da altura de pastejo, porém não houve diferença no rendimento da soja entre a área não pastejada com àquela pastejada a 40 cm. Assim, esses autores relatam que o sistema integração lavoura pecuária é viável desde que seja feito o adequado manejo da pastagem.

Em trabalho de Giarola et al. (2009), avaliaram sistema de plantio direto com e sem compactação adicional, efeito de quatro passadas sequenciais e sobrepostas do rodado de um trator com massa de 4600 kg (pressão média sobre o solo em torno de 0,25 MPa), após irrigação com uma lâmina de água de 63 mm e cinco cultivares de soja: Coodetec 204, Coodetec 215, Monsoy 5942, Embrapa 48 e Spring, mostrando que as variáveis de produção de fitomassa seca, massa de mil grãos e altura de plantas não foram influenciados pela compactação adicional, e as diferenças ocorridas foram devidas às características das próprias cultivares.

Os trabalhos apresentados permitem verificar que a cultura da soja se integra bem no sistema integração lavoura pecuária, devendo estar atento ao momento de dessecação da pastagem para a semeadura desta cultura. As pastagens que antecedem a cultura da soja devem ser manejadas corretamente, com uma altura de pastejo que possibilite adequada disponibilidade de forragem para o rebanho e, permita, posteriormente, uma palhada favorável à implantação da lavoura de grãos.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização da Área Experimental e Clima da Região

O experimento foi conduzido em área da Fazenda Experimental do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), localizada no município de Xambê-PR, no período de setembro de 2010 a abril de 2012. O clima predominante na região é do tipo Cfa, segundo classificação de Köppen (IAPAR, 1987). Os dados de referência para precipitação pluviométrica e temperatura média estão apresentados na Figura 1.

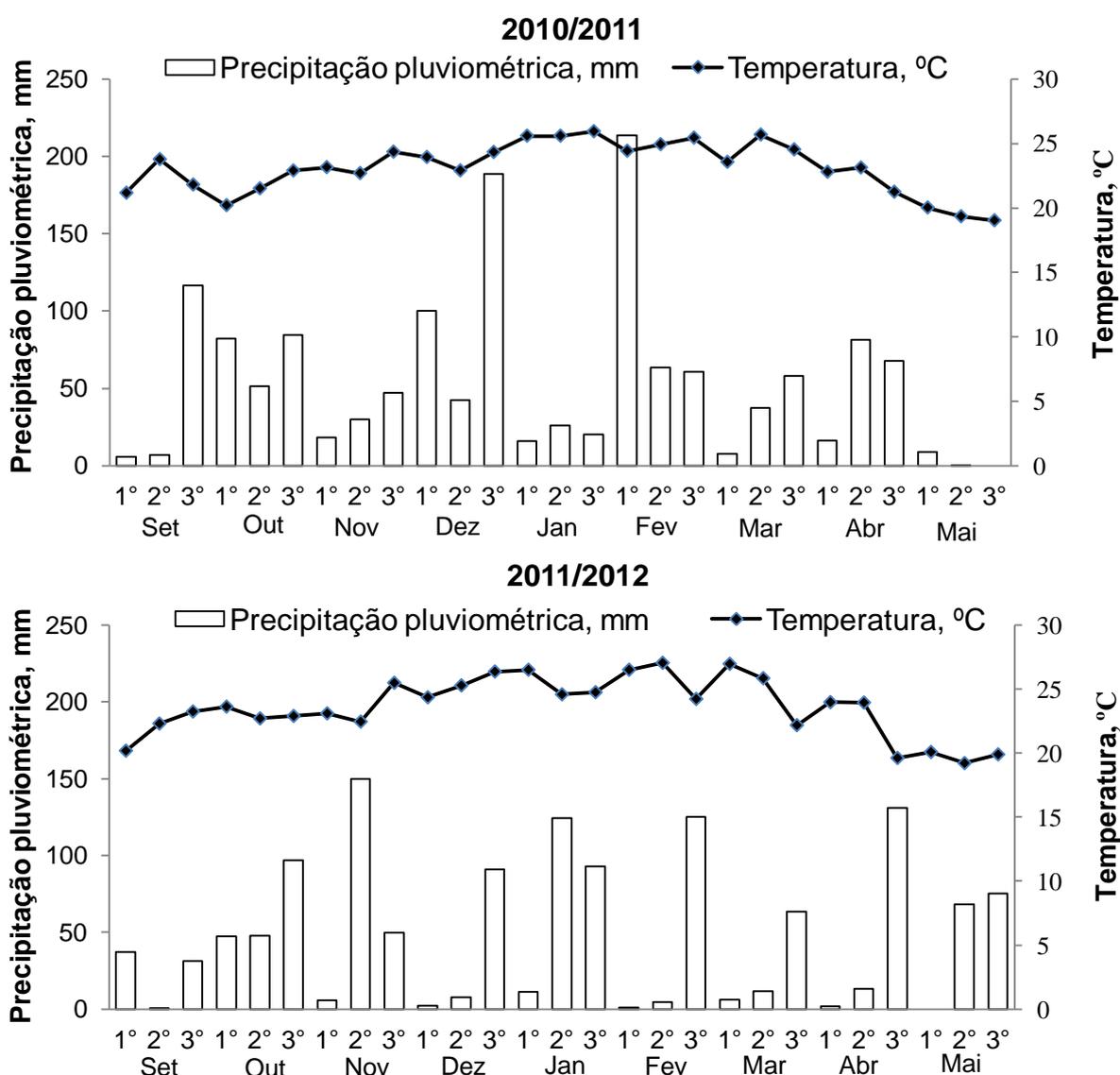


Figura 1- Médias de precipitação pluviométrica e temperaturas dos 1º, 2º e 3º decêndios de cada mês nos anos agrícolas 2010/2011 e 2011/2012.

Fonte: IAPAR: Estação Meteorológica – Umuarama - PR.

3.2 Características Físicas e Químicas do Solo

O solo foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico (SANTOS et al., 2006 apud FIDALSKI et al., 2013), de textura arenosa/média (EMBRAPA, 1984; FASOLO et al., 1998 apud FIDALSKI et al., 2013), cujos teores de areia, silte e argila estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1- Caracterização granulométrica do Latossolo Vermelho distrófico típico da área experimental

Profundidade (cm)	Areia			Silte	Argila
	Total	Fina	Grossa		
	-----g kg ⁻¹ -----				
0-10	870	350	650	30	100
10-20	860	350	650	20	120
20-50	830	340	660	10	160
50-200	820	360	640	10	170

Fonte: FIDALSKI et al., 2013.

As características químicas foram analisadas segundo métodos descritos em Pavan et al. (1992) (Tabela 2). As coletas foram realizadas em outubro de 2010, com o solo amostrado nas profundidades de 0-10; 10-20 e 20-30 cm. A área vinha sendo cultivada anteriormente com aveia no inverno (não pastejada) e soja no verão em sucessão de cultura, nas últimas três safras agrícolas.

Tabela 2- Caracterização química do perfil do Latossolo Vermelho distrófico típico da área experimental

¹ Prof. (cm)	P mg dm ⁻³	MO g kg ⁻¹	pH CaCl ₂ 0,01mol L ⁻¹	H+Al	Al ⁺³	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	SB	CTC	V	Al	
				-----cmol _c dm ⁻³ -----									
0-10	39,9	12,0	5,1	2,7	0,01	0,4	1,6	0,8	2,8	5,5	50,9	0,4	
10-20	12,0	9,3	5,2	2,6	0,03	0,2	1,6	0,6	2,4	5,0	48,0	1,2	
20-30	4,0	7,4	5,2	2,6	0,05	0,1	1,3	0,7	2,1	4,7	44,7	2,3	

¹Profundidade; P - Extrator Mehlich.

FONTES: UNIOESTE.

3.3 Área Experimental

As unidades experimentais foram constituídas de 15 piquetes, com área de 1 ha para os piquetes pastejados e 0,5 ha para os piquetes não pastejados, totalizando cerca de 13,5 ha de área experimental (Figura 2). Os piquetes foram divididos com o auxílio de cerca elétrica no período de inverno, sendo retiradas durante o cultivo da soja.

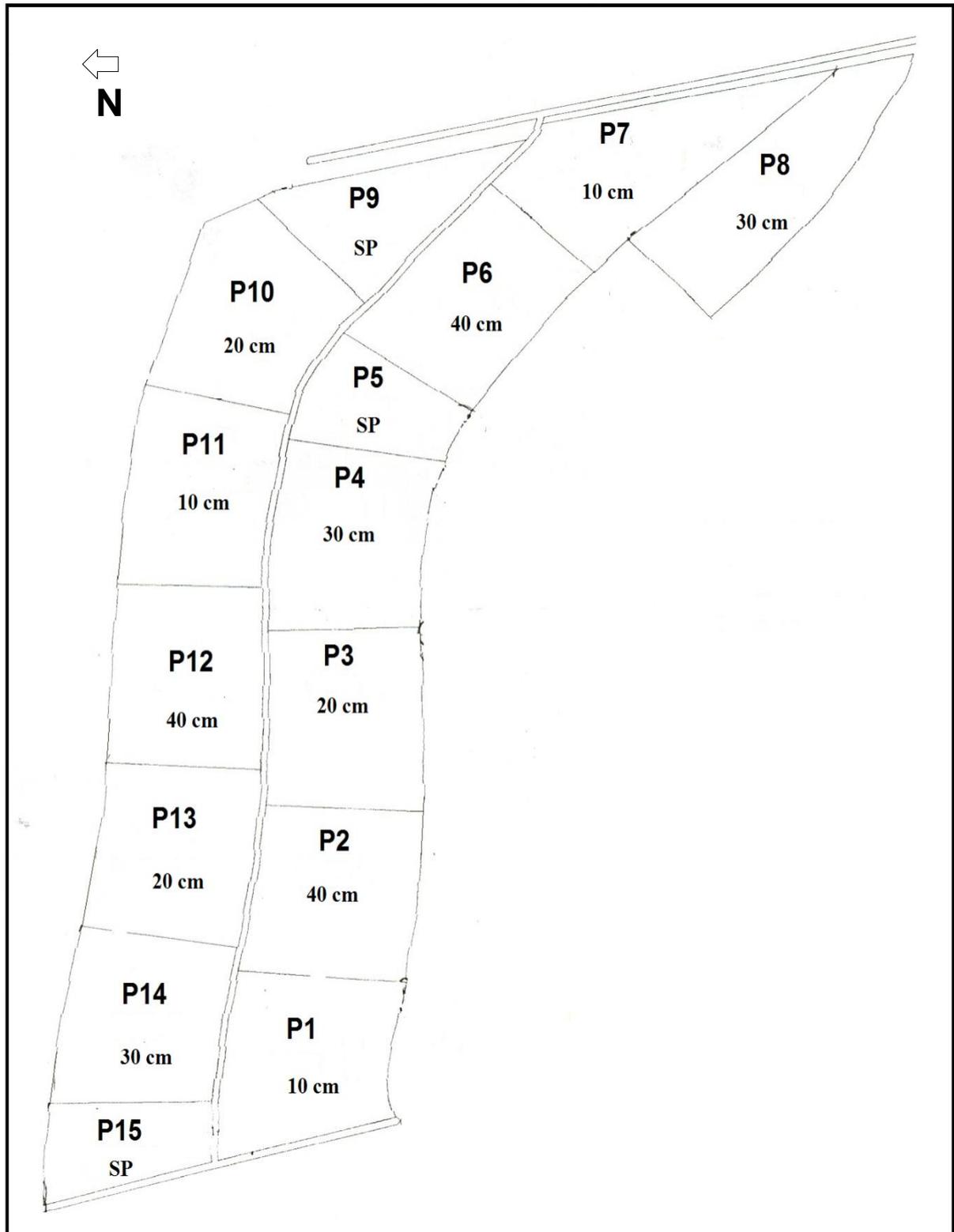


Figura 2- Croqui da área experimental, com os tratamentos pastejados no inverno (Parcelas: P1 a P4; P6 a P8; P10 a P14), nas alturas 10, 20, 30, 40 cm e tratamento sem pastejo (SP) (Parcelas: P5, P9 e P15), Xambrê-PR.

3.4 Tratamentos e Delineamento Experimental

O delineamento experimental a campo foi constituído em blocos ao acaso, sendo três blocos e cinco parcelas totalizando 15 unidades experimentais. Nas parcelas foram alocadas as quatro alturas de pastejo de *Brachiaria ruziziensis*: 10 – pastejo com altura a 10 cm (pastejo intensivo); 20 - pastejo com altura a 20 cm (pastejo moderado); 30 - pastejo com altura a 30 cm (pastejo moderado/leve); 40 - pastejo com altura a 40 cm (pastejo leve) e SP – área de *Brachiaria ruziziensis* sem pastejo (SP) representando a testemunha. A manutenção das alturas propostas foi realizada pela presença de animais em pastejo.

A análise dos dados foi realizada no esquema de parcelas subdivididas no tempo conforme Pimentel (2000) e Pimentel e Garcia (2002). O fator altura de pastejo (10 cm, 20 cm, 30 cm, 40 cm e SP) foi considerado a parcela (tratamento de parcela) e o fator época de amostragem, com avaliações realizadas sucessivamente ao longo do tempo, foram alocadas na subparcela (tratamento de subparcela).

3.5 Plantio da *Brachiaria ruziziensis* e Animais Experimentais

No mês de março, dos anos de 2010 e 2011, foi implantada a pastagem de *Brachiaria ruziziensis*, respectivamente, nos espaçamentos de 17 cm e 33 cm entre linhas, com 8,9 kg de semente ha⁻¹ (Valor Cultural = 76%). No mês de abril, a pastagem foi adubada com 40 kg ha⁻¹ de nitrogênio utilizando-se como fonte o nitrato de amônio. A entrada dos animais na área experimental ocorreu no mês de maio e a saída no início de setembro.

Foram utilizados dois animais fixos em cada unidade experimental, definidos como “testers” (24 bovinos) e um número variado de animais reguladores, resultantes do composto inter-racial Purunã, com peso médio de 200 kg e idade de 10 meses. Utilizou-se o sistema de pastejo de lotação contínua, com carga variável (put-and-take) (MOTT e LUCAS, 1952).

O ajuste da carga animal foi realizado semanalmente com a entrada ou saída de animais reguladores para manter a altura da pastagem desejada em cada tratamento. A altura da pastagem era avaliada pelo método Sward Stick

(BARTHAM, 1985). Em cada parcela experimental foram aferidos 50 pontos para a determinação da altura média de cada piquete.

3.6 Cultivo da Soja

A cultura da soja foi semeada em sistema de plantio direto, em sucessão com a pastagem de *Brachiaria ruziziensis*, em duas safras. No presente estudo, após a retirada dos animais do pastejo de inverno, foi realizada a dessecação da braquiária com 2,4 L ha⁻¹ do herbicida Glifosato (480 g/L) + 0,5% de Ácido bórico, em 18 e 19 de setembro, respectivamente, para os anos de 2010 e 2011. A cultura da soja foi semeada em 19 de outubro, nos anos de 2010 e 2011 e a cultivar utilizada foi BMX Potência RR, de ciclo semiprecoce e hábito de crescimento indeterminado. Foi utilizada a adubação de base com 250 kg ha⁻¹ de superfostato simples no momento da semeadura e, aos 30 dias do plantio, foi realizada a adubação de cobertura com 100 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio. O espaçamento utilizado foi de 45 cm entre linhas, com 22 e 18 sementes por metro linear, respectivamente, nos anos de 2010 e 2011. Quando da semeadura da soja no ano de 2010, as sementes foram inoculadas com estirpes de *Bradyrhizobium japonicum* (SEMIA 5079) e *B. elkani* (SEMIA 587) e tratadas com inseticida Imidacloprido (600 g/L) (200 mL 100 kg⁻¹) e fungicida Carboxina (200 g/L) + Tiram (200 g/L) (300 mL 100 kg⁻¹ semente).

Em cada ano agrícola, após o plantio, o controle de plantas daninhas foi realizado com duas aplicações de Glifosato (480 g/L) e duas de Carfentrazona-etílica (400 g/L). No primeiro ano agrícola o controle de pragas foi realizado com Metomil (215 g/L), Metamidofós (600 g/L) e Endossulfam (350 g/L). Já no segundo ano, o controle foi realizado com Metamidofós (600 g/L), Metomil (215 g/L), Deltametrina (25 g/L), Bifentrina (100 g/L), Clorantraniliprole (200 g/L) e Lambda Cialotrina (106 g/L) + Tiametoxam (141 g/L). Para o controle de doenças no primeiro ano foi realizado com Epoxiconazol (50 g/L) + Piraclostrobina (133 g/L), tebuconazol (200 g/L) e Azoxistrobina (200 g/L) + Ciproconazol (80 g/L). No segundo ano o controle de doenças foi realizado com Azoxistrobina (200 g/L) + Ciproconazol (80 g/L) e Epoxiconazol (50 g/L) + Piraclostrobina (133 g/L). Todas as aplicações foram realizadas com pulverizador de barras. A colheita da soja foi realizada dia 15 e 6 de março, dos anos de 2011 e 2012, respectivamente.

3.7 Coleta dos Dados

3.7.1 Massa da parte aérea de *Brachiaria ruziziensis* e resíduo vegetal

A massa da parte aérea de *Brachiaria ruziziensis* e de resíduo vegetal foram coletados no mês de setembro, após a retirada dos animais dos piquetes e antes da semeadura da soja, retirando-se trinta amostras aleatórias por parcela, com auxílio de um quadrado de 0,25 m² (50 x 50 cm). Em cada ponto amostrado foi coletado a parte aérea da braquiária, denominado de massa de matéria seca da parte aérea de *Brachiaria ruziziensis*, e também todo o resíduo sobre a superfície do solo (material morto), denominado de matéria seca de resíduo vegetal. Posteriormente à coleta, as amostras foram colocadas em estufa de ventilação forçada a 65°C, por 72 horas, para determinar a produção de matéria seca. Na análise desses dados também foi realizado a soma da massa da parte aérea de *Brachiaria ruziziensis* com o resíduo vegetal, denominado de massa de matéria seca total. As quantidades de matéria seca determinadas foram expressas por kg ha⁻¹.

