

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

**ATRIBUTOS FÍSICOS, HÍDRICOS E BIOLÓGICOS DE SOLO E DE PLANTA
EM SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA 1/**

João de Andrade Bonetti

(Tese/Doutorado)

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

**ATRIBUTOS FÍSICOS, HÍDRICOS E BIOLÓGICOS DE SOLO E DE PLANTA
EM SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA 1/**

JOÃO DE ANDRADE BONETTI

Engenheiro Agrônomo (UFMT)
Mestre em Agronomia (UFG)

Tese apresentada como
um dos requisitos à obtenção do
Grau de Doutor Ciência do Solo

Porto Alegre (RS) Brasil
Fevereiro de 2017

CIP - CATALOGAÇÃO INTERNACIONAL NA PUBLICAÇÃO

JOÃO DE ANDRADE BONETTI
Engenheiro Agrônomo (UFMT)
Mestre em Ciência do Solo (UFG)

TESE

Submetida como parte dos requisitos
para a obtenção do Grau de
DOUTOR EM CIÊNCIA DO SOLO

Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo
Faculdade de Agronomia
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Porto Alegre (RS), Brasil

Aprovada em: __/__/____
Pela Banca Examinadora

Homologado em: __/__/____
por

Prof. Dr. Edicarlos Damascena de
Souza
Universidade Federal do Mato Grosso

FLAVIO ANASTÁCIO CAMARGO
Coordenador do Programa de
Pós-Graduação em Ciência do Solo

Prof. Dr. Christian Bredemeier
PPG-Plantas de lavoura da UFRGS

CARLOS ALBERTO BISSANI
Diretor da Faculdade de Agronomia

Prof. Dr. Renato Levien
PPG-Solos da UFRGS

Orientador: Prof. Dr. Ibanor Anghinoni

***“Todo aquele que não permanece no ensino de Cristo, mas vai além dele,
não tem Deus; quem permanece no ensino tem o Pai e também o Filho”***
(João c.1 v.9)

*Dedico aos meus pais Fernandes e Mariana,
aos meus irmãos Madalena, Ronaldo e
Sergio e a minha esposa Patrícia.*

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul e o Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo pela oportunidade de cursar o Doutorado.

À *North Carolina State University* pela oportunidade de cursar o Doutorado Sanduíche.

À Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior pela concessão de bolsa no Brasil e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela concessão da bolsa nos Estados Unidos da América.

À Fazenda Espinilho, em São Miguel das Missões-RS, por ceder a área para a condução do experimento e ao *Center for Environmental Farming Systems* em Godsboro-NC, por ceder a área e conduzir o manejo do experimento.

À Fundação Agrisus pelo apoio financeiro na divulgação de resultados no Brasil e no Estados Unidos da América.

Ao Professor Dr. Ibanor Anghinoni pela oportunidade de trabalho e pelos ensinamentos, incluindo paciência, simplicidade e respeito ao próximo, durante os quatro anos de Doutorado.

Ao Professor Dr. Paulo Ivonir Gubiani e Christian Bredemayer por desempenharem o papel de co-orientador nos trabalhos e pelos ensinamentos e ao professor Dr. Renato Levien pelas contribuições na qualificação e defesa da Tese.

Ao Professor Dr. Alan Joseph Franzluebbbers pela orientação no Doutorado Sanduíche, paciência e respeito com os estudantes.

Aos técnicos de laboratório Adão Luiz, Erin Silva e Ellen Leonard pelo apoio incondicional na realização das atividades de campo e de laboratório.

À todos os professores que contribuíram para a minha formação acadêmica durante os 21 anos de estudo, especialmente aos do PPG-Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

À todos os membros do grupo de pesquisa em Sistemas Integrados de Produção Agropecuária da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Aos amigos que conduziram o ciclo de pastejo no experimento do Brasil: William Filho, Raquel Barros, Gleise Menezes, Pedro Albuquerque, Taíse Kunrath e Augusto Caetano.

Aos funcionários da fazenda Espinilho e do Departamento de Solos, em especial, a Silvia, Marcos, Marcio e Jader, pela competência.