3.7.2 Densidade, macroporosidade, microporosidade e porosidade total do solo

Foram avaliadas a densidade, a macroporosidade, a microporosidade e a porosidade total do solo, nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-30 cm, através de amostras de solo indeformadas. Foram utilizados anéis metálicos com dimensões médias de 5 cm de altura e 4,9 cm de diâmetro. As amostras foram retiradas, aleatoriamente, em dois pontos por parcela, sendo efetuada em três momentos: no início de maio, após a colheita da soja (maio/2011), após a *Brachiaria ruziziensis* pastejada (setembro/2011) e após a colheita da soja (abril/2012). Após as coletas, as amostras foram levadas ao laboratório, determinando-se a densidade do solo pelo método do anel volumétrico (EMBRAPA, 1997), expresso em Mg dm⁻³.

As amostras indeformadas foram saturadas por 48 horas em bandejas com água até dois terços da altura do anel, e posteriormente a este período, as mesmas foram pesadas para obter suas massas saturadas e levadas para a mesa de tensão para realização da drenagem. Com os valores de água retida nas amostras na mesa

de tensão calculou-se a macroporosidade, a microporosidade e a porosidade total conforme EMBRAPA (1997), valores expresso em $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$.

3.7.3 Umidade gravimétrica do solo

A avaliação da água gravimétrica do solo foi realizada com base em amostragens durante o ciclo da soja, nas fases de formação das vagens e maturação dos grãos. Em cada momento de coleta duas amostras de solo deformadas foram retiradas entre as linhas de plantas da soja, com auxílio de um trado de caneca, nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-30 cm. Essas amostras foram colocadas em frasco de vidro de 200 mL e fechadas com tampa para não perder a umidade. Posteriormente foram pesadas e levadas à estufa a 105°C por 48 h, para posterior determinação da umidade gravimétrica da água (EMBRAPA, 1997), expressa em $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$.

3.7.4 Carbono e nitrogênio do solo

Os teores e estoques de carbono e nitrogênio total do solo foram avaliados em dois momentos: após a *Brachiaria ruziziensis* pastejada (out/2010) e após a colheita da soja no final do experimento (mar/2012). Os teores e estoques de nitrogênio mineral do solo foram avaliados após a *Brachiaria ruziziensis* pastejada (out/2010 e set/2011) e logo após a colheita da soja (mar/2011 e mar/2012). Foram coletadas, com auxílio de um trado de caneca, um total de dez amostras por parcela para formar uma amostra composta representativa, retiradas nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-30 cm de profundidade do solo. Após a coleta, as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e transportadas ao Laboratório, secas ao ar e passadas em peneiras de 2 mm para as análises. O carbono orgânico total (COT) do solo foi determinado segundo o método de Walkley e Black (PAVAN, 1992). O nitrogênio total (NT) e nitrogênio mineral (NM) do solo foram determinados pelo método de descrito por Tedesco et al. (1995).

3.7.4.1 Fracionamento físico do carbono do solo

O fracionamento físico do carbono do solo foi realizado segundo Cambardella e Elliot (1992). Consistiu em pesar 20 g de solo e colocar em frascos do tipo “snap-cap” de 180 mL, adicionar 80 mL de solução dispersante de hexametáfosfato de sódio (0,5%), com posterior agitação horizontal durante 15 horas. Posteriormente, o conteúdo dos frascos foi peneirado em malha com abertura de 0,053 mm, com auxílio de jatos d’água, sendo o material retido na peneira seco em estufa a 50°C. Na sequência, foi determinada a massa, moído em almofariz e, posteriormente, determinou-se o teor de carbono orgânico do solo pelo método de Walkley e Black, sendo este o carbono orgânico particulado do solo (COP) e correspondente à fração lábil. O carbono orgânico da fração não retida na peneira, de tamanho correspondente a silte e argila, está associado aos minerais do solo (CAM), sendo considerado não lábil. O teor desse carbono foi calculado pela diferença entre o valor do COT e o COP.

3.7.4.2 Estoque de carbono e nitrogênio do solo

Os estoques de carbono e nitrogênio do solo foram calculados em função dos teores de carbono orgânico total e nitrogênio total do solo, da espessura da camada do solo e da densidade do solo (FREIXO et al., 2002). A expressão utilizada foi: $ECOT = (COT \times Ds \times e)/10$ e $ENT = (NT \times Ds \times e)/10$, em que: ECOT é o estoque de carbono orgânico total do solo em determinada profundidade ($Mg \text{ ha}^{-1}$); COT é o conteúdo de carbono orgânico total do solo ($g \text{ kg}^{-1}$); ENT é o estoque de nitrogênio total do solo em determinada profundidade ($Mg \text{ ha}^{-1}$); NT o conteúdo de nitrogênio total do solo ($g \text{ kg}^{-1}$); Ds a densidade do solo em cada profundidade ($Mg \text{ m}^{-3}$); e é a espessura da camada considerada (cm). No caso do nitrogênio mineral do solo utiliza-se a mesma expressão substituindo ENT por ENM (Estoque de nitrogênio mineral) e NT por NM (Nitrogênio mineral), ficando a expressão: $ENM = (NM \times Ds \times e)/10$, onde ENM foi dado por $kg \text{ ha}^{-1}$ e NM por $mg \text{ kg}^{-1}$.

3.7.5 Número final de plantas, altura das plantas e rendimento dos grãos de soja

O número final de plantas por metro linear, altura das plantas e rendimento de grãos de soja, após atingir a maturação fisiológica, foram amostrados em dez pontos por parcela (piquete), realizados de forma aleatória, evitando-se, entretanto, a entrada do piquete, terraços e proximidade de cochos de água e sal. Cada ponto amostrado foi composto por três linhas de 1,5 m lineares, sendo realizada a contagem do número de plantas na linha (expresso em número de plantas por metro linear) e também três leituras de altura das plantas com régua graduada em cm. O rendimento de grãos de soja foi determinado realizando o corte das plantas rente ao solo, sendo embaladas, e posteriormente foram debulhadas e limpas manualmente, e pesadas, determinando-se os teores de umidade das sementes conforme BRASIL (2009). O rendimento de grãos de cada parcela foi ajustado para 13% de umidade e expresso em Kg ha^{-1} .

3.8 Análises Estatísticas

As variáveis estudadas foram submetidas à análise de variância pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade de erro. A comparação entre as médias estudadas foram realizadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro. O programa utilizado para as análises estatísticas foi o SISVAR (FERREIRA, 2011).

O modelo estatístico em parcela subdividida, com dois fatores, utilizado para realização das análises segue abaixo:

$$Y_{ijk} = \mu + B_k + A_i + e_{jk} + E_j + (AE)_{ij} + e_{ijk}$$

Y_{ijk} é o valor observado na parcela experimental que recebeu o nível i do fator A e o nível j do fator E no bloco k ;

μ representa uma constante geral;

B_k é o efeito do bloco k ($k=1,2,\dots,b$);

A_i é o efeito do nível i do fator A (Altura de pastejo) ($i=1,2,\dots,s$);

e_{ij} é o erro experimental (erro a);

E_j é o efeito do nível j do fator E (Época de amostragem) ($j=1, 2,\dots, a$);

$(AE)_{ij}$ é o efeito da interação entre o nível i do fator A e o nível j do fator E;

e_{ijk} é o erro experimental (erro b).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Produção de Massa da Parte Aérea de *Brachiaria ruziziensis* e de Resíduo Vegetal

Na Tabela 3, verifica-se que as variáveis das massas de matéria seca da parte aérea de *Brachiaria ruziziensis* e matéria seca total foram significativas ($P < 0,05$) nas duas épocas de avaliação e na média dessas duas épocas. Já a variável de resíduo vegetal não foi significativa ($P > 0,05$) para a primeira época de coleta e, também no contexto das duas coletas, e significativo na segunda época ($P < 0,05$).

Na primeira época de coleta (set/2010), a massa de matéria seca da parte aérea da braquiária do tratamento não pastejado foi superior aos tratamentos pastejados ($P < 0,05$). Já entre os tratamentos pastejados, a altura de 30 e 40 cm aparece num patamar superior ($P < 0,05$) à altura de pastejo de 10 cm, que por sua vez, não diferiu da altura 20 cm ($P > 0,05$). Quando se considera a massa de matéria seca total também se verificou maior produção na área não pastejada em relação aos tratamentos pastejados ($P < 0,05$), todavia, não houve diferença entre as áreas pastejadas ($P > 0,05$) para esta variável.

Na segunda época de coleta (set/2011), também se verificou maior massa de matéria seca da parte aérea da braquiária no tratamento SP ($P < 0,05$) em relação às áreas pastejadas, sendo que entre os tratamentos sob pastejo as maiores produções foram para as alturas 30 e 40 cm. Em relação ao resíduo vegetal, o tratamento 10 cm não diferiu do tratamento 30 cm e apresentou menor produção em relação aos tratamentos 20, 40 cm e SP, e estes não diferiram entre si. Todavia o tratamento 30 cm não teve diferença para os tratamentos 20 e 40 cm, sendo inferior ao tratamento SP. Pode-se observar, também, na segunda época de coleta (set/2011), que a massa de matéria seca total e a massa de matéria seca da parte aérea da braquiária apresentaram comportamento semelhante em relação aos tratamentos 10, 20, 40 cm e SP, com exceção da altura 30 cm, que não diferiu da altura 20 cm para massa de matéria seca total (Tabela 3).

Na média das duas épocas de coleta, houve maior quantidade de massa de *Brachiaria ruziziensis* com o incremento das alturas de pastejo, apresentando a área

SP maior produção em relação aos tratamentos pastejados (Tabela 3). Já a média de massa de matéria seca total apresentou comportamento similar à segunda época de coleta. Desta forma deve-se destacar que as áreas pastejadas resultaram em menores massas de matéria seca total para a implantação da cultura em sucessão.

Tabela 3- Médias de massa de matéria seca da parte aérea de *Brachiaria ruziziensis*, matéria seca de resíduo vegetal⁽¹⁾ e massa de matéria seca total (massa de matéria seca da parte aérea de braquiária + resíduo vegetal), após a *Brachiaria ruziziensis* (set/2010 e set/2011), sob diferentes alturas de pastejo e área sem pastejo (SP)

Altura de pastejo (cm)	Setembro/2010	Setembro/2011	Média
Massa de matéria seca da parte aérea de <i>Brachiaria ruziziensis</i> (Kg ha ⁻¹)			
10	3329,7dA	3408,8dA	3369,2e
20	3767,0cdB	4752,0cA	4259,5d
30	4235,1bcB	6405,0bA	5320,3c
40	4737,7bB	7020,6bA	5879,1b
SP	9379,2aA	8672,3aB	9025,7a
Média	5089,8B	6051,8A	
CV1 (%)=4,21 CV2 (%)=6,96			
Matéria seca de resíduo vegetal ⁽¹⁾ (Kg ha ⁻¹)			
10	1639,1aA	2057,4cA	1848,3a
20	1516,4aB	2902,3abA	2209,3a
30	1622,1aB	2503,3bcA	2062,7a
40	1414,5aB	2950,3abA	2182,4a
SP	1020,6aB	3386,7aA	2203,6a
Média	1442,5B	2760,0A	
CV1 (%)=16,54 CV2 (%)=15,22			
Massa de matéria seca total (Parte aérea de braquiária + resíduo vegetal) (Kg ha ⁻¹)			
10	4968,8bA	5466,2dA	5217,5d
20	5283,4bB	7654,2cA	6468,8c
30	5857,2bB	8908,9bcA	7383,0bc
40	6152,1bB	9971,0bA	8061,5b
SP	10399,8aB	12058,9aA	11229,3a
Média	6532,3B	8811,8A	
CV1 (%)=6,77 CV2 (%)=7,63			

⁽¹⁾ Resíduos de materiais vegetais mortos. Letras minúsculas, dentro de cada época de coleta, comparam na coluna as médias entre as alturas de pastejo para cada variável. Letras minúsculas diferentes na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05). Letras maiúsculas comparam na linha as médias entre as épocas de coleta para cada variável. Letras maiúsculas diferentes na linha diferem entre as épocas de coleta para cada variável, pelo teste F (P<0,05). CV1(%): coeficiente de variação referente à altura de pastejo. CV2(%): coeficiente de variação referente época e à interação altura x época.

Os valores médios de massa de matéria seca total (Massa da parte aérea de braquiária + resíduo vegetal) no tratamento SP foram de 10399,8 e 12058,9 kg de ha⁻¹, respectivamente, para os anos de 2010 e 2011. Este dados estão próximo aos encontrados por Nepomuceno et al. (2012) em área sem pastejo, que verificaram, após a dessecação da *Brachiaria ruziziensis*, cerca de 10000,0 kg ha⁻¹ de massa seca com 100% de cobertura do solo. Já em outra área referente ao mesmo experimento, estes autores obtiveram 6000,0 kg ha⁻¹ de massa seca com 80% de cobertura da superfície da área. Estes resultados mostram que a produção de palha de *Brachiaria ruziziensis* pode variar de um local para outro em função das condições edafoclimáticas.

Em relação às comparações entre as épocas de coletas (set/2010 e set/2011), as variáveis, massa de matéria seca da parte aérea de *Brachiaria ruziziensis*, resíduo vegetal e massa de matéria seca total apresentaram diferenças significativas ($P < 0,05$) para as alturas de pastejo de 20, 30 e 40 cm e tratamento SP, não sendo significativo para a altura de pastejo a 10 cm (Tabela 3).

De uma maneira geral, houve maior produção de massa da parte aérea de *Brachiaria ruziziensis*, resíduo vegetal, e a somatória dessas matérias secas, na segunda época de coleta ($P < 0,05$) (Tabela 3).

As quantidades de massa de matéria seca total produzida pelos tratamentos, com exceção da altura de 10 cm, (Tabela 3) ficaram próximas das quantidades necessárias para que se mantenha adequada à cobertura do solo em um sistema de plantio direto num esquema de sucessão de culturas, visto que se preconiza no mínimo 6000,0 kg ha⁻¹ de matéria seca sobre a superfície do solo (DAROLT, 1998).

Pode-se observar, através de constatações visuais, a permanência de resíduo vegetal de *Brachiaria ruziziensis* sobre a superfície do solo durante todo o ciclo da cultura da soja (Figura 3). Este fato pode ser corroborado com os dados de Franchini et al. (2009), que verificaram 40% do material original de forrageiras tropicais após 120 dias de permanência da palhada sobre a superfície do solo, e os resíduos de *Brachiaria ruziziensis* favoreciam uma boa cobertura do solo mesmo após nove meses de sua dessecação. Já Pacheco et al. (2011), trabalhando com plantas de cobertura no inverno, em duas safras consecutivas, observaram após 120 dias da dessecação a permanência de 1172,0 kg ha⁻¹ antecedendo a primeira safra e 3900,0 kg ha⁻¹ antecedendo a segunda safra, correspondendo, respectivamente, a 18,8% e 51,6% do total de matéria seca inicial de *Brachiaria ruziziensis*. Em trabalho de

Nunes *et al.* (2010), encontraram após 135 dias da semeadura, no final do ciclo da soja, uma quantidade de matéria seca de 5700,0 e 7200,0 kg ha⁻¹, respectivamente, de *Brachiaria brizantha* e *Brachiaria decumbens*, deixando evidente uma adequada cobertura durante o ciclo da soja.



Figura 3- Resíduo vegetal de *Brachiaria ruziziensis* sobre a superfície do solo no período final do ciclo da cultura da soja. A, B, C, D e E correspondem, respectivamente, as alturas de pastejo 10, 20, 30, 40 cm e área sem pastejo, (março/2012).

4.2 Densidade, Macroporosidade, Microporosidade e Porosidade Total do Solo

Os valores de densidade, macroporosidade, microporosidade e porosidade total do solo nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-30 cm não foram influenciados pela altura de pastejo, mostrando comportamento similar à área sem pastejo (SP) da *Brachiaria ruziziensis*, nas épocas avaliadas ($P > 0,05$) (Tabelas 4 e 5).

Verifica-se que ocorreu interação significativa ($P < 0,05$) entre a altura de pastejo e a época de amostragem apenas para porosidade total na profundidade 10-20 cm (Tabela 5), com aumento nos segundo e terceiro períodos para as alturas 30 e 40 cm. Porém, os outros tratamentos (10 cm, 20 cm e SP) apresentaram redução

da porosidade total na última avaliação (abr/2012). Provavelmente, nas alturas de pastejo de 30 e 40 cm, as maiores quantidades de massa de resíduos vegetais deixada sobre a superfície do solo e o desenvolvimento do sistema radicular das espécies nesta profundidade, resultaram em combinação mais favorável para o aumento da porosidade total ao final do experimento. Segundo Carvalho et al. (2011), em áreas de aveia + azevém, o aumento na altura de pastejo proporciona aumento da massa de forragem, e a massa de raízes é maior quanto menor a altura de pastejo (10, 20, 30 e 40 cm), havendo, ainda, maior redução desta massa de raízes em área SP. Já Chioderoli et al. (2012) não observaram diferença entre três épocas de amostragem (antes da pesquisa, após as colheitas do milho consorciado com braquiária e da soja) para porosidade total na profundidade de 10-20 cm.

Tabela 4- Médias de densidade e macroporosidade do solo, após a colheita da soja (mai/2011 e abr/2012) e após a *Brachiaria ruziziensis* (set/2011), sob diferentes alturas de pastejo e sem pastejo (SP)

Altura de pastejo (cm)	Densidade (Mg m ⁻³) ⁽¹⁾				Macroporosidade (m ³ m ⁻³) ⁽¹⁾			
	Mai/2011	Set/2011	Abr/2012	Média	Mai/2011	Set/2011	Abr/2012	Média
	0-10 cm ⁽²⁾							
10	1,68	1,69	1,64	1,67	0,07	0,07	0,12	0,09
20	1,67	1,66	1,64	1,65	0,08	0,07	0,10	0,08
30	1,69	1,66	1,63	1,66	0,07	0,08	0,12	0,09
40	1,68	1,69	1,62	1,66	0,08	0,08	0,12	0,09
SP	1,64	1,69	1,62	1,65	0,08	0,07	0,11	0,09
	CV1 (%)=2,01				CV1 (%)=15,99			
	CV2 (%)=2,42				CV2 (%)=15,34			
	10-20 cm							
10	1,67	1,66	1,66	1,67	0,08	0,08	0,09	0,08
20	1,68	1,66	1,64	1,66	0,08	0,08	0,08	0,08
30	1,67	1,67	1,64	1,66	0,09	0,08	0,09	0,09
40	1,68	1,69	1,65	1,67	0,09	0,08	0,09	0,09
SP	1,67	1,67	1,69	1,67	0,09	0,08	0,08	0,08
	CV1 (%)=2,09				CV1 (%)=14,41			
	CV2 (%)=1,99				CV2 (%)=15,32			
	20-30 cm							
10	1,70	1,70	1,71	1,70	0,08	0,09	0,07	0,08
20	1,68	1,66	1,70	1,68	0,09	0,10	0,06	0,08
30	1,71	1,67	1,66	1,68	0,07	0,10	0,07	0,08
40	1,71	1,65	1,67	1,68	0,08	0,10	0,06	0,08
SP	1,67	1,69	1,69	1,68	0,09	0,09	0,06	0,08
	CV1 (%)=2,09				CV1 (%)=21,15			
	CV2 (%)=2,40				CV2 (%)=19,28			

⁽¹⁾ Não significativo pelo teste F (P>0,05). ⁽²⁾ Profundidades avaliadas. CV1(%): coeficiente de variação referente à altura de pastejo. CV2(%): coeficiente de variação referente época e à interação altura x época.

Tabela 5- Médias de microporosidade e porosidade total do solo, após a colheita da soja (mai/2011 e abr/2012) e após a *Brachiaria ruziziensis* (set/2011), sob diferentes alturas de pastejo e sem pastejo (SP)

Altura de pastejo (cm)	Microporosidade ($m^3 m^{-3}$) ⁽¹⁾				Porosidade total ($m^3 m^{-3}$) ⁽¹⁾			
	Mai/2011	Set/2011	Abr/2012	Média	Mai/2011	Set/2011	Abr/2012	Média
	0-10 cm ⁽²⁾							
10	0,28	0,31	0,29	0,29	0,34	0,38	0,41	0,38
20	0,28	0,32	0,29	0,30	0,36	0,40	0,39	0,38
30	0,27	0,31	0,28	0,29	0,34	0,39	0,40	0,37
40	0,26	0,29	0,29	0,28	0,34	0,37	0,41	0,37
SP	0,27	0,30	0,30	0,29	0,35	0,37	0,41	0,38
	CV1 (%)=7,44				CV1 (%)=6,13			
	CV2 (%)=5,19				CV2 (%)=5,03			
	10-20 cm							
10	0,26	0,31	0,24	0,27	0,34b	0,38a	0,33b	0,35
20	0,27	0,31	0,25	0,28	0,35ab	0,38a	0,34b	0,36
30	0,24	0,29	0,26	0,26	0,33b	0,37a	0,36a	0,35
40	0,25	0,30	0,28	0,27	0,33b	0,39a	0,37a	0,36
SP	0,26	0,30	0,27	0,28	0,34b	0,38a	0,35b	0,36
	CV1 (%)=9,53				CV1 (%)=8,45			
	CV2 (%)=5,39				CV2 (%)=3,96			
	20-30 cm							
10	0,24	0,27	0,24	0,25	0,32	0,36	0,31	0,33
20	0,25	0,29	0,23	0,26	0,34	0,38	0,30	0,34
30	0,25	0,28	0,25	0,26	0,32	0,38	0,32	0,34
40	0,24	0,29	0,25	0,26	0,32	0,39	0,31	0,34
SP	0,25	0,29	0,25	0,26	0,34	0,38	0,31	0,34
	CV1 (%)=6,59				CV1 (%)=6,78			
	CV2 (%)=5,52				CV2 (%)=5,21			

⁽¹⁾ Não significativo pelo teste F ($P>0,05$). ⁽²⁾ Profundidades avaliadas. CV1(%): coeficiente de variação referente à altura de pastejo. CV2(%): coeficiente de variação referente época e à interação altura x época.

Resultados obtidos por Conte et al. (2011a) confirmam o efeito não significativo das alturas de pastejo, mostrando que não houve alterações significativas na densidade e na porosidade do solo após sete anos em integração lavoura pecuária com pastagem de inverno sob pastejo contínuo e cultivo de soja no verão.

Spera et al. (2010) também não encontraram diferença quanto à porosidade total entre os sistemas de produção integração lavoura pecuária em três anos de avaliação. Esses autores também concluíram que nos três anos avaliados não houve efeito desfavorável do pisoteio animal sobre a estrutura da superfície do solo.

Flores et al. (2007), trabalhando com alturas de pastejo em aveia forrageira + azevém (10, 20, 30 e 40 cm) e tratamento com aveia forrageira + azevém sem pastejo, não observaram, na camada variando de 0-10 cm, efeito das pressões de pastejo sobre a densidade do solo após o ciclo de pastejo. Já após o ciclo da soja, não houve efeito para macroporosidade e microporosidade, porém, esses autores verificaram maior densidade e menor porosidade total nas áreas pastejadas, em relação à área não pastejada, diferente do que ocorreu neste trabalho.

Já Lanza et al. (2007) encontraram aumento na densidade do solo na camada de 0-5 cm de profundidade, no sistema com maior frequência de pastejo (intervalo de 14 dias), não sendo significativo nas camadas subsequentes, em sistema de integração lavoura pecuária sob plantio direto. Em relação à microporosidade do solo, esses autores não observaram alterações pelo sistema de manejo em nenhuma das camadas de solo estudadas, por sua vez, a macroporosidade e a porosidade total sofreram influência do pisoteio bovino.

Provavelmente não houve efeito dos tratamentos sobre as propriedades físicas do solo devido à quantidade de palha deixada sobre a superfície durante o período de pastejo animal. Braida et al. (2006), avaliando a densidade em amostras superficiais (0-5 cm de profundidade) constataram que quanto maior a quantidade de palha presente sobre o solo durante a realização do ensaio Proctor, menores os valores obtidos de densidade do solo. Ainda esses autores citam que a energia de compactação fornecida pelo ensaio Proctor é maior que aquela proveniente do trânsito de animais e máquinas sobre o solo.

Esses efeitos também podem ser confirmados por Silva et al. (2000), em um Podzólico Vermelho-Amarelo com textura superficial franca, que verificaram pequena ação do pisoteio animal sobre as características físicas do solo, atribuindo este resultado à quantidade de resíduo vegetal na superfície do solo (1000,0 kg ha⁻¹). Flores et al. (2007) também justificam a similaridade dos atributos físicos do solo avaliado em diferentes alturas de pastejo devido à cobertura do solo durante o período de pastejo. Neste último trabalho as quantidades de resíduo vegetal na superfície do solo nas áreas pastejadas variaram de 1850,0 a 5400,0 kg ha⁻¹.

Analisando os valores em conjunto encontrados nas épocas de amostragem, após a *Brachiaria ruziziensis* e após a colheita da soja, observa-se alterações nas propriedades físicas do solo ($P < 0,05$) (Figura 4). Na primeira (mai/2011) e segunda

(set//2011) épocas de avaliação, a densidade do solo foi maior em relação à terceira (abr/2012) época apenas na camada 0-10 cm de profundidade, não ocorrendo, todavia, alterações nas outras profundidades. Os valores de densidade do solo avaliados em todas as épocas de amostragem estão dentro dos limites para solos arenosos (Tabelas 4 e Figura 4). Segundo Torres e Saraiva (1999), essa variação são, em média, de $1,25 \text{ Mg m}^{-3}$ a $1,70 \text{ Mg m}^{-3}$. Reinert et al. (2008) citam o valor de até $1,75 \text{ Mg m}^{-3}$ para crescimento normal das raízes das plantas de cobertura (leguminosas) em solo de textura média superficial. Assim, de uma maneira geral não ocorreram problemas de compactação do solo ao final do experimento.

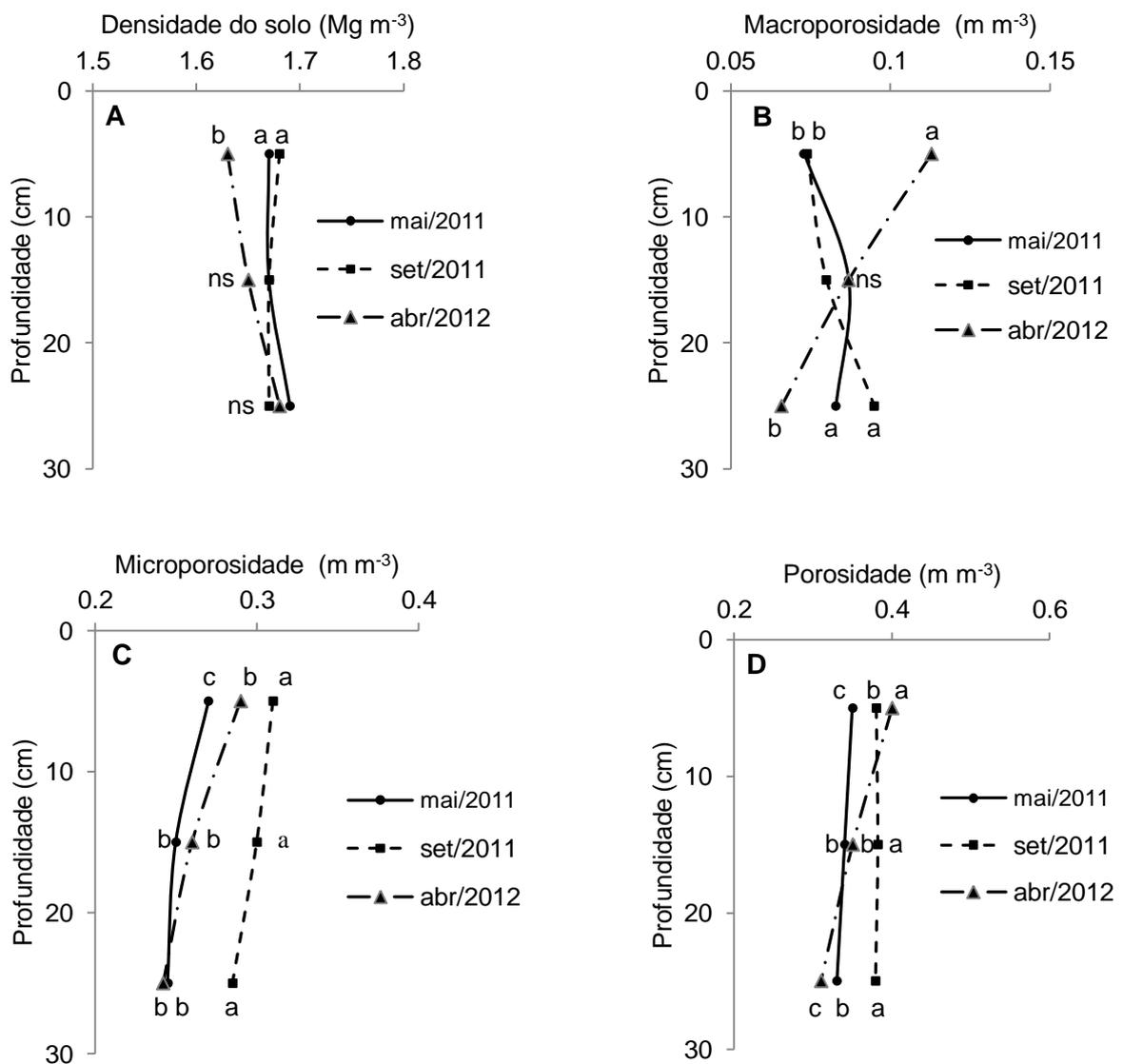


Figura 4- Médias de densidade (A), macroporosidade (B), microporosidade (C) e porosidade total do solo (D), nas profundidades 0-10, 10-20 e 20-30 cm, após a colheita da soja (mai/2011 e abr/2012) e após a *Brachiaria ruziziensis* (set/2011).^{ns}Não significativo pelo teste de Tukey ($P>0,05$). Letras diferentes em cada profundidade diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($P<0,05$).

A macroporosidade do solo foi maior ($P < 0,05$) após a cultura da soja (abr/2012) em comparação as duas primeiras épocas de avaliação (Figura 4) na camada 0-10 cm, não havendo, porém, diferença significativa ($P > 0,05$) entre as épocas na profundidade de 10-20 cm. Por outro lado, houve inversão dos resultados na camada 20-30 cm, ocorrendo menor macroporosidade após a produção da soja (abr/2012) ($P < 0,05$), e não se observa diferença significativa ($P > 0,05$) entre os outros dois períodos de avaliação.

Segundo Spera et al. (2009), o aumento da macroporosidade do solo em sistema de plantio direto é uma referência importante do ponto de vista de manejo para conservação do solo. Valores de aeração inferior a 0,10 a 0,15 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ são geralmente considerados restritos para o crescimento e produtividade da maioria das culturas, levando em consideração a dependência da espécie de planta e da atividade biológica do solo e do regime de umidade do solo (WATANABE et al., 2002). Os resultados obtidos de macroporosidade ficaram abaixo do citado por esses autores, com exceção da última avaliação na camada 0-10 cm (Tabela 5 e Figura 4), ocorrendo desta forma melhoria da macroporosidade do solo nesta camada.

A microporosidade do solo determinada no período após a braquiária foi superior às épocas de coleta após a soja em todas as camadas de solo ($P < 0,05$) (Figura 4). Já a microporosidade da época de coleta após a soja (abr/2012) foi superior ($P < 0,05$) a primeira coleta (mai/2011) na camada 0-10 cm, não havendo, todavia, diferença entre elas nas outras profundidades avaliadas ($P > 0,05$). Lanza et al. (2007) encontraram incremento na microporosidade do solo na camada 0-5 cm quando a cultura antecedente foi o milho em comparação a cultura da soja. Segundo esses autores, tais alterações observadas é resultado de ação do sistema radicular diferenciado entre as famílias de gramíneas e leguminosas. Mendonça et al. (2013), trabalhando com soja em sucessão a consórcio de milho com forrageiras, constataram menor volume de microporos do solo após a colheita da soja (março) em relação a época de amostragem realizada após a colheita do milho consorciado com *Brachiaria ruziziensis* (novembro), na camada de 10-20 cm. Já em trabalho de Spera et al. (2004), não foi observado diferenças para microporosidade do solo nos sistemas de culturas anuais e de pastagens perenes.

Deve-se destacar que a microporosidade tem importância na relação solo-água-planta devido ao fato dos microporos armazenarem e reterem água no solo

(SOUZA et al., 2010). Porém, deve-se ter cuidado especial para que o manejo do pastejo não altere a macroporosidade do solo para valores abaixo do crítico.

Na camada 0-10 cm, a porosidade total do solo foi maior ($P < 0,05$) após o cultivo da soja (abr/2012) em relação às outras duas épocas avaliadas (Figura 4) e, por sua vez, maior após a braquiária (set/2011) em comparação ao período após a soja (mai/2011). Já na profundidade 10-20 cm não houve diferença significativa ($P > 0,05$) entre as duas épocas após a colheita da soja, porém a porosidade total foi maior na época após a braquiária ($P < 0,05$). Por fim, na camada 20-30 cm houve menor porosidade total nas épocas após a soja em relação à época após a braquiária, sendo que, entre estes períodos após a soja verifica-se menor valor na terceira época (abr/2012).

A redução na densidade, e o aumento da macroporosidade e porosidade total na camada 0-10 cm do solo no final do experimento (abr/2012) são resultados coerentes, pois, geralmente, o aumento da compactação converge para redução da macroporosidade e porosidade total do solo (FERREIRA et al., 2010). Estes resultados podem ser, provavelmente, devido a alterações nos teores de matéria orgânica do solo. Colonego et al. (2012b) verificaram correlação positiva entre o teor de matéria orgânica e porosidade total, e correlação negativa entre a matéria orgânica e as densidades aparente e real do solo, correlações estas, favoráveis à melhoria das características físicas do solo. Em trabalho de Marun (1996), em solo de textura arenosa, derivado do arenito Caiuá, semelhante a este estudo, o cultivo de pastagens melhoraram as propriedades físicas do solo em comparação a área exclusiva com culturas anuais, em decorrência da elevação dos teores de matéria orgânica, redução da densidade e aumento da atividade biológica do solo.

O efeito das épocas de amostragem foi também verificado por Chioderoli et al. (2012), constatando maior macroporosidade e porosidade total do solo na profundidade de 0-10 cm após a colheita da soja em relação a duas épocas anteriores (implantação do projeto de pesquisa, e após a colheita do milho consorciado com braquiária). Por outro lado, nas camadas de 10-20 e 20-30 cm, os resultados foram divergentes do presente trabalho. Os autores creditaram essas diferenças à menor decomposição das raízes de braquiárias e do milho em função de menores temperaturas no período, visto que após a colheita da soja as raízes se apresentavam em estágio adiantado de decomposição.

Os resultados encontrados em camadas superficiais (0-5 cm de profundidade) por Lunardi (2005) discordam deste estudo, que, trabalhando com sistema de integração lavoura pecuária obteve maior macroporosidade do solo após o ciclo de pastejo de azevém em relação ao período após a cultura da soja. Esse autor cita que uma das prováveis explicações para este fato estaria relacionado à considerável massa de raízes da pastagem. Pickler et al. (2012) também verificaram maior macroporosidade do solo após o cultivo com gramínea, comparando o cultivo de milho e de soja.

Por fim, os resultados demonstram que as variações nos atributos físicos do solo nas diferentes profundidades estudadas, em função da época de amostragem, podem estar relacionadas aos teores de matéria orgânica do solo e as diferenças nas ações do sistema radicular das espécies de plantas empregadas na sucessão pastagem-lavoura.

4.3 Umidade Gravimétrica do Solo

Esperava-se que a umidade gravimétrica do solo fosse maior nos tratamentos com maior aporte de palha, porém, não foi observada diferença significativa para esta variável nas diferentes alturas de pastejo e na área sem pastejo (SP) da *Brachiaria ruziziensis* ($P>0,05$), avaliada durante o ciclo de desenvolvimento da cultura da soja em diferentes épocas. (Tabela 6). Isto foi verificado em todas as épocas de coleta das amostras de solo, mesmo o solo se apresentando com diferentes teores de umidade em função da distribuição e precipitação pluviométrica no período, em que os valores variaram de 2,40 a 11,88, 3,44 a 12,03 e 4,72 a 12,83 $m^3 m^{-3}$, respectivamente, para as profundidades de 0-10, 10-20 e 20-30 cm.