Ao professor Dr. Edicarlos Souza pelo apoio e empenho na indicação para a posição de doutorando e ao professor Dr. Helder Paulino pelos ensinamentos.

Ao meus pais Fernandes e Mariana e irmãos Madalena, Ronaldo e Sérgio pelo amor, apoio, compreensão e incentivo desde o início da minha caminhada.

Agradeço a minha amada esposa Patricia pelo companheirismo, compreensão e amor e família, especialmente os sogros Nobuyoshi e Atsuko, sobrinha Alice e cunhados Everson e Satie.

Agradeço aos amigos Sergio Costa, Diego Cecagno, Lucas Zulpo, Moacir Tuzzin e Jefferson Fink pelo apoio logístico, e nos trabalhos de campo e amizade.

Aos amigos, Elvis, Renato, Uadson, Jose André e família, pelo apoio e incentivo.

ATRIBUTOS FÍSICOS, HÍDRICOS E BIOLÓGICOS DE SOLO E DE PLANTA EM SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA 1/

Autor: João de Andrade Bonetti
Orientador: Ibanor Anghinoni
Co-orientador: Paulo Ivonir Gubiani

RESUMO

A produção animal pode ser utilizada em diferentes partes do mundo para diversificação de renda nas lavouras de grãos. Isso ocorre, principalmente, porque no inverno de regiões temperadas e subtropicais, milhões de hectares são cultivados com plantas de cobertura com potencial de uso para pastejo. A integração de animais e o cultivo de grãos foi investigada, no contexto multidisciplinar, com objetivo de avaliar o sistema solo-água-planta-animal, em diferentes ambientes para vislumbrar o adequado manejo do pasto e do solo. O primeiro estudo foi realizado em um protocolo experimental localizado em São Miguel das Missões-RS, Brasil, em sistema soja no verão e bovinos de corte no inverno com manejo do pasto de aveia preta + azevém a 10, 20, 30, 40 cm de altura e sem pastejo. O segundo estudo foi realizado em protocolo experimental localizado em Goldsboro-NC, Estados Unidos da América, intercalando cultivo de grãos e pastejo de animais, a cada seis anos, sendo avaliado o manejo do solo em plantio direto e preparo convencional com uso de grade aradora e arado de disco, para terminação do pasto. No primeiro estudo, o manejo moderado do pasto (30 cm de altura) apresentou equilíbrio no contexto dos atributos físicos e hídricos do solo, desenvolvimento de plantas e produção de grãos e carne. O manejo do pasto a 20 cm de altura está entre o pasto manejado a 10 cm e 30 cm, sendo necessário maiores investigações quanto ao seu potencial de produção sustentável. O manejo do pasto a 10 e 40 cm de altura e sem pastejo apresentaram desequilíbrio entre os fatores analisados no contexto solo-planta-água-animal, sendo observado efeitos negativos nos atributos físicos e hídricos do solo no pasto mantido a 10 cm e baixa exploração da pecuária no manejo do pasto a 40 cm e sem pastejo. No segundo estudo, o plantio direto e o preparo com grade de disco, não diferiram quanto aos atributos biológicos e teores de matéria orgânica e nitrogênio do solo, analisados 20 dias após o manejo do solo na transição da pecuária para as culturas comerciais. Entretanto, o uso de grade aradora degrada a matéria orgânica e interfere negativamente em indicadores biológicos do solo.

1/ Tese de Doutorado em Ciência do Solo. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre (137 p.) abril, 2017. Trabalho realizado com apoio financeiro da CAPES e do CNPq.