As características específicas deste solo, textura arenosa, baixos teores de argila e matéria orgânica, aliado as quantidades de palha deixadas pelas diferentes alturas de pastejo, podem ter sido suficiente para a não observação de diferença na umidade gravimétrica do solo, pois, se verificou, também, bom volume de palha proporcionado por estes tratamentos (Tabela 3).

Em solo franco arenoso, Braidá et al. (2007) verificaram correlação positiva entre porcentagem de carbono orgânico e umidade gravimétrica do solo. De acordo com Albuquerque et al. (2005), a cobertura do solo pelos resíduos das culturas,

teores de carbono orgânico e volume de microporos são variáveis que atuam na infiltração e, ou, retenção de água no solo. Ainda, estes autores citam que os macroporos do solo apresentam correlação negativa com umidade volumétrica do solo e água disponível no solo. Conforme Brady (1989), os solos arenosos apresentam reduzida porosidade total, porém, a movimentação da água é surpreendentemente rápida, devido à predominância dos macroporos, estabelecendo desta forma maior drenagem nesses tipos de solos.

Tabela 6- Médias de umidade gravimétrica do solo, em diferentes épocas, sob diferentes alturas de pastejo e área sem pastejo (SP) de *Brachiaria ruziziensis*, nos anos agrícolas 2010/2011 e 2011/2012

Altura de pastejo (cm)	Umidade gravimétrica ($m^3 m^{-3}$) ⁽¹⁾				
	6/1/2011	3/3/2011	12/1/2012	28/2/2012	Média
	0-10 cm ⁽³⁾				
10	8,83	12,48	2,55	10,94	8,70
20	7,80	11,72	2,39	11,13	8,26
30	9,03	12,33	2,42	11,68	8,87
40	8,73	11,65	2,39	11,03	8,45
SP	7,90	11,23	2,24	11,96	8,33
Média ⁽²⁾	8,46b	11,88a	2,40c	11,35a	
	CV1 (%)= 9,31 CV2 (%)= 9,07				
	10-20 cm				
10	9,90	12,77	3,39	11,70	9,44
20	8,57	11,92	3,43	11,87	8,95
30	9,20	11,98	3,41	12,31	9,23
40	9,23	11,93	3,72	11,90	9,20
SP	9,23	11,45	3,27	12,33	9,07
Média	9,22b	12,03a	3,44c	12,02a	
	CV1 (%)= 6,59 CV2 (%)= 7,52				
	20-30 cm				
10	10,27	13,13	4,83	12,85	10,27
20	9,63	12,70	4,64	12,74	9,93
30	10,30	12,80	4,67	13,62	10,35
40	9,83	12,62	5,13	12,15	9,93
SP	10,03	12,22	4,34	12,77	9,84
Média	10,01b	12,69a	4,72c	12,83a	
	CV1 (%)= 8,51 CV2 (%)= 8,16				

⁽¹⁾ Não significativo pelo teste F ($P>0,05$). ⁽²⁾ Médias com letras diferentes na linha diferem entre si pelo teste Tukey ($P<0,05$). ⁽³⁾ Profundidades avaliadas. CV1(%): coeficiente de variação referente à altura de pastejo. CV2(%): coeficiente de variação referente época e à interação altura x época.

Segundo Rosolem et al. (2003), a palha sobre a superfície do solo em associação ao dossel da cultura estabelece uma condição de microclima favorável à manutenção de água no solo. Por outro lado, o efeito dos resíduos vegetais sobre a umidade do solo diminui com o aumento da área foliar da cultura e ao mesmo tempo em que aumenta a extração de água do solo (PETRY et al., 2007).

Dantas et al. (2010) também não verificaram, nas profundidades 5-10 e 10-20 cm, diferenças na umidade do solo em área sem palha em comparação com áreas com incremento de palha de aveia. Já, na profundidade de 0-5 cm, estes autores obtiveram maior teor de umidade do solo com o aumento de doses de palha em relação à área sem palha, porém não obtiveram diferenças na umidade entre as doses de palha.

Assim, a ocorrência de efeitos de tratamentos sobre a umidade gravimétrica do solo depende, provavelmente, da magnitude das alterações desses fatores, que pode ser em longo prazo, como, por exemplo, o aumento nos teores de matéria orgânica do solo.

4.4 Teores e Estoques de Carbono Orgânico do Solo

As alturas de pastejo e a área sem pastejo (SP) da *Brachiaria ruziziensis* não proporcionaram alterações significativas ($p > 0,05$) nos teores de carbono orgânico total do solo (COP) e nos estoques de carbono orgânico total do solo (ECOT) nas diferentes profundidades do solo amostradas (Tabela 7). Provavelmente, a quantidade de resíduos deixada por esses tratamentos não foram o suficiente para refletir em diferenças no conteúdo de carbono do solo.

Estes resultados podem ser confirmados por Conte et al. (2011b) que não verificaram efeito de diferentes ofertas de forragem (4, 8, 12 e 16%) de pastagem natural, além de uma área sem pastejo incluída como testemunha, sobre o ECOT do solo. Souza et al. (2008) também não constataram diferenças nos ECOT do solo entre as diferentes intensidades de pastejo (10, 20, 30 e 40 cm) e área testemunha sem pastejo, mesmo após seis ciclos de pastejo no inverno. Por fim, Cassol (2003) não observou diferenças nos teores de COT do solo aos 5 meses e 11 meses em áreas sem pastejo e com pastejo animal no inverno sob diferentes alturas de pastejo (10, 20, 30 e 40 cm).

De uma maneira geral, nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-30 cm, os valores médios dos teores de COT do solo das duas épocas de amostragem variaram, nestas profundidades, de 6,65 a 7,56, 5,13 a 5,76 e 4,13 a 4,51 g kg⁻¹, respectivamente. Para ECOT a variação foi de 10,76 a 12,34, 8,52 a 9,53 e 6,82 a 7,51 Mg ha⁻¹, respectivamente, para estas mesmas profundidades avaliadas (Tabela 7). Rossi et al. (2012) verificaram teores de COT para Latossolo Vermelho distrófico variando de 19,5 a 24,9 g kg⁻¹ em camada superficial (0-5 cm) e 16,3 a 19,8 g kg⁻¹ na camada de 10-20 cm, sendo superiores aos valores encontrados neste trabalho.

Tabela 7- Médias de teores de carbono orgânico total (COT) e de estoques de carbono orgânico total (ECOT) do solo, após a *Brachiaria ruziziensis* (out/2010) e após a colheita da soja (mar/2012), sob diferentes alturas de pastejo e área sem pastejo (SP)

Altura de pastejo (cm)	COT (g kg ⁻¹) ⁽¹⁾			ECOT (Mg ha ⁻¹) ⁽¹⁾		
	Out/2010	Mar/2012	Média	Out/2010	Mar/2012	Média
0-10 cm ⁽²⁾						
10	6,38	6,93	6,66	10,13	11,38	10,76
20	6,96	7,69	7,33	11,32	12,57	11,95
30	7,29	7,83	7,56	11,95	12,73	12,34
40	6,93	7,64	7,29	11,18	12,33	11,76
SP	7,04	7,56	7,30	11,21	12,28	11,75
CV1 (%)=8,54 CV2 (%)=7,88			CV1 (%)=10,26 CV2 (%)=7,64			
10-20 cm						
10	5,09	5,16	5,13	8,47	8,55	8,51
20	5,27	5,16	5,22	8,65	8,45	8,55
30	5,78	5,74	5,76	9,63	9,43	9,53
40	5,17	5,67	5,42	8,62	9,37	9,00
SP	5,75	5,42	5,59	9,62	9,14	9,38
CV1 (%)=6,86 CV2 (%)=18,40			CV1 (%)=7,26 CV2 (%)=18,51			
20-30 cm						
10	3,97	4,30	4,14	6,68	7,32	7,00
20	4,21	4,29	4,25	7,03	7,28	7,16
30	4,60	4,41	4,51	7,70	7,33	7,51
40	4,00	4,29	4,14	6,49	7,15	6,82
SP	4,59	4,29	4,44	7,65	7,25	7,45
CV1 (%)=14,70 CV2 (%)=14,67			CV1 (%)=15,78 CV2 (%)=14,76			

⁽¹⁾ Não significativo pelo teste F (P>0,05). ⁽²⁾ Profundidades avaliadas. CV1(%): coeficiente de variação referente à altura de pastejo. CV2(%): coeficiente de variação referente época e à interação altura x época.

Frazão et al. (2010) obtiveram em solos arenosos, valores de ECOT do solo variando entre 15,8 e 28,1 Mg ha⁻¹ para a profundidade de 0-30 cm, sob diferentes

sistemas de manejo para cultura da soja e pastagem. Já Loss et al. (2009), trabalhando em solo de textura franco arenosa com diferentes sistemas de uso do solo, encontraram valores de ECOT do solo inferiores aos observados neste estudo, variando de 5,5 a 8,9 Mg ha⁻¹ na camada de 0-10 cm de profundidade.

A fração do carbono orgânico particulado do solo é considerado um componente lábil, podendo mostrar alterações geralmente em curto prazo (BAYER et al., 2002), contudo, os teores de carbono orgânico particulado (COP) e os estoques de carbono orgânico particulado (ECOP) do solo encontrados não apresentaram diferenças significativas ($p>0,05$) entre os tratamentos avaliados (Tabela 8).

Tabela 8- Médias de teores de carbono orgânico particulado (COP) e de estoques de carbono orgânico particulado (ECOP) do solo, após a *Brachiaria ruziziensis* (out/2010) e após a colheita da soja (mar/2012), sob diferentes alturas de pastejo e área sem pastejo (SP)

Altura de pastejo (cm)	COP (g kg ⁻¹) ⁽¹⁾			ECOP (Mg ha ⁻¹) ⁽¹⁾		
	Out/2010	Mar/2012	Média	Out/2010	Mar/2012	Média
	0-10 cm ⁽²⁾					
10	3,11	2,33	2,72	4,95	3,84	4,39
20	2,96	2,62	2,79	4,81	4,28	4,54
30	2,93	2,62	2,78	4,80	4,25	4,53
40	2,90	2,49	2,70	4,68	4,03	4,36
SP	2,42	2,35	2,39	3,84	3,81	3,83
	CV1 (%)=9,86 CV2 (%)=12,78			CV1 (%)=10,59 CV2 (%)=13,10		
	10-20 cm					
10	1,57	1,42	1,50	2,62	2,35	2,49
20	1,73	1,43	1,58	2,84	2,34	2,59
30	1,77	1,51	1,64	2,96	2,48	2,72
40	1,74	1,39	1,57	2,89	2,29	2,59
SP	1,58	1,45	1,52	2,64	2,45	2,55
	CV1 (%)=21,06 CV2 (%)=20,44			CV1 (%)=21,81 CV2 (%)=21,19		
	20-30 cm					
10	1,13	1,07	1,10	1,90	1,82	1,86
20	1,17	1,23	1,20	1,95	2,09	2,02
30	1,07	1,17	1,12	1,79	1,95	1,87
40	1,17	1,14	1,16	1,90	1,89	1,90
SP	1,14	1,20	1,17	1,89	2,02	1,96
	CV1 (%)=13,54 CV2 (%)=23,12			CV1 (%)=12,87 CV2 (%)=22,86		

⁽¹⁾ Não significativo pelo teste F ($P>0,05$). ⁽²⁾ Profundidades avaliadas. CV1(%): coeficiente de variação referente à altura de pastejo. CV2(%): coeficiente de variação referente época e à interação altura x época.

A não verificação de resposta para esta fração de carbono do solo pode ser devido à manutenção contínua de resíduos na superfície do solo pelos tratamentos empregados. Este fato é corroborado por Bayer et al. (2004) que, em diferentes profundidades de solo avaliadas, também não encontraram diferenças para matéria orgânica particulada do solo em área de cerrado manejada sob sistemas de plantio direto, que propiciam contínuo aporte de palha.

Assim como ocorreu com a fração particulada do solo, não se verificou mudanças significativas ($P>0,05$) nos teores de carbono associado aos minerais (CAM) e nos estoques de carbono associado aos minerais (ECAM) do solo (Tabela 9).

Tabela 9- Médias de teores de carbono orgânico associado aos minerais (CAM) e de estoques de carbono orgânico associado aos minerais (ECAM) do solo, após a *Brachiaria ruziziensis* (out/2010) e após a colheita da soja (mar/2012), sob diferentes alturas de pastejo e área sem pastejo (SP)

Altura de pastejo (cm)	CAM (g kg^{-1}) ⁽¹⁾			ECAM (Mg ha^{-1}) ⁽¹⁾		
	Out/2010	Mar/2012	Média	Out/2010	Mar/2012	Média
0-10 cm ⁽²⁾						
10	3,27	4,60	3,94	5,18	7,54	6,36
20	4,00	5,07	4,54	6,51	8,29	7,40
30	4,36	5,21	4,79	7,15	8,48	7,82
40	4,03	5,15	4,59	6,50	8,30	7,40
SP	4,62	5,21	4,92	7,37	8,47	7,92
CV1 (%)=14,06			CV1 (%)=15,53			
CV2 (%)=12,48			CV2 (%)=12,14			
10-20 cm						
10	3,52	3,74	3,63	5,85	6,20	6,03
20	3,54	3,73	3,64	5,81	6,11	5,96
30	4,01	4,23	4,12	6,67	6,95	6,81
40	3,43	4,28	3,86	5,73	7,08	6,41
SP	4,17	3,97	4,07	6,98	6,69	6,84
CV1 (%)=15,48			CV1 (%)=15,53			
CV2 (%)=21,47			CV2 (%)=21,28			
20-30 cm						
10	2,84	3,23	3,04	4,78	5,50	5,14
20	3,04	3,06	3,05	5,08	5,19	5,14
30	3,53	3,24	3,39	5,91	5,38	5,65
40	2,83	3,15	2,99	4,59	5,26	4,93
SP	3,45	3,09	3,27	5,76	5,23	5,50
CV1 (%)=21,31			CV1 (%)=22,47			
CV2 (%)=18,00			CV2 (%)=18,08			

⁽¹⁾ Não significativo pelo teste F ($P>0,05$). ⁽²⁾ Profundidades avaliadas. CV1(%): coeficiente de variação referente à altura de pastejo. CV2(%): coeficiente de variação referente época e à interação altura x época.

A fração de carbono associado aos minerais do solo possui uma dinâmica de mineralização mais lenta que as frações areia (ROSCOE e MACHADO, 2002), estando menos sujeitas a alterações provenientes do manejo das práticas agrícolas.

Bayer et al. (2004), trabalhando com sistemas de plantio direto por um período de seis anos também não observaram mudanças nesta fração associada aos minerais em Latossolo argiloso, citando ainda que a ocorrência de alterações desta fração demanda maior tempo de manejo para os sistemas envolvidos.

Conte et al. (2011b) também não verificaram alterações nas frações de ECOP e ECAM do solo, submetidos a tratamentos com diferentes oferta de forragem. Já Souza et al. (2008), em experimento sob sistema de integração lavoura pecuária, em plantio direto submetido a diferentes intensidades de pastejo no inverno, após seis ciclos de pastejo, encontraram menor ECOP do solo com a intensidade de pastejo a 10 cm de altura em comparação aos tratamentos 20 e 40 cm e área sem pastejo, na profundidade de 0 a 5 cm, porém, na camada 5 a 10 cm de profundidade não constataram diferença significativa. Em relação ao ECAM do solo, esses mesmos autores também não verificaram influência desses tratamentos.

Os conteúdos de carbono orgânico do solo encontrado nas frações particuladas e associado aos minerais (Tabelas 8 e 9) estão próximos dos citados por Roscoe e Machado (2002) para os solos tropicais com textura média.

Na Figura 5, observa-se as porcentagens de carbono orgânico das frações granulométricas em relação ao COT do solo. De uma maneira geral, há maior porcentagem de CAM do solo em comparação ao COP do solo. Os valores de COP e CAM encontrados nas camadas de 0-10 cm variaram de 34 a 49% e de 51 a 66% em outubro/2010 e de 33 a 34% e de 66 a 67% em março/2012, respectivamente. Essas porcentagens estão dentro da faixa observado por Loss (2008), os quais verificaram em solo com textura franco-arenosa, na profundidade de 0-10 cm, valores para as frações de COP e CAM, variando de 19,41 a 61,03% e de 38,97 a 80,59%, respectivamente.

Santos et al. (2009), trabalhando em solo com textura arenosa, verificaram 43,84 e 51,30% de COP na camada superficial (0,0-2,5 cm), 41,20 e 43,06% de COP na camada 2,5-7,5 cm, 43,49 e 45,14% de COP na camada 7,5-12,5 cm e 38,54 e 49,87% de COP na camada 12,5-22,5 cm, respectivamente, no campo nativo e entrelinhas do sistema agrosilvipastoril. De acordo com estes autores, essas variações são em função do tipo de solo, cobertura vegetal, temperatura e umidade.