SOIL PHYSICAL AND, HIDRIC AND BIOLOGICAL AND PLANT ATTRIBUTES IN INTEGRATED CROP-LIVESTOCK SYSTEMS 1/

Author: João de Andrade Bonetti

Advisor: Ibanor Anghinoni

Co-adviser: Paulo Ivonir Gubiani

ABSTRACT

Livestock production has been used around the world for economic diversification on cropping farms. This occurs, especially because millions of hectares are cultivated with winter cover crops, which has potential for grazing. Two crop-livestock systems were investigated with the objective of evaluate the relationships in the soil-water-plant-animal continuum in different environments and improve the knowledge about the management of soil and animals. The first study was carried in São Miguel das Missões-RS, Brazil, in a soybean-beef system with management of sward heights at 10, 20, 30, and 40 cm and no grazing. The second study was carried out in Goldsboro-NC, United State of America with crop cultivation and grazing of animals every six years using no tillage and conventional tillage with disk and plow. In the soybean-cattle beef system, the management of pasture at 30 cm showed a balance between soil physical-hydric properties, plant development and soybean and beef production. The pasture management at 20 cm is between sward heights at 10 and 30 cm, and is necessary more investigation in relation of potential of use. The pasture management at 10 and 40 cm and no grazing showed an imbalance between the properties, in context soil-plant-water-animal, with lower quality of soil physical and hydraulic attributes in the pasture at 10 cm and lower beef production on pastures at 40 cm and without grazing. In the pasture termination impacts in the cropping transition, no tillage and conventional management with disk, after 20 days of soil disturbance, do not affect organic matter and nitrogen and soil biology attributes. However, the conventional plow tillage decrease the organic matter, nitrogen and biological attributes in the surface soil layer.

Ph.D. Thesis in Soil Science – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. (137 p.) April, 2017. Research supported by CAPES and CNPq.

Sumário

1	INTRODUÇÃO	1
2	CAPÍTULO I. ESTADO ATUAL DE CONHECIMENTO	3
2.1	Plantio direto e sistema integrado de produção agropecuária.....	3
2.2	Resiliência do solo	5
2.3	Temperatura do solo e desenvolvimento de plantas	7
2.4	Infiltração e retenção de água no solo	8
2.5	Desenvolvimento das plantas	10
2.5.1	Estresse hídrico e crescimento de plantas	10
2.5.2	Temperatura da folha.....	11
2.5.3	Fluorescência da clorofila.....	12
2.5.4	Produção de biomassa vegetal.....	14
2.5.5	Índice de vegetação por diferença normalizada.....	15
2.6	Métodos de terminação do pasto em sistema integração lavoura-pecuária nos Estados Unidos da América	16
2.6.1	Manejo do solo em plantio direto e preparo convencional nos Estados Unidos da América	16
2.6.2	Matéria orgânica no solo	18
2.6.3	Nitrogênio no solo.....	19
2.6.4	Atributos biológicos do solo.....	20
3	CAPÍTULO II. MATERIAL E MÉTODOS	22
3.1	Experimento em São Miguel das Missões-RS, Brasil	22
3.2	Experimento de Goldsboro-NC, Estados Unidos da América.....	23
4	CAPÍTULO III. RESILIÊNCIA DO SOLO EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO SOJA-BOVINOS DE CORTE COM DIFERENTES MANEJOS DA ALTURA DO PASTO	25
4.1	Introdução.....	25
4.2	Material e métodos	27
4.3	Resultados e discussão.....	30
4.4	Conclusões.....	41

5	CAPÍTULO IV. INFILTRAÇÃO E RETENÇÃO DE ÁGUA EM SISTEMA INTEGRAÇÃO SOJA-BOVINOS DE CORTE COM DIFERENTES MANEJOS DA ALTURA DO PASTO	43
5.1	Introdução	43
5.2	Material e métodos	45
5.3	Resultados e discussão.....	48
5.4	Conclusões	59
6	CAPÍTULO V. TEMPERATURA E UMIDADE DO SOLO EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO SOJA-BOVINOS DE CORTE COM DIFERENTES MANEJOS DA ALTURA DO PASTO	61
6.1	Introdução	61
6.2	Material e métodos	62
6.3	Resultados e discussão.....	63
6.4	Conclusões	72
7	CAPÍTULO VI. PARÂMETROS DE FLUORESCÊNCIA DA CLOROFILA, TEMPERATURA DA FOLHA E NDVI DE AVEIA PRETA EM INTEGRAÇÃO SOJA-BOVINOS DE CORTE COM DIFERENTES MANEJOS DA ALTURA DO PASTO	73
7.1	Introdução	73
7.2	Material e métodos	75
7.3	Resultados e discussão.....	77
7.4	Conclusões	88
8	CAPÍTULO VII. PASTURE TERMINATION IMPACTS ON SOIL ORGANIC MATTER, BIOLOGICAL AND PHYSICAL ATTRIBUTES IN CROPPING TRANSITION IN SOUTHEASTERN USA	89
8.1	Introduction	89
8.2	Material and methods	91
8.3	Results and discussion.....	92
8.4	Conclusions	100
9	CONCLUSÕES	101
10	CONSIDERAÇÕES FINAIS	102
11	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	104
12	APÊNDICE	119
13	RESUMO BIBLIOGRÁFICO	120