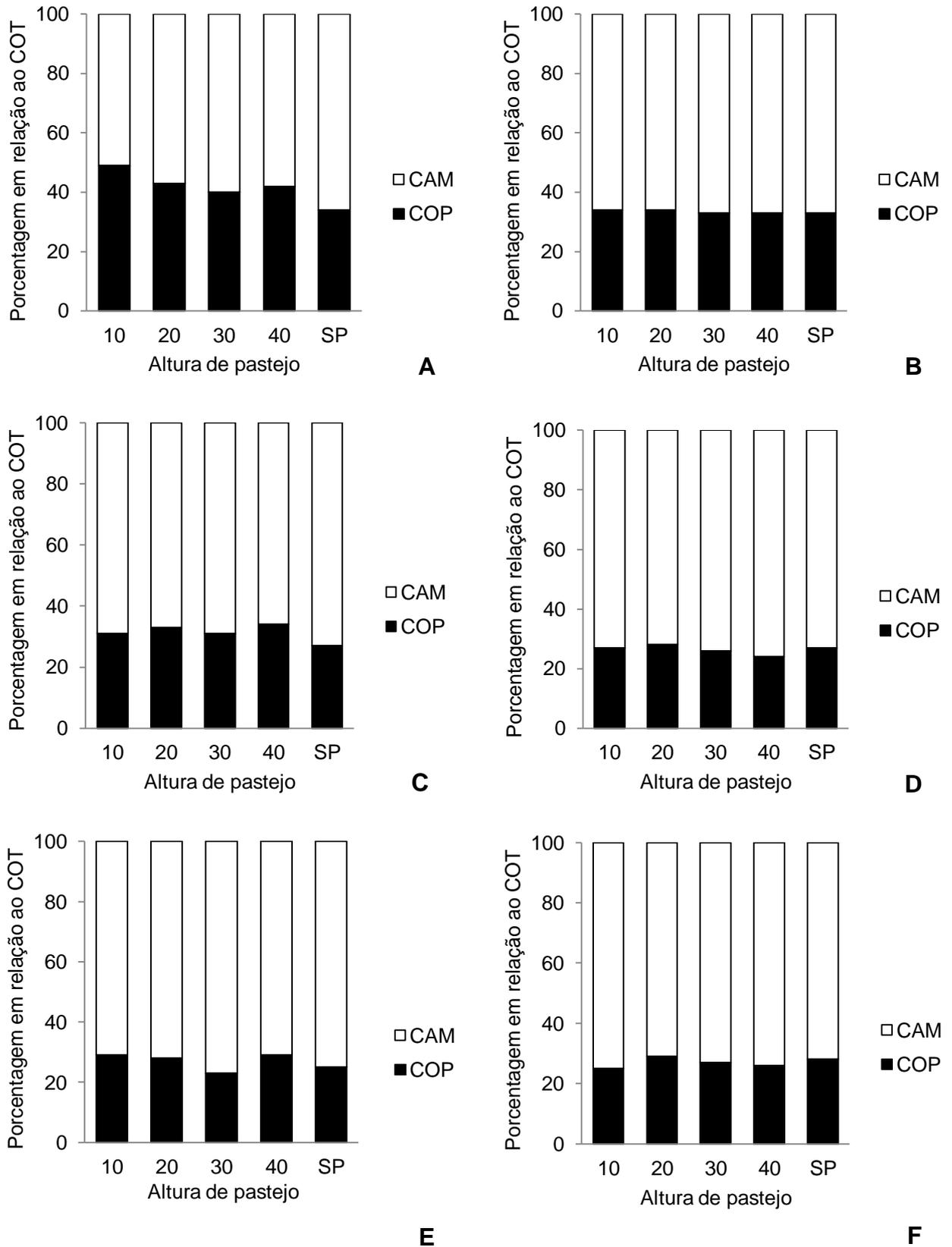


Figura 5- Porcentagens de carbono orgânico particulado (COP) e associado aos minerais (CAM) em relação ao carbono orgânico total (COT) do solo, nas alturas de pastejo (10, 20, 30 e 40 cm) e área sem pastejo (SP) de *Brachiaria ruziziensis*, para as profundidades de 0-10 (A e B), 10-20 (C e D) e 20-30 cm (E e F), nos meses de outubro/2010 (A, C e E) e março/2012 (B, D e F).

Segundo Roscoe e Machado (2002), as frações silte e argila contêm a maior parte do carbono orgânico dos solos, correspondendo a um material mais transformado e amorfo, sem estruturas reconhecíveis de materiais vegetais ou da meso e microfauna. Em solos tropicais, esses autores verificaram que as porcentagens de carbono do solo em relação ao carbono orgânico total do solo, encontradas nas frações silte e argila, podem variar, respectivamente, 11 a 47% e 40 a 70%.

Ainda, em relação aos teores de carbono das frações granulométricas nas camadas de solo, verifica-se uma tendência decrescente da porcentagem de COP em profundidade, sendo contrário ao que ocorre na fração CAM. Segundo Souza et al. (2008), o aporte de matéria orgânica ocorre lentamente em profundidade, estando mais dependente da decomposição das raízes e da biota do solo, observando assim menor COP no solo.

Na Figura 6, observa-se na profundidade 0-10 cm que houve aumento ($P < 0,05$) dos valores de COT, ECOT, CAM e ECAM e redução do COP e ECOP do solo entre o início e final deste experimento, porém, não foi significativo nas camadas 10-20 e 20-30 cm ($P > 0,05$). Estas diferenças podem ser devidas ao tipo de planta no cultivo (gramínea e leguminosa) e/ou aporte de resíduos orgânicos na área.

Loss et al. (2009), em solo com textura franco arenosa, também observaram diferenças significativas entre estações do ano (inverno e verão) para estas mesmas variáveis (COT, COP e CAM) em diferentes sistemas de uso do solo. Ainda, este autor concluiu que no sistema da área de figo com grama batatais (*Paspalum notatum*) nas entrelinhas, verificaram na profundidade 0-5 cm maiores teores de COT, COP e CAM do solo no verão em comparação ao inverno. Por outro lado, na camada 5-10 cm de profundidade, os teores de COT e CAM do solo foram maiores no verão em relação ao inverno e o teor de COP do solo foi menor no verão em comparação ao inverno, semelhante ao que ocorreu neste estudo.

Em trabalho de Fontana et al. (2011), foi verificado na camada de 0-5 cm, teores de COT do solo semelhantes nas áreas de floresta, banana e mandioca entre as épocas de verão (março) e inverno (julho) do ano anterior, enquanto que na área de capoeira o maior valor foi no inverno. Por outro lado, na camada de 5-10 cm, esses autores observaram maiores valores de COT do solo no verão (floresta e banana), corroborando com os resultados deste trabalho.

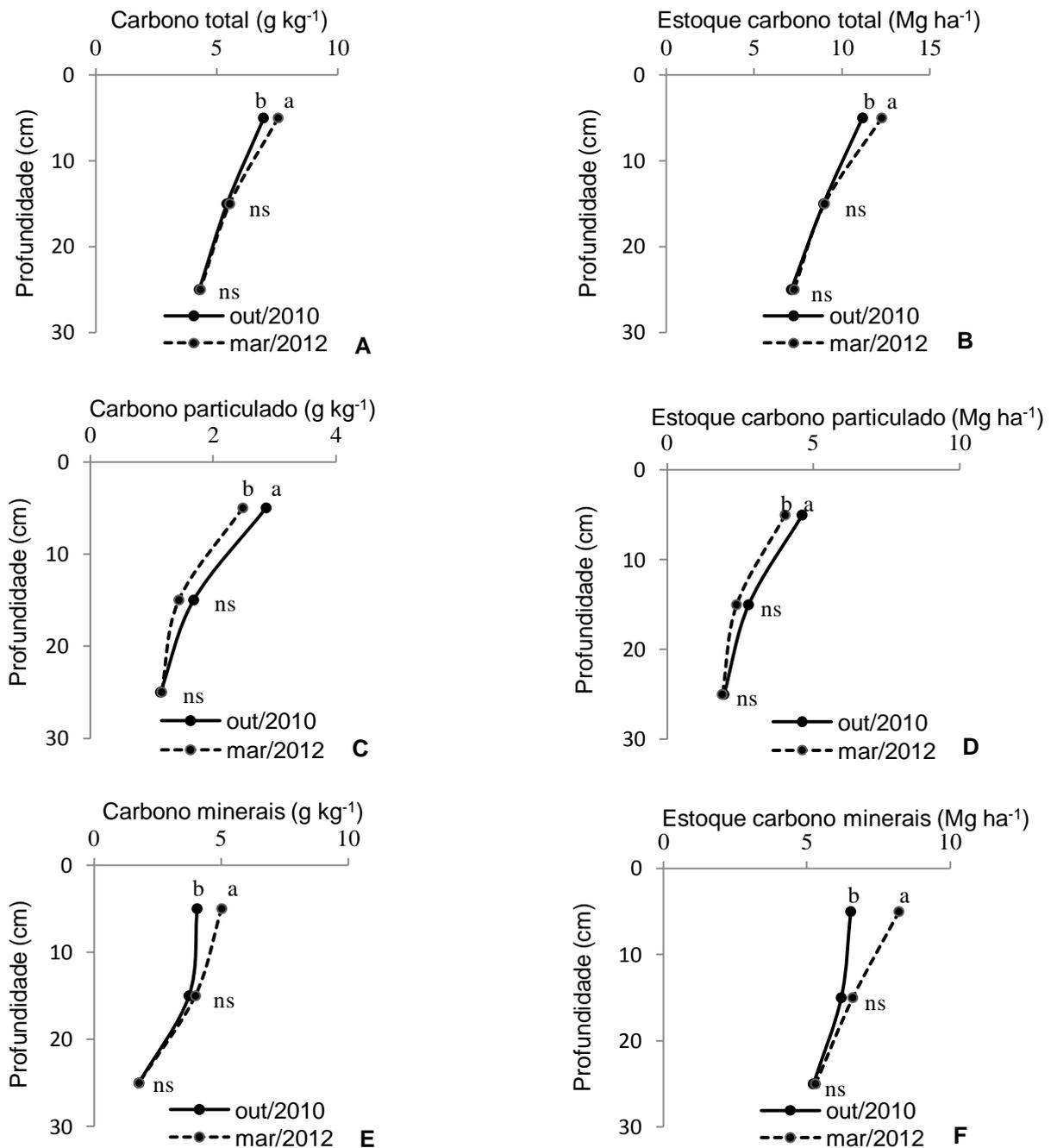


Figura 6- Média de teores e estoques de carbono orgânico total (A e B), carbono particulado (C e D) e carbono associado aos minerais (E e F) do solo, nas profundidades 0-10, 10-20 e 20-30 cm, após a *Brachiaria ruziziensis* - outubro/2010 (—●—) e após o a colheita da soja - março/2012 (---●---). Médias seguidas de letras diferentes na mesma profundidade diferem pelo teste F ($P < 0,05$). ^{ns}Não significativo pelo teste F ($P > 0,05$).

Conforme Amado et al. (2001), existe uma relação entre os estoques de carbono e nitrogênio do solo, e assim, as adições periódicas de nitrogênio favorece uma maior eficiência em sequestrar carbono no solo. A inclusão de leguminosas

como adubo verde fornece o nitrogênio orgânico utilizado preferencialmente pelos microrganismos sintetizadores das frações mais estáveis da matéria orgânica dos solos (RIBEIRO et al., 2011). Ainda, Souza et al. (2009) citam que o nitrogênio proveniente de plantas leguminosas é mais eficiente que nitrogênio via fertilizante para promover acúmulo de carbono no solo.

O aumento do CAM do solo ao final deste experimento pode ter sido favorecido pela decomposição do COP do solo e/ou pela estabilização do sistema. Em trabalho de Carmo et al. (2012), com período de condução de curta duração, em todos os sistemas de plantio direto estudados houve acréscimo nos teores de COT e CAM do solo e redução nos teores de COP do solo para tratamento com *Brachiaria humidicola*, capim *Panicum maximum* cv Aruana e milho consorciado com capim *Panicum maximum* cv Aruana, tendo como referência o solo de Cerrado. Neste trabalho os autores citam que mesmo com elevado aporte de matéria orgânica em sistema de plantio direto com gramíneas, o uso agrícola de solos do Cerrado com a manutenção de resíduos culturais promove maior estabilidade do sistema, o que resulta em transformação de COP em CAM do solo.

Pragana et al. (2012) verificaram em experimento de longa duração, que o aumento do tempo de uso do solo com plantio direto diminui o COP do solo e mantém o CAM do solo, nos sistemas de manejo testados, em comparação ao solo do Cerrado nativo.

Outra questão para acúmulo de CAM no sistema poderia estar relacionado à taxa de decomposição dos resíduos de *Brachiaria ruziziensis*. Segundo Mendonça e Leite (2006), quando a adição de resíduos orgânicos é dominada por material de baixa taxa de decomposição, como os de elevada relação C/N, ocorrerá o favorecimento do processo de humificação e, conseqüentemente, acúmulo de matéria orgânica e de nutrientes nos compartimentos protegidos.

A maior parte dos resíduos orgânicos ficam depositados na superfície do solo, com menor acúmulo de matéria orgânica em profundidade (FREIXO et al. 2002), o que pode ter possibilitado a não ocorrência de diferenças entre as épocas de amostragem nessas camadas abaixo de 10 cm. Carmo et al. (2012) citam que em camadas mais profundas a fração de CAM do solo apresenta-se altamente estabilizada, sofrendo pouca alteração pelo sistema de manejo.

Percebe-se também uma tendência de redução de carbono do solo em profundidade (Tabelas 7, 8 e 9 e Figura 6), estando de acordo com Salton et al.

(2005), que relatam haver, de modo generalizado, maior concentração de carbono na superfície do solo e decréscimo em profundidade. Rossi et al. (2012), trabalhando com resíduos de braquiária e sorgo também encontraram maiores valores de carbono particulado na camada superficial do solo, com redução em profundidade. Segundo Ferreira et al. (2012), em áreas de vegetação natural isso ocorre devido ao efeito combinado do continuado aporte superficial dos resíduos vegetais e animais e a ausência de mobilização do solo.

De acordo com Amado et al. (2001), a utilização de sistemas conservacionistas, como o plantio direto, é viável para a recuperação dos teores de matéria orgânica de solos degradados, mesmo em áreas com baixo teor de argila, no qual a proteção física da matéria orgânica é mínima.

Considerando-se ainda o aumento do carbono orgânico total do solo na camada 0-10 cm, o mesmo pode ter influenciado na redução da densidade do solo (Figura 4-A) nesta camada ao final deste experimento, pois, de acordo com observação de Colonego et al. (2012b), há correlação negativa entre a matéria orgânica do solo e as densidades aparente e real do solo, conforme citado anteriormente.

4.5 Teores e Estoques de Nitrogênio Mineral e Nitrogênio Total do Solo

Não foi observada diferença significativa ($P > 0,05$) para as alturas de pastejo e área sem pastejo da *Brachiaria ruziziensis* para os teores de nitrogênio mineral (NM) e estoques de nitrogênio mineral (ENM) do solo, e teores de nitrogênio total (NT) e estoques de nitrogênio total (ENT) do solo nas diferentes épocas e profundidades avaliadas (Tabelas 10 e 11), mesmo nos tratamentos que proporcionaram maiores quantidades de resíduos vegetais.

Os teores médios de nitrogênio mineral do solo das diferentes amostragem variaram de 21,70 a 23,08, 15,07 a 16,27 e 11,57 a 12,95 mg kg⁻¹, respectivamente, nas camadas 0-10, 10-20 e 20-30 cm, (Tabela 10). Rheinheimer et al. (1998), manejando um solo Podzólico Vermelho-Amarelo de textura arenosa/argilosa em sistema de plantio direto, observaram 21,0, 12,0 e 10,9 mg kg⁻¹ de nitrogênio mineral do solo, nas profundidades 0-5, 5-10 e 10-20 cm, respectivamente, valores estes menores aos encontrados neste trabalho. Já D'Andrea et al. (2004), em Latossolo

Vermelho distrófico com textura argilosa, encontraram nas camadas de 0-10 e 10-20 cm, em área de pastagem de *Brachiaria decumbens*, sistema de plantio direto com milho e feijão e sistema de plantio direto com milho, feijão, arroz e tomate para indústria, valores de nitrogênio mineral do solo superiores ao deste trabalho.

Tabela 10- Médias de teores nitrogênio mineral (NM) e de estoques de nitrogênio mineral (ENM) do solo, após a *Brachiaria ruziziensis* (outubro/2010 e setembro/2011) e após a colheita da soja (março), sob diferentes alturas de pastejo e área sem pastejo (SP)

Altura de pastejo (cm)	NM (mg kg ⁻¹) ^{(1);(3)}					ENM (kg ha ⁻¹) ^{(1);(3)}				
	Out/2010	Mar/2011	Set/2011	Mar/2012	Média	Out/2010	Mar/2011	Set/2011	Mar/2012	Média
0-10 cm ⁽²⁾										
10	18,61	28,57	10,46	29,65	21,82	29,63	54,06	17,61	48,59	35,92
20	13,70	38,00	10,98	29,32	23,00	22,21	63,42	18,12	47,89	37,91
30	15,02	33,16	9,92	28,70	21,70	24,60	56,27	16,38	46,56	35,95
40	15,80	38,23	9,37	26,33	22,43	25,53	64,57	15,76	42,41	37,07
SP	19,81	30,01	10,28	32,20	23,08	31,62	49,36	17,32	52,37	37,67
CV1 (%)=7,12					CV1 (%)=7,20					
CV2 (%)=13,61					CV2 (%)=14,09					
10-20 cm										
10	12,66	19,46	7,47	22,47	15,52	21,12	32,62	12,44	37,17	25,84
20	9,55	17,69	6,91	26,12	15,07	15,72	29,72	11,42	42,68	24,88
30	12,31	16,16	6,71	26,42	15,40	20,63	26,90	11,21	43,39	25,53
40	11,27	21,68	6,42	24,20	15,90	18,77	36,11	10,85	39,80	26,38
SP	13,34	20,24	6,36	25,12	16,27	22,37	33,58	10,61	42,44	27,25
CV1 (%)=11,87					CV1 (%)=11,39					
CV2 (%)=13,62					CV2 (%)=13,36					
20-30 cm										
10	9,93	12,94	5,23	18,20	11,57	16,75	22,00	8,90	30,94	19,65
20	7,40	15,08	4,88	21,61	12,23	11,22	25,16	8,10	36,69	20,58
30	9,51	15,23	5,83	21,23	12,95	15,83	26,30	9,75	35,22	21,78
40	9,09	18,26	4,33	17,38	12,26	14,83	31,17	7,16	28,97	20,54
SP	11,14	13,31	5,03	20,90	12,60	18,56	22,16	8,46	35,28	21,11
CV1 (%)=6,72					CV1 (%)=6,84					
CV2 (%)=14,94					CV2 (%)=14,81					

⁽¹⁾ Não significativo pelo teste F (P>0,05). ⁽²⁾ Profundidades avaliadas. ⁽³⁾ Dados transformados (Raiz de y). CV1(%): coeficiente de variação referente à altura de pastejo. CV2(%): coeficiente de variação referente época e à interação altura x época.

Para o NT e ENT do solo na camada 0-10 cm, os valores médios das duas épocas de amostragem foram, respectivamente, 0,48 a 0,53 g kg⁻¹ e 0,78 a 0,86 Mg ha⁻¹ (Tabela 11). Em solos arenosos, Frazão et al. (2010) encontraram estoques de NT do solo variando entre 0,5 e 0,7 Mg ha⁻¹ e 1,0 a 1,8 Mg ha⁻¹ para as profundidades de 0-10 e 0-30 cm, respectivamente, valores estes próximos aos deste trabalho. Para um Latossolo Vermelho-Amarelo argiloso, Perez et al. (2005)

verificaram após a colheita da soja valores de 1,04 e 0,80 g kg⁻¹ de nitrogênio total do solo, respectivamente, nas camadas 10-20 e 20-30 cm de profundidade, acima dos valores encontrados neste trabalho que variaram nestas mesmas profundidades e época, entre 0,37 a 0,42 g kg⁻¹ e 0,32 a 0,34 g kg⁻¹ de NT do solo, respectivamente.

Souza et al. (2009), trabalhando com pastejo de aveia preta e azevém seguido do cultivo de soja, também não verificaram influência das intensidades de pastejo (10 cm, 20 cm, 40 cm e SP) no ENT do solo no terceiro ano avaliado, mostrando-se significativo apenas no sexto ano, em função das adições dos resíduos resultantes das diferentes alturas de pastejo.

Tabela 11- Médias de teores de nitrogênio total (NT) e de estoques de nitrogênio total (ENT) do solo, após a *Brachiaria ruziziensis* (outubro) e após a colheita da soja (março), sob diferentes alturas de pastejo e área sem pastejo (SP)

Altura de pastejo (cm)	NT (g kg ⁻¹) ⁽¹⁾			ENT (Mg ha ⁻¹) ⁽¹⁾		
	Out/2010	Mar/2012	Média	Out/2010	Mar/2012	Média
0-10 cm ⁽²⁾						
10	0,48	0,58	0,53	0,77	0,95	0,86
20	0,49	0,53	0,51	0,79	0,87	0,83
30	0,44	0,52	0,48	0,72	0,84	0,78
40	0,46	0,53	0,50	0,74	0,87	0,80
SP	0,50	0,52	0,51	0,79	0,85	0,82
CV1(%)=13,56 CV2(%)=11,10			CV1(%)=15,40 CV2(%)=10,83			
10-20 cm						
10	0,35	0,40	0,38	0,59	0,66	0,62
20	0,37	0,37	0,37	0,61	0,61	0,61
30	0,41	0,38	0,39	0,68	0,62	0,65
40	0,36	0,39	0,38	0,60	0,65	0,62
SP	0,39	0,42	0,41	0,66	0,70	0,68
CV1(%)=13,98 CV2(%)=16,88			CV1(%)=14,15 CV2(%)=16,69			
20-30 cm						
10	0,32	0,34	0,33	0,55	0,58	0,57
20	0,36	0,34	0,35	0,60	0,57	0,59
30	0,36	0,34	0,35	0,60	0,58	0,59
40	0,30	0,32	0,31	0,49	0,54	0,51
SP	0,38	0,33	0,35	0,63	0,55	0,59
CV1(%)=15,66 CV2(%)=11,50			CV1(%)=16,29 CV2(%)=12,96			

⁽¹⁾ Não significativo pelo teste F (P>0,05). ⁽²⁾ Profundidades avaliadas. CV1(%): coeficiente de variação referente à altura de pastejo. CV2(%): coeficiente de variação referente época e à interação altura x época.

As comparações dos teores e estoques de nitrogênio mineral do solo em relação à época de amostragem encontram-se na Figura 7. Mesmo com elevado dinamismo deste nutriente no solo (D'Andrea et al., 2004), constatou-se, em todas as profundidades, maiores teores e estoques de nitrogênio mineral do solo após a colheita da soja (mar/2011 e mar/2012) ($P < 0,05$). Provavelmente, esses maiores valores nos teores NM e ENM do solo após a colheita da cultura da soja em relação à época de amostragem após a *Brachiaria ruziziensis* podem ser explicados em parte pelo fato da cultura da soja adicionar nitrogênio ao solo via fixação biológica.

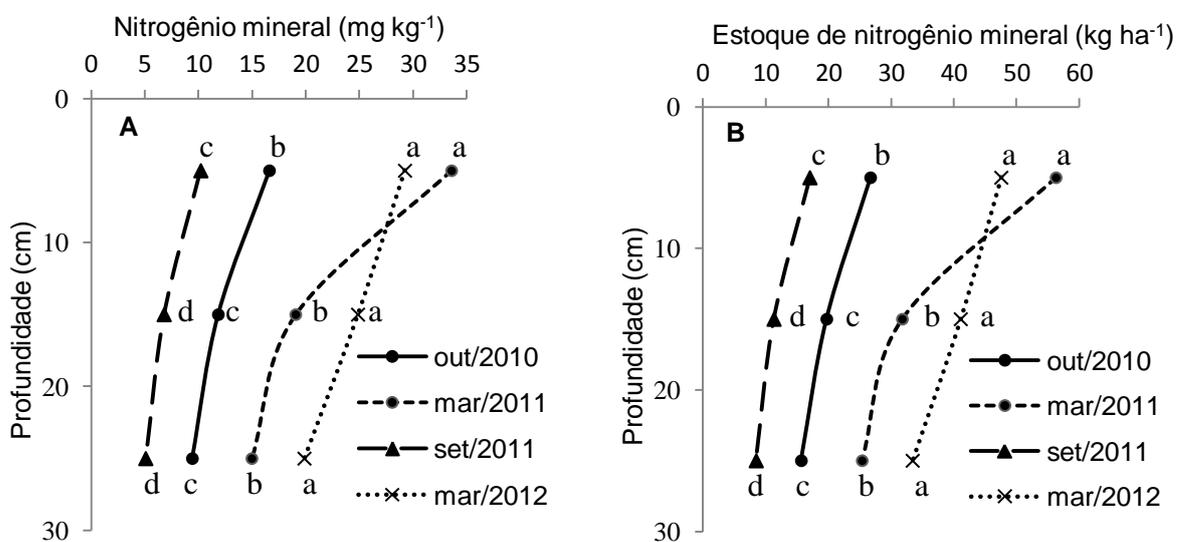


Figura 7- Médias de teores de nitrogênio mineral (A) e de estoques de nitrogênio mineral do solo (B), nas profundidades 0-10, 10-20 e 20-30 cm, após a *Brachiaria ruziziensis*, outubro/2010 (—▲—) e setembro/2011 (—●—) e após a colheita da soja, março/2011 (---●---) e março/2012 (---x---). Médias seguidas de letras diferentes na mesma profundidade diferem pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Gonçalves et al. (2000), trabalharam em solo Argissolo Vermelho-Amarelo de textura franco-arenosa no horizonte A e franco-argilosa no B, com milho cultivado em sucessão as culturas de inverno durante seis anos. Esses autores encontraram, nas sucessões com ervilhaca comum e tremoço azul, ambos no inverno, as maiores quantidades de nitrogênio mineral no solo nas camadas 0-2,5 e 0-17,5 cm em relação ao pousio, sendo que nesta maior profundidade, essas leguminosas foram 25 e 22% superiores à sucessão com pousio, respectivamente.

Resultados obtidos por Alves et al (2006) mostraram que a fixação biológica de nitrogênio pela cultura da soja, com inoculação de rizóbio e sob plantio direto, proporcionaram alta produtividade de grãos e balanço positivo de nitrogênio para o

sistema de rotação de culturas. Assim, o aporte de nitrogênio deixado pela cultura da soja pode ser favorável à introdução da pastagem de braquiária, favorecendo o equilíbrio do sistema de integração lavoura pecuária. Conforme Mascarenhas et al. (2011), a inclusão da cultura da soja em alguns sistemas de produção permite a substituição parcial ou total da adubação nitrogenada na cultura em sucessão.

De acordo com Silveira et al. (2005), as leguminosas têm a vantagem de disponibilizar prontamente nutrientes para as culturas sucessoras devido à rápida decomposição de seus resíduos. Este fato se deve aos resíduos culturais das leguminosas com baixa relação C/N, próximo a 20, pois estas imobilizam nitrogênio atmosférico nos seus tecidos provenientes da fixação biológica que favorecem a menor relação C/N (ALVARENGA et al., 2002).

Os resíduos vegetais de alta relação C/N apresentam decomposição lenta devido à deficiência de nitrogênio e à presença de constituintes recalcitrantes (MARQUES et al., 2000). A *Brachiaria ruziziensis* apresenta alta relação C/N (FERREIRA e LAMAS, 2010) e a soja baixa relação (SILVA et al., 2006), assim, os resíduos culturais proveniente da soja apresenta uma rápida decomposição no solo, favorecendo a sua mineralização. Desta forma isto também poderia ter contribuído para o maior teor de nitrogênio mineral do solo após a colheita da soja.

Na Figura 8, encontram-se os teores e estoques de nitrogênio total do solo, nos períodos após *Brachiaria ruziziensis* (outubro/2010) e após a colheita da soja (março/2012). Nesta análise conjunta das épocas de coleta houve maiores teores de NT e ENT do solo no final do experimento na camada 0-10 cm ($P < 0,05$), não ocorrendo mudanças nas outras camadas avaliadas ($P > 0,05$). Isso se deve provavelmente a inclusão de leguminosas no sistema, que favorece o incremento de nitrogênio ao solo.

De acordo com Silva et al. (2011), o cultivo de leguminosas e gramíneas em rotação adicionaram nitrogênio ao solo, por meio da fixação biológica de nitrogênio, o que proporciona importante contribuição deste nutriente ao sistema de rotação.

Ainda, de acordo com Conceição et al. (2005), o aporte de nitrogênio via fixação biológica pelas leguminosas, em conjunto com o plantio direto, foi a estratégia mais eficiente em recuperar o estoque de NT do solo do que através de adubação nitrogenada mineral sob preparo convencional.

Souza et al. (2009), estudando solos com altos teores de carbono e nitrogênio no início do experimento, verificaram aumento nos estoques de nitrogênio total do

solo no terceiro ano em relação ao início do estudo, justificando que as adições desse nutriente ao solo variou em função da intensidade de pastejo e do tempo.

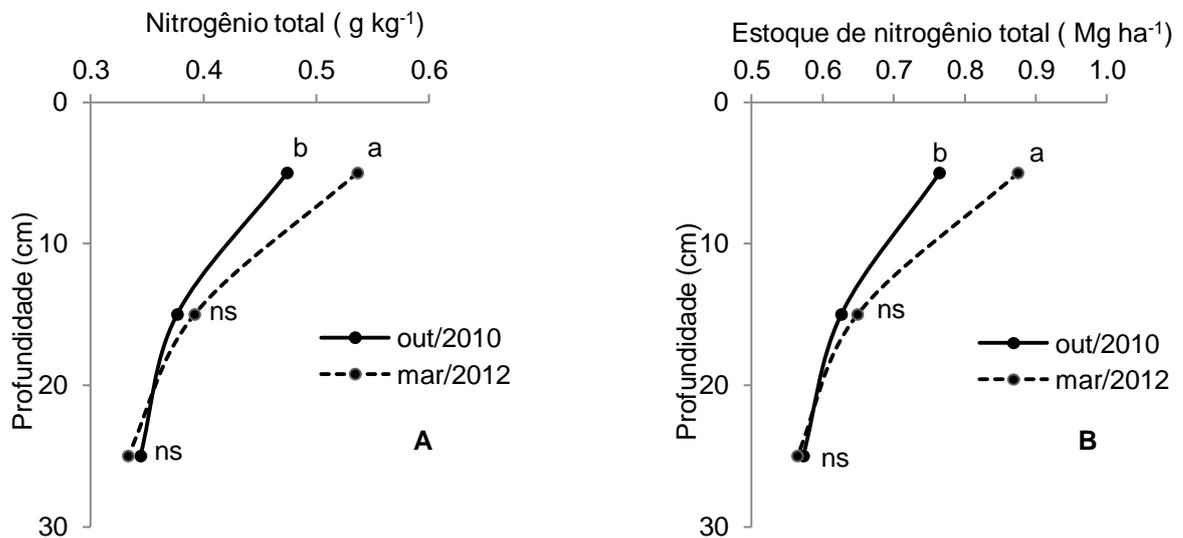


Figura 8- Médias de teores de nitrogênio total (A) e de estoques de nitrogênio total do solo (B), nas profundidades 0-10, 10-20 e 20-30 cm, após a *Brachiaria ruziziensis*, outubro/2010 (—●—) e após a colheita da soja, março/2012 (---●---). Médias seguidas de letras diferentes na mesma profundidade diferem pelo teste F ($P < 0,05$). ^{ns}Não significativo pelo teste F ($P > 0,05$).

Pode-se verificar neste trabalho, na profundidade 0-10 cm, que o aumento do NT do solo foi acompanhado também pelo incremento do COT do solo (Figuras 6-A e B e 8-A e B). Conforme Rangel e Silva (2007) existem correlação positiva entre COT e NT do solo. Assim, o aumento de carbono do solo está intimamente relacionado com o aumento de nitrogênio do solo (RIBEIRO et al., 2011).

Para estes tratamentos houve uma tendência geral de diminuição nos teores de nitrogênio no solo em profundidade (Tabelas 10 e 11 e Figuras 7 e 8). A redução de nitrogênio em profundidade no solo deve-se ao fato de a maior parte dos resíduos orgânicos ficarem depositados na superfície do solo, aumentando, assim, o teor de matéria orgânica do solo nesta camada (FREIXO et al., 2002).

4.6 Rendimento da Cultura da Soja

A Tabela 12 apresenta o número final de plantas por metro, altura das plantas e a produtividade da cultura da soja, nos anos agrícolas 2010/2011 e 2011/2012, em

função das alturas de pastejo e área sem pastejo (SP) de *Brachiaria ruziziensis*. O número final de plantas por metro da lavoura de soja, em dois ciclos de avaliação, teve variação de 16,6 a 17,5 e 13,3 a 14,2 plantas, equivalente ao estande de 369.000 a 389.000 e 296.000 a 316.000 plantas por ha⁻¹, respectivamente, nas safras de 2010/2011 e 2011/2012.

Mesmo havendo diferenças na quantidade de palha em cobertura verificada entre os tratamentos de menor altura (10 cm) e SP (Tabela 3), não houve efeito da altura de pastejo sobre o número de plantas por metro ($P>0,05$) em ambos os anos agrícolas (Tabela 12). Provavelmente isso deve a adequada deposição da semente no sulco de plantio e a condição satisfatória de umidade do solo no momento da semeadura.

Tabela 12- Médias de número final de plantas por metro, altura das plantas e produtividade da cultura da soja, sob diferentes alturas de pastejo e sem pastejo (SP) de *Brachiaria ruziziensis*, nos anos agrícolas 2010/2011 e 2011/2012

Altura de pastejo (cm)	Número final de plantas m ⁻¹ (¹)			Altura das plantas (cm)(¹)			Produtividade (kg ha ⁻¹)(¹)		
	2010/2011	2011/2012	Média	2010/2011	2011/2012	Média	2010/2011	2011/2012	Média
10	16,6	13,9	15,3	122,4	56,8	89,6	3052,0	1550,4	2301,2
20	17,0	14,2	15,6	126,6	56,5	91,5	2963,9	1740,3	2352,1
30	17,5	14,1	15,8	125,6	57,5	91,6	3193,0	1812,4	2502,7
40	17,0	13,3	15,2	121,4	56,2	88,8	2959,3	1687,7	2323,5
SP	17,4	13,3	15,3	124,3	58,5	91,4	3240,0	1657,1	2448,5
Média	17,1a	13,8b		124,1a	57,1b		3081,6a	1689,6b	
	CV1 (%)=3,45			CV1 (%)=2,62			CV1 (%)=10,79		
	CV2 (%)=3,50			CV2 (%)=2,91			CV2 (%)=11,55		

(¹) Não significativo pelo teste F ($P>0,05$) para altura de pastejo. Letras minúsculas comparam na linha as médias entre os anos agrícolas para cada variável. Letras diferentes na linha diferem entre si pelo teste Tukey ($P<0,05$). CV1(%): coeficiente de variação referente à altura de pastejo. CV2(%): coeficiente de variação referente época e à interação altura x época.

Lima et al. (2009) também não verificaram alteração no estande final de plantas de soja devido a cobertura vegetal. O mesmo ocorreu em trabalho de Nepomuceno et al. (2012), que ao analisar dois experimentos, com 6000,0 e 10000,0 kg ha⁻¹ de massa seca de *Brachiaria ruziziensis* em cobertura do solo, também constataram que, a cobertura morta sobre a superfície do solo formada, não produziu efeito significativo sobre o estande da soja RR avaliado aos 20 dias após a semeadura. Porém, contrariando os resultados, Lopes et al. (2009) observaram, em solo de textura argilosa, que as alturas de pastejo influenciaram de forma linear o

estande de plantas da cultura da soja após a emergência, obtendo menor estande de plantas na menor altura de pastejo.

Já em relação ao menor número final de plantas por metro no segundo ano agrícola em comparação ao primeiro ano ($P < 0,05$) se deve a menor quantidade de sementes utilizadas no momento do plantio, sendo 22 e 18 sementes por metro linear, respectivamente, nas safras 2010/2011 e 2011/2012.

Não houve diferença significativa ($P > 0,05$) na altura das plantas de soja entre os tratamentos 10, 20, 30, 40 cm de altura de pastejo e área SP de *Brachiaria ruziziensis*, nos dois períodos de avaliação e na avaliação em conjunto (Tabela 12). Em estudo de Nunes et al. (2010), no momento da semeadura, a quantidade de palha de *Brachiaria brizantha* e *Brachiaria decumbens*, foram, respectivamente, de 8700,0 e 11200,0 kg ha⁻¹, valores que também não alteraram significativamente a altura das plantas de soja, o que corrobora com o presente estudo.

O ano agrícola para altura das plantas de soja foi significativo ($P < 0,05$), ou seja, teve-se maior altura da soja no ano de 2010, visto que em 2011 houve restrição hídrica durante o ciclo da soja (Tabela 12). Segundo Farias et al. (2007), o desenvolvimento da cultura da soja é afetado pelo estresse causado por deficiência de água, determinando plantas de pequena estatura, com folhas pequenas e entrenós curtos.