RELAÇÃO DE TABELAS

Tabela 1. Granulometria do solo ⁽¹⁾ em diferentes alturas de manejo do pasto no sistema integrado soja-bovinos de corte em semeadura direta de longa duração e da mata nativa na safra 2014/15.....	30
Tabela 2. Teor de matéria orgânica nas camadas do solo ⁽¹⁾ em diferentes alturas de manejo do pasto no sistema integrado soja-bovinos de corte em semeadura direta de longa duração após a saída dos animais e da mata nativa em novembro de 2014.....	31
Tabela 3. Densidade e macroporosidade do solo ⁽¹⁾ após o pastejo (2014) e após o cultivo de soja (2015) em diferentes alturas de manejo do pasto no sistema integrado soja-bovinos de corte em semeadura direta de longa duração e da mata nativa	32
Tabela 4. Biomassa seca durante o ciclo de pastejo em diferentes alturas de manejo do pasto no sistema integrado soja-bovinos de corte em semeadura direta de longa duração (outono-inverno de 2014)	65
Tabela 5. Umidade em camadas do solo ⁽¹⁾ ao longo do tempo em diferentes alturas de manejo do pasto, no sistema integrado soja-bovinos de corte em semeadura direta de longa duração	66
Tabela 6. Parâmetros meteorológicos nos dias e horários de coleta de dados, diurno (4:00 às 6:00 horas) e noturno (12:00 às 14:00 horas), na cultura da aveia, em diferentes alturas de manejo do pasto no sistema integrado soja-bovinos de corte em semeadura direta de longa duração.....	78
Table 7. Initial condition of soil ⁽¹⁾ physics and biological attributes (February, 2016), before the termination pasture in crop-livestock systems in southeastern USA	93

RELAÇÃO DE FIGURAS

- Figura 1.** Difrátograma de raios X da fração argila em duas camadas do solo⁽¹⁾ no sistema integrado soja-bovinos de corte em semeadura direta de longa duração na safra 2014/15.31
- Figura 2.** Mudança da densidade (Ds) e da macroporosidade (Ma) iniciais do solo⁽¹⁾ (condição A) causada pela aplicação de 200kPa de carga (C0) seguida por quatro ciclos de secagem e umedecimento (C1, C2, C3, C4 respectivamente), em amostras coletadas após o pastejo (a, c) e após a colheita da soja (b, d) na camada de 0-20 cm, em diferentes alturas de manejo do pasto no sistema integrado soja-bovinos de corte em semeadura direta de longa duração.33
- Figura 3.** Relação entre o aumento da densidade do solo (Ds) (a) e redução da macroporosidade do solo (Ma) (c) após a compactação em laboratório (200 kPa) e recuperação da Ds (b) e da Ma (d) do solo⁽¹⁾ após quatro ciclos de secagem e umedecimento em diferentes alturas de manejo do pasto no sistema integrado soja-bovinos de corte em semeadura direta de longa duração.....35
- Figura 4.** Relação entre a e recuperação absoluta da densidade (Ds) do solo⁽¹⁾ após o quarto ciclo de secagem e umedecimento e aumento absoluto da Ds após a compactação em laboratório (200 kPa), em diferentes alturas de manejo do pasto no sistema integrado soja-bovinos de corte em semeadura direta de longa duração, avaliada após o pastejo em 2014.....36
- Figura 5.** Resiliência da densidade (Ds) em diferentes camadas do solo⁽¹⁾ após o pastejo (a) e cultivo de soja (b) e resiliência da macroporosidade do solo (Ma) após o pastejo (c) e após o cultivo de soja (d), em diferentes alturas de manejo do pasto no sistema integrado soja-bovinos de corte em semeadura direta