O rendimento de grãos de soja não foi significativo ($P > 0,05$) para as diferentes alturas de pastejo e a área SP de *Brachiaria ruziziensis*, que variaram de 2959,3 a 3240,0 kg ha⁻¹, respectivamente, para os tratamentos de 40 cm e área SP, na safra 2010/2011. Já na safra 2011/2012 a variação de produtividade da soja foi de 1550,4 a 1812,4 kg ha⁻¹, respectivamente, para os tratamentos de 10 e 30 cm (Tabela 12). Estas baixas produtividades se devem ao déficit hídrico ocorrido nesta safra durante o período de florescimento e enchimento de grãos, justificando a diferença significativa entre os anos agrícolas para a produtividade da soja ($P < 0,05$) (Tabela 12).

Flores et al. (2007) também não encontraram diferença significativa no rendimento de grãos de soja quando manejada nas mesmas alturas de pastejo deste trabalho (10, 20, 30 e 40 cm) e, também, em área SP. Já Nicoloso et al. (2006) observaram redução na produtividade de grãos de soja em áreas com maior frequência de pastejo em comparação a área não pastejada, e esta não diferindo do tratamento com menor frequência de pastejo.

Em situação de deficiência hídrica, Lopes et al. (2009) obtiveram resultados inferiores, com rendimentos da cultura da soja de 1.290, 1.300, 1.195, 1.305 e 1.025 kg ha⁻¹, respectivamente, para os tratamentos 10, 20, 30 e 40 cm e SP, porém não observaram diferença estatística entre os mesmos, corroborando com este trabalho. Diferenças estatísticas entre baixa e moderada intensidade de pastejo, com maior rendimento de grãos de soja para menor taxa de lotação, foi verificado por Lunardi et al. (2008), em situação de déficit hídrico, contrariando os resultados deste estudo.

A verificação dos resultados de rendimento da soja nos dois anos de avaliação, com problemas de déficit hídrico na segunda safra, indica que mesmo trabalhando com boa quantidade de palha sobre a superfície do solo houve uma redução média de cerca de 45% na produtividade da soja.

5. CONCLUSÕES

A produção de matéria seca total de forragem de *Brachiaria ruziziensis* é maior em área sem pastejo em comparação as áreas pastejadas, com destaque também para elevada produção de palha das áreas pastejadas.

Os sistemas de integração lavoura pecuária em áreas pastejadas com *Brachiaria ruziziensis* no inverno, nas alturas residuais de 10, 20, 30 e 40 cm de pastejo, em sucessão com a cultura da soja no verão, não alteram as propriedades físicas do solo nas profundidades 0-10, 10-20 e 20-30 cm, quando há alta disponibilidade de palha na superfície do solo.

Entre o início (setembro/2010) e final (abril/2012) de condução do experimento, houve redução na densidade, aumento da macroporosidade e porosidade total do solo, na profundidade 0-10 cm.

A microporosidade do solo é maior após a *Brachiaria ruziziensis* em relação à época após a colheita da soja, nas profundidades 0-10, 10-20, 20-30 cm.

Os teores e estoques de carbono orgânico total do solo e suas frações de carbono particulado e associado aos minerais do solo e, também, os teores e estoques de nitrogênio mineral e total do solo, nas profundidades 0-10, 10-20, 20-30 cm, não são afetados pelas alturas residuais de *Brachiaria ruziziensis* com pastejo no inverno e soja em sucessão.

Na profundidade 0-10 cm houve aumento dos teores e estoque de carbono orgânico, e carbono orgânico associado aos minerais e redução de teores e estoques de carbono particulado do solo entre o primeiro e o segundo ano de condução.

Os teores e estoques de nitrogênio mineral do solo são maiores após a colheita da soja em relação à época após a *Brachiaria ruziziensis*.

A quantidade de palha deixada na superfície do solo neste experimento, proporcionado pelas diferentes alturas de pastejo e área não pastejada de *Brachiaria ruziziensis*, não alteram a umidade gravimétrica do solo, nas diferentes épocas avaliadas, nos dois anos consecutivos de integração lavoura pecuária.

O número final de plantas por metro, a altura das plantas e a produtividade de grãos de soja não foram influenciados pelas alturas de pastejo de *Brachiaria ruziziensis*.

As alturas de pastejo 20, 30 e 40 cm de *Brachiaria ruziziensis* no inverno mostraram-se mais indicadas para o sistema de integração lavoura pecuária com soja em sucessão.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, J. A. et al. Avaliação de sistemas de preparo e calagem em um Latossolo Bruno alumínico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 6, p. 963-975, nov./dez. 2005.

ALVARENGA, R. C. et al. **Cultivo do milho: plantas de cobertura de solo**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2002. 7 p. (Comunicado Técnico, 41)

ALVARENGA, R. C. et al. **Sistema de Integração Lavoura-Pecuária: O modelo implantado na Embrapa Milho e Sorgo**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2007. 9 p. (Circular técnica, 93)

ALVES, B. J. R. et al. Fixação biológica de nitrogênio e fertilizantes nitrogenados no balanço de nitrogênio em soja, milho e algodão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 3, p. 449-456, mar. 2006.

ALVES, S. J.; SOARES FILHO, C. V. Braquiária. In: MONTEIRO, A. L. G. et al. (Eds.) **Forragicultura no Paraná**. Londrina: CPAF, 1996. p. 181-195.

AMADO, T. J. C. et al. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 189-197, 2001.

ARAUJO, F. S. et al. Physical quality of a yellow latossol under integrated crop-livestock system. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, n. 3, p. 717-723, jun. 2010.

ARSHAD, M. A.; FRANZLUEBBERS, A. J.; AZOOZ, R. H. Components of surface soil structure under conventional and no-tillage in northwestern Canada. **Soil & Tillage Research**. v. 53, p. 41-47, 1999.

BARTHAM, G.T. Experimental techniques: the HFRO sward stick. In: **The Hill Farming Research Organization Biennial Report 1984/1985**. HFRO, 1985. p. 29-30.

BAYER, C. et al. A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.7, p. 677-683, jul. 2004.

BAYER, C. et al. Stocks and humification degree of organic matter fractions as affected by no-tillage on a subtropical soil. **Plant and Soil**, Netherlands, v.238, p. 133-140, 2002.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F. Efeito do conteúdo de água e da compactação do solo na produção de soja. . **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 7, p. 849-856, jul. 2003.

BEUTLER, A. N. et al. Efeito da compactação do solo na estabilidade de agregados e no conteúdo gravimétrico de água. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 27, p. 193-198, abr./jun. 2005.

BORKERT, C. M. et al. Estabelecimento das relações entre Ca, Mg e K para soja, em solo de Cerrados. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 28., 2006, Uberaba. **Resumos...** Londrina: Embrapa Soja: Fundação Meridional: Fundação Triângulo, 2006. p. 428-429. (Documentos, 272)

BRADY, N. C. **Natureza e propriedades dos solos**. 7.ed. Rio de Janeiro: F. Bastos, 1989, 898 p.

BRAIDA, J. A. et al. Coesão e atrito interno associados aos teores de carbono orgânico e de água de um solo franco arenoso. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.37, n.6, p. 1646-1653, nov./dez. 2007.

BRAIDA, J. A. et al. Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio proctor. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 4, p. 605-614, jul./ago. 2006.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília, DF: Mapa/ACS, 2009. 399 p.

CAMBARDELLA, C.A.; ELLIOT, E.T. Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.56, p. 777-783, 1992.

CARMO, F. F. do et al. Frações granulométricas da matéria orgânica em latossolo sob plantio direto com gramíneas. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 3, p. 420-431, mai./jun. 2012.

CASSOL, L. C. **Relações solo-planta-animal num sistema de Integração Lavoura-Pecuária em semeadura direta com calcário na superfície**. Porto Alegre, 2003. 150 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

CAVALCANTE, S. E. A. S. et al. Qualidade do solo relacionado com as pastagens e seus fatores de degradação. **Nutrime**, v. 10, n. 1, p. 2195–2208, jan./fev. 2013.

CARVALHO, P. C. de F. et al. **Integração soja-bovinos de corte no Sul do Brasil**. UFRGS: Porto Alegre, 2011. 60 p. (Boletim técnico)

CERETTA, C. A. et al. Produção e decomposição de fitomassa de plantas invernais de cobertura de solo e milho, sob diferentes manejos da adubação nitrogenada. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.32, n.1, p. 49-54, 2002.

CHIODEROLI, C. A. et al. Atributos físicos do solo e produtividade de soja em sistema de consórcio milho e braquiária. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 1, p. 37-43, jan. 2012.

COLONEGO, J. C. et al. Estoques de carbono e propriedades físicas de solos submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 25, n. 2, p. 128-135, mar./jun. 2012b.

COLONEGO, J. C. et al. Persistência e liberação de nutrientes da palha de milho, braquiária e labe-labe. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 5, p. 770-781, set./out. 2012a.

CONCEIÇÃO, P. C. et al. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 5, p. 777-788, out. 2005.

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

CONTE, O. et al. Evolução de atributos físicos de solo em sistema de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 10, p. 1301-1309, out. 2011a.

CORRÊA, L. de A.; HAAG, H. P. Níveis críticos de fósforo para o estabelecimento de gramíneas forrageiras em Latossolo Vermelho-Amarelo, álico: I: ensaio em casa de vegetação. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 50, n.1, p. 99-108, fev./mai.1993.

CUNHA, E. Q. et al. Influência de rotações de culturas nas propriedades físico-hídricas de um Latossolo Vermelho em plantio direto. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 3, p. 665-674, 2007.

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

DANTAS, V. B. et al. Comportamento físico de um latossolo vermelho distroférico sob diferentes doses de palha de aveia. **Revista Verde**, Mossoró, v.5, n.5, p. 6-11, 2010.

DAROLT, M. R. Princípios para a manutenção e implantação do sistema. In: DAROLT, M. R. **Plantio direto: pequena propriedade sustentável**. Londrina: IAPAR, 1998, p. 16-45. (Circular, 101)

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**, Santa Maria, v. 42, n. 7, p. 1187-1192, jul. 2012.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Tecnologias de produção de soja – região central do Brasil – 2009 e 2010**.

Londrina: Embrapa Soja: Embrapa Cerrados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2008. 262 p. (Sistemas de Produção, n.13)

EVANGELISTA, A. R.; ROCHA, G. P. **Forragicultura**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1997. 246 p.

FARIAS, J. R. B.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N. **Ecofisiologia da Soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2007. 9 p. (Circular Técnica, 48)

FERREIRA, A. de O. et al. Relação de estratificação como indicador do sequestro de carbono em macroagregados de Latossolo sob plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.42, n.4, p. 645-652, abr. 2012.

FERREIRA, A. C. de B.; LAMAS, F. M. Espécies vegetais para cobertura do solo: influência sobre plantas daninhas e a produtividade do algodoeiro em sistema plantio direto. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 57, n. 6, p. 778-786, nov./dez. 2010.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011.

FIDALSKI, J.; TORMENA, C. A.; ALVES, S. J. Intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Vermelho distrófico, após o primeiro período de pastejo contínuo de *Brachiaria ruziziensis*, em sistema integração lavoura-pecuária. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.37, n.3, p. 775-783, mai./jun. 2013.

FLORES, J. P. C. et al. 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**, Viçosa, v. 31, p. 771-780, 2007.

FONTANA, A. et al . Avaliação dos compartimentos da matéria orgânica em área de Mata Atlântica. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 33, n. 3, p. 545-550, set. 2011.

FRANCHINI, J. C. et al. **Integração lavoura-pecuária**: alternativa para diversificação e redução do impacto ambiental do sistema produtivo no Vale do Rio Xingu. Londrina: Embrapa Soja, 2010. 20 p. (Circular técnica, 77)

FRANCHINI, J. C. et al. **Manejo do solo para redução das perdas de produtividade pela seca**. Londrina: Embrapa Soja, 2009. 39 p. (Documentos, 314)

FRAZÃO, L. A. et al. Estoques de carbono e nitrogênio e fração leve da matéria orgânica em Neossolo Quartzarênico sob uso agrícola. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.45, n.10, p. 1198-1204, out. 2010.

FREIXO, A. A. et al. 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**, Viçosa, v. 26, p. 425-434, 2002.

GIAROLA, N. F. B. et al. Cultivares de soja sob plantio direto em Latossolo Vermelho compactado. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 31, n. 4, p. 641-646, dez. 2009.

GIMENES, M. J. et al. Interferência de *Brachiaria Ruziziensis* sobre plantas daninhas em sistema de consórcio com milho. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, n. 3, p. 931-938, jul./set. 2011.

GONÇALVES, C. N. et al. Sucessões de culturas com plantas de cobertura e milho em plantio direto e sua influência sobre o nitrogênio no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, p. 153-159, 2000.

IAPAR. **Cartas climáticas básicas do Estado do Paraná**. Londrina: Instituto Agrônomo do Paraná, 1987. 35 p.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. Faixa de umidade menos limitante ao crescimento vegetal e sua relação com a densidade do solo ao longo do perfil de um latossolo roxo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.30, n.6, p. 959-964, 2000.

LANZANOVA, M. E. et al. Atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 5, p. 1131-1140, set./out. 2007.

LOPES, M. L. T. et al. Sistema de integração lavoura-pecuária: efeito do manejo da altura em pastagem de aveia preta e azevém anual sobre o rendimento da cultura da soja. **Ciência Rural**, v.39, n.5, p. 1499-1506, ago. 2009.

LOSS, A. et al. Carbono e frações granulométricas da matéria orgânica do solo sob sistemas de produção orgânica. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 4, p. 1077-1082, jul. 2009.

LOSS, A. **Frações Orgânicas e Agregação do Solo em Diferentes Sistemas de Produção Orgânico**. Seropédica, 2008. 52 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

LOVATO, T. et al. 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**, Viçosa, v. 28, n. 1, p. 175-187, 2004.

LUNARDI, R. **Atributos físicos do solo e rendimento de soja em sistema de lavoura pecuária em função do espaçamento entre fileiras, intensidades e métodos de pastejo**. Porto Alegre. 2005. 136 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

LUNARDI, R. et al. Rendimento de soja em sistema de integração lavoura-pecuária: efeito de métodos e intensidades de pastejo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.3, p. 795-801, mai./jun. 2008.

MACHADO, L. A. Z.; ASSIS, P. G. G. de. Produção de palha e forragem por espécies anuais e perenes em sucessão à soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 4, p. 415-422, abr. 2010.

MACHADO, L. A. Z.; VALLE, C. B. do Desempenho agrônômico de genótipos de capim-braquiária em sucessão à soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 11, p. 1454-1462, nov. 2011.

MARQUES, T. C. L. L. S. M.; VASCOCELOS, C. A.; PEREIRA FILHO, I. et al. Envolvimento de dióxido de carbono e mineralização de nitrogênio em Latossolo Vermelho-Escuro com diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.3, p. 581-589, mar. 2000.

MARUN, F. Propriedades físicas e biológicas de um Latossolo Vermelho-Escuro do arenito caiúá sob pastagem e culturas anuais. . **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 31, n. 8, p. 593-597, ago. 1996.

MASCARENHAS, H. A. A. et al. Nitrogênio residual da soja na produtividade de gramíneas e do algodão. **Nucleus**, Ituverava, v.8, n.2, p. 15-34, out. 2011.

MENDONÇA, E. de S.; LEITE, L. F. C. Modelagem matemática e simulação da dinâmica da matéria orgânica do solo. In: ROSCOE, R.; MERCANTE, F. M.; SALTON, J. C. (Eds.) **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistema conservacionistas – modelagem matemática e métodos auxiliares**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006a. p. 75-106.

MENDONÇA, V. Z. de et al . Avaliação dos atributos físicos do solo em consórcio de forrageiras e milho em sucessão com soja em região de cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 1, p. 251-259, jan./fev. 2013.

MITCHELL; F. J.; BERRY, W. A. J. The effects and management of compaction in agricultural soils. **South African Sugar Technologists' Association**. v. 75, p. 118-124, 2001.

MODOLO, A. J. et al. Efeitos da umidade do solo e cargas aplicadas pela roda compactadora na densidade do solo na linha de semeadura. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 56, n.5, p. 627-633, set./out. 2009.

MOTT, G.O.; LUCAS, H.L. The design, conduct and interpretation of grazing trials on cultivated and improved pastures. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 1952, Pennsylvania. **Proceedings...**Pennsylvania: State College Press, 1952. p. 1380-1385.

NEPOMUCENO, M. P. et al . Períodos de dessecação de *Urochloa ruziziensis* e seu reflexo na produtividade da soja RR. **Planta daninha**, Viçosa, v. 30, n. 3, p. 557-565, set. 2012.

NICOLOSO, R. da S. et al. Manejo das pastagens de inverno e potencial produtivo de sistemas de integração lavoura–pecuária no Estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n. 6, p. 1799-1805, nov./dez. 2006.

NUNES, A. S. et al. Formação de cobertura vegetal e manejo de plantas daninhas na cultura da soja em sistema plantio direto. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 28, n. 4, p. 727-733, 2010.

OLIVEIRA, E. de. **Recuperação de pastagens no Noroeste do Paraná**: bases para plantio direto e integração lavoura e pecuária. Londrina : IAPAR, 2000. 96 p. (Informe da Pesquisa, 134)

PACHECO, L. P. et al. Desempenho de plantas de cobertura em sobressemeadura na cultura da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 7, p. 1269-1276, jul. 2008.

PACHECO, L. P. et al. Produção e ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura nas culturas de arroz de terras altas e de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 5, p. 1787-1800, out. 2011.

PAVAN, M. A. et al. **Manual de análise química do solo e controle de qualidade**. IAPAR: Londrina, 1992. 40 p. (Circular Técnica, n.76)

PERES, J. G.; SOUZA, C. F.; LAVORENTI, N. A. Avaliação dos efeitos da cobertura de palha de cana-de-açúcar na umidade e na perda de água do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.30, n.5, p. 875-886, set./out. 2010.

PEREZ, k. S. S. et al. Nitrogênio da biomassa microbiana em solo cultivado com soja, sob diferentes sistemas de manejo, nos Cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, n.2, p. 137-144, fev. 2005.

PETRY, M. T. et al. Disponibilidade de água do solo ao milho cultivado sob sistemas de semeadura direta e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 3, p. 531-539, jun. 2007.

PICKLER, E. P. et al. Influência da cobertura de inverno nos atributos físicos do solo em culturas de milho e soja sob plantio direto. **Engenharia na agricultura**, Viçosa, v.20, n. 1, p. 33-45, jan./fev. 2012.

PIMENTEL GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. Livraria Nobel S. A., São Paulo, SP, 2000. 477 p.

PIMENTEL, GOMES, F.; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos**. Piracicaba: FEALQ, 2002. 309 p.

PRAGANA, R. B. et al. Atributos biológicos e dinâmica da matéria orgânica em Latossolos Amarelos na região do Cerrado piauiense sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 3, p. 851-858, mai./jun. 2012.

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**, Viçosa, v. 31, n. 6, p. 1609-1623, nov./dez. 2007.

REINERT, D. J. et al. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em argissolo vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 5, p. 1805-1816, out. 2008.

RHEINHEIMER, D. S. et al. Modificações em atributos químicos de solo arenoso sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, p. 713-721, 1998.

RIBEIRO, P. H. et al. Adubação verde, os estoques de carbono e nitrogênio e a qualidade da matéria orgânica do solo. **Revista Verde**, Mossoró, v. 6, n. 1, p. 43–50, jan./mar. 2011.

ROSCOE, R.; BODDEY, R. M.; SALTON, J. C. Sistemas de manejo e matéria orgânica do solo. In: ROSCOE, R.; MERCANTE, F. M.; SALTON, J. C. (Eds.) **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistema conservacionistas – modelagem matemática e métodos auxiliares**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006a. p. 17-42.

ROSCOE, R.; MACHADO, P. L. O. de A. **Fracionamento físico do solo em estudos da matéria orgânica**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. 86 p.

ROSCOE, R.; MADARI, B. E.; MACHADO, P. L. O. de. Fracionamento físico do solo na obtenção de compartimentos mensuráveis para uso em simuladores da dinâmica da matéria orgânica. In: ROSCOE, R.; MERCANTE, F. M.; SALTON, J. C. (Eds.) **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistema conservacionistas – modelagem matemática e métodos auxiliares**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006b. p. 107-132.

ROSOLEM, C. A.; CALONEGO, J. C.; FOLONI, J. S. S. Lixiviação de potássio da palha de coberturas de solo em função da quantidade de chuva recebida. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n. 2, p. 355-362, mar./abr. 2003.

ROSSETTO, C. A. V et al. Comportamento das sementes de soja durante a fase inicial do processo de germinação. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 54, n. 1-2, p. 106-115, jan. 1997.

ROSSI, C. Q. et al. Frações orgânicas e índice de manejo de carbono do solo em Latossolo Vermelho sob plantio de soja no cerrado goiano. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 7, n. 2, p. 233-241, abr./jun. 2012.

SA, J. C. de M. Impacto do aumento da matéria orgânica do solo em atributos da fertilidade no sistema plantio direto. In: In: ENCONTRO REGIONAL DE PLANTIO DIRETO NO CERRADO, 5., 2001, Sustentabilidade, sim!, Dourados. **Anais...** Brasília: APDC; Dourados: UFMS/Embrapa Agropecuária, 2001. p. 35-43. (Documentos, 31)

SALTON, J. C. et al. Integração lavoura-pecuária: alternativa de rotação de culturas. In: ENCONTRO REGIONAL DE PLANTIO DIRETO NO CERRADO, 5., 2001,

Sustentabilidade, sim!, Dourados. **Anais...** Brasília: APDC; Dourados: UFMS/Embrapa Agropecuária, 2001. p. 31-32. (Documentos, 31)

SALTON, J. C. et al. **Matéria orgânica do solo na integração lavoura-pecuária em Mato Grosso do Sul**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2005. 58 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 29)

SALTON, J. C. **Matéria orgânica e agregação do solo na rotação lavoura-pastagem em ambiente tropical**. Porto Alegre, 2005. 155 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

SANTOS, D. C. dos et al. **Avaliação da qualidade física e da matéria orgânica de um Argissolo Vermelho derivado de arenito da fronteira Oeste do Rio Grande do Sul**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2009. 26 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 100)

SILVA, A. C. da et al. Dessecação pré-colheita de soja e *Brachiaria brizantha* consorciadas com doses reduzidas de gramínicida. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 1, p. 37-42, jan. 2006.

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

SILVA, I. R. da; MENDONÇA, E. de S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R. F. et al. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 275-374.

SILVA, S. F. da; FERRARI, J. L. Descrição botânica, distribuição geográfica e potencialidades de uso da *Brachiaria brizantha* (Hochst. Ex. A. Rich) Stapf. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA, Centro Científico Conhecer**, Goiânia, v.8, n.14; p. 302-314, 2012.

SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho afetados pelo pastejo e manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 1, p. 191-199. 2000.

SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Fatores controladores da compressibilidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico e de um Latossolo Vermelho distrófico típico. II – Grau de saturação em água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, p. 9-15, 2002.

SILVEIRA, P. M. et al. Adubação nitrogenada no feijoeiro cultivado sob plantio direto em sucessão de culturas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 4, p. 377-381, abr. 2005.

SOUZA, E. D. de et al. Carbono orgânico e fósforo microbiano em sistema de integração agricultura-pecuária submetido a diferentes intensidades de pastejo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 3, p. 1273-1282, jun. 2008.

SOUZA, E. D. de et al. Estoques de carbono orgânico e de nitrogênio no solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 6, p. 771-780, dez. 2009.

SOUZA, F. R. et al. Atributos físicos e desempenho agrônômico da cultura da soja em um Latossolo Vermelho distroférico submetido a dois sistemas de manejos. **Ciência Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 6, p. 1357-1364, nov./dez. 2010.

SPERA, S. T. et al. Efeito de integração entre lavoura e pecuária, sob plantio direto, em alguns atributos físicos do solo após dez anos. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 3, p. 695-704, 2010.

SPERA, S. T. et al. Efeitos de sistemas de produção de grãos envolvendo pastagens sob plantio direto nos atributos físicos de solo e na produtividade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n.3, p. 533-542, mai./jun. 2004.

SPERA, S. T. et al. Integração lavoura e pecuária e os atributos físicos de solo manejado sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 1, p. 129-136, fev. 2009.

TEDESCO, M. J. et al. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre, Departamento de Solos, UFRGS, 174 p. 1995.

TIMOSSI, P. C.; DURIGAN, J. C.; LEITE, G. J. Formação de palhada por braquiárias para adoção do sistema plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 4, p. 617-622, 2007.

TORRES, E.; SARAIVA, O. F. **Camadas de impedimento do solo em sistemas agrícolas com a soja**. Londrina: Embrapa Soja, 1999. 58 p. (Circular Técnica, 23)

VIEIRA, R. C. B. et al. Critérios de calagem e teores críticos de fósforo e potássio em latossolos sob plantio direto no centro-sul do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 1, p. 188-198, fev. 2013.

VILELA, H. **Pastagem**: seleção de plantas forrageiras, implantação e adubação. 2. ed. Viçosa: Aprenda Fácil, 2012. 339 p.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 4, p. 743-755, ago. 2009.

WATANABE, S. H. et al. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico influenciadas por sistemas de preparo do solo utilizados para implantação da cultura a mandioca. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v.24, n. 5, p. 1255-1264, 2002.

7 ANEXOS

Tabela 13- Resumo da análise de variância para massa de matéria seca da parte aérea de *Brachiaria ruziziensis*, matéria seca de resíduo vegetal e massa de matéria seca total (massa de matéria seca da parte aérea de braquiária + resíduo vegetal), após a *Brachiaria ruziziensis*, sob diferentes alturas de pastejo e área sem pastejo (SP), nos anos agrícolas 2010/2011 e 2011/2012

Variáveis	Valores de F calculado				
	Altura de pastejo	Época	Interação Altura x Época	CV1 (%)	CV2 (%)
Massa de matéria seca da parte aérea de <i>B. ruziziensis</i>	509,8745**	46,1340**	16,8733**	4,21	6,96
Matéria seca de resíduo vegetal	1,1694 ^{ns}	127,4437**	7,8976**	16,54	15,22
Massa de matéria seca total	113,3023**	113,8510**	7,1588**	6,77	7,63

^{ns} não significativo; ** significativo ao nível de 1% de probabilidade e * significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F; CV1(%): coeficiente de variação referente a altura de pastejo; CV2(%) coeficiente de variação referente época e à interação altura x época.

Tabela 14- Resumo da análise de variância para densidade, macroporosidade, microporosidade e porosidade total do solo, nas profundidades 0-10, 10-20 e 20-30 cm, após a colheita da soja (mai/2011 e abr/2012) e após a *Brachiaria ruziziensis* (set/2011), sob diferentes alturas de pastejo e área sem pastejo (SP)

Variáveis	Valores de F calculado				
	Altura de pastejo	Época	Interação Altura x Época	CV1 (%)	CV2 (%)
		0-10 cm			
Densidade	0,6631 ^{ns}	5,6835**	0,4720 ^{ns}	1,88	2,39
Macroporosidade	0,4691 ^{ns}	44,0462**	1,1740 ^{ns}	15,99	15,34
Microporosidade	0,5991 ^{ns}	16,4364**	0,8521 ^{ns}	7,44	5,19
Porosidade total	0,1061 ^{*(1)}	32,0145**	1,1647 ^{ns}	6,13	5,03
		10-20 cm			
Densidade	0,3360 ^{ns}	1,3126 ^{ns}	0,5768 ^{ns}	2,02	2,01
Macroporosidade	0,5340 ^{ns}	1,4217 ^{ns}	0,1289 ^{ns}	14,41	15,32
Microporosidade	0,5009 ^{ns}	46,4188**	2,2468 ^{ns}	9,53	5,39
Porosidade total	0,2308 ^{ns}	35,3859**	2,5563*	8,45	3,96
		20-30 cm			
Densidade	0,6285 ^{ns}	1,2543 ^{ns}	0,8934 ^{ns}	2,09	2,39
Macroporosidade	0,1125 ^{ns}	13,1548**	0,7286 ^{ns}	21,15	19,28
Microporosidade	0,6148 ^{ns}	43,6789**	0,7819 ^{ns}	6,59	5,52
Porosidade total	0,5698 ^{ns}	67,4572**	1,2906 ^{ns}	6,78	5,21

^{ns}não significativo; ** significativo ao nível de 1% de probabilidade e * significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F; CV1(%): coeficiente de variação referente a altura de pastejo; CV2(%) coeficiente de variação referente época e à interação altura x época.

¹Não significativo pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 15- Resumo da análise de variância para umidade gravimétrica do solo, nas profundidades 0-10, 10-20 e 20-30 cm, em diferentes épocas, sob diferentes alturas de pastejo e área sem pastejo (SP) de *Brachiaria ruziziensis*, nos anos agrícolas 2010/2011 e 2011/2012

Variáveis	Valores de F calculado				
	Altura de pastejo	Época	Interação Altura x Época	CV1 (%)	CV2 (%)
		0-10 cm			
Umidade gravimétrica	1,2360 ^{ns}	475,1573*	0,9028 ^{ns}	9,31	9,07
		10-20 cm			
Umidade gravimétrica	1,1185 ^{ns}	514,5190*	0,8819 ^{ns}	6,59	7,52
		20-30 cm			
Umidade gravimétrica	0,8508 ^{ns}	319,2770*	0,5026 ^{ns}	8,51	8,16

^{ns}não significativo; ** significativo ao nível de 1% de probabilidade e * significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F; CV1(%): coeficiente de variação referente a altura de pastejo; CV2(%) coeficiente de variação referente época e à interação altura x época.

Tabela 16- Resumo da análise de variância para COT, ECOT, COP, ECOP, CAM, ECAM do solo, nas profundidades 0-10, 10-20 e 20-30 cm, após a *Brachiaria ruziziensis* (out/2010) e após a colheita da soja (mar/2012), sob diferentes alturas de pastejo e área sem pastejo (SP)

Variáveis	Valores de F calculado				
	Altura de pastejo	Época	Interação Altura x Época	CV1 (%)	CV2 (%)
0-10 cm					
COT	1,8114 ^{ns}	8,5839*	0,0485 ^{ns}	8,54	7,88
ECOT	1,4120 ^{ns}	11,3260**	0,0700 ^{ns}	10,26	7,64
COP	2,3800 ^{ns}	9,4809*	0,8515 ^{ns}	9,86	12,78
ECOP	2,4259 ^{ns}	7,6782**	0,6902 ^{ns}	10,59	13,10
CAM	2,0890 ^{ns}	22,8070**	0,3710 ^{ns}	14,06	12,48
ECAM	1,7142 ^{ns}	26,1973**	0,4486 ^{ns}	15,53	12,14
10-20 cm					
COT	2,9307 ^{ns}	0,0032 ^{ns}	0,1400 ^{ns}	6,86	18,40
ECOT	3,0260 ^{ns}	0,0005 ^{ns}	0,1181 ^{ns}	7,26	18,51
COP	0,1830 ^{ns}	4,2143 ^{ns}	0,1375 ^{ns}	21,06	20,44
ECOP	0,1409 ^{ns}	4,1717 ^{ns}	0,1415 ^{ns}	21,81	21,19
CAM	0,8934 ^{ns}	0,7260 ^{ns}	0,3011 ^{ns}	15,48	21,47
ECAM	1,0303 ^{ns}	0,6234 ^{ns}	0,2796 ^{ns}	15,53	21,28
20-30 cm					
COT	0,4420 ^{ns}	0,0333 ^{ns}	0,3030 ^{ns}	14,70	14,67
ECOT	0,4020 ^{ns}	0,1580 ^{ns}	0,3600 ^{ns}	15,78	14,76
COP	0,3510 ^{ns}	0,0682 ^{ns}	0,1038 ^{ns}	13,54	23,12
ECOP	0,4361 ^{ns}	0,1836 ^{ns}	0,0886 ^{ns}	12,87	22,86
CAM	0,3954 ^{ns}	0,0055 ^{ns}	0,5597 ^{ns}	21,31	18,00
ECAM	0,3658 ^{ns}	0,0593 ^{ns}	0,6211 ^{ns}	22,47	18,08

^{ns}não significativo; ** significativo ao nível de 1% de probabilidade e * significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F; CV1(%): coeficiente de variação referente a altura de pastejo; CV2(%) coeficiente de variação referente época e à interação altura x época.

Tabela 17- Resumo da análise de variância para NM e ENM do solo, nas profundidades 0-10, 10-20 e 20-30 cm, após a *Brachiaria ruziziensis* (out/2010 e set/2011) e após a colheita da soja (mar/2011 e mar/2012), sob diferentes alturas de pastejo e área sem pastejo (SP)

Variáveis	Valores de F calculado				
	Altura de pastejo	Época	Interação Altura x Época	CV1 (%)	CV2 (%)
		0-10 cm			
NM	0,5560 ^{ns}	55,6120**	0,6447 ^{ns}	7,12	13,61
ENM	0,3936 ^{ns}	52,3921**	0,6050 ^{ns}	7,20	14,09
		10-20 cm			
NM	0,2050 ^{ns}	59,9587**	0,4420 ^{ns}	11,87	13,62
ENM	0,2971 ^{ns}	61,6250**	0,4480 ^{ns}	11,39	13,36
		20-30 cm			
NM	1,2620 ^{ns}	54,1920**	0,6206 ^{ns}	6,72	14,94
ENM	1,0972 ^{ns}	56,1099**	0,6855 ^{ns}	6,84	14,81

^{ns} não significativo; ** significativo ao nível de 1% de probabilidade e * significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F; CV1(%): coeficiente de variação referente a altura de pastejo; CV2(%) coeficiente de variação referente época e à interação altura x época.

Tabela 18- Resumo da análise de variância para NT e ENT, nas profundidades 0-10, 10-20 e 20-30 cm, após a *Brachiaria ruziziensis* (out/2010) e após a colheita da soja (mar/2012), sob diferentes alturas de pastejo e área sem pastejo (SP)

Variáveis	Valores de F calculado				
	Altura de pastejo	Época	Interação Altura x Época	CV1 (%)	CV2 (%)
		0-10 cm			
NT	0,4730 ^{ns}	9,3087*	0,3776 ^{ns}	13,56	11,10
ENT	0,3393 ^{ns}	11,6050**	0,4500 ^{ns}	15,40	10,83
		10-20 cm			
NT	0,4070 ^{ns}	0,4193 ^{ns}	0,3632 ^{ns}	13,98	16,88
ENT	0,5588 ^{ns}	0,3390 ^{ns}	0,4141 ^{ns}	14,15	16,69
		20-30 cm			
NT	0,6467 ^{ns}	0,6160 ^{ns}	0,9120 ^{ns}	15,66	11,50
ENT	0,7810 ^{ns}	0,0998 ^{ns}	0,7520 ^{ns}	16,29	12,96

^{ns} não significativo; ** significativo ao nível de 1% de probabilidade e * significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F; CV1(%): coeficiente de variação referente a altura de pastejo; CV2(%) coeficiente de variação referente época e à interação altura x época.

Tabela 19- Resumo da análise de variância para número final de plantas por metro, altura das plantas e produtividade da cultura da soja, sob diferentes alturas de pastejo e área sem pastejo (SP) de *Brachiaria ruziziensis*, nos anos agrícolas 2010/2011 e 2011/2012

Variáveis	Valores de F calculado				
	Altura de pastejo	Época	Interação Altura x Época	CV1 (%)	CV2 (%)
Número final de plantas m ⁻¹	1,3068 ^{ns}	285,9886 ^{**}	1,6912 ^{ns}	3,45	3,50
Altura das plantas	1,7591 ^{ns}	4.846,2044 ^{**}	0,9483 ^{ns}	2,62	2,91
Produtividade	0,6743 ^{ns}	191,3069 ^{**}	0,4514 ^{ns}	10,79	11,55

^{ns} não significativo; ** significativo ao nível de 1% de probabilidade e * significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F; CV1(%): coeficiente de variação referente a altura de pastejo; CV2(%) coeficiente de variação referente época e à interação altura x época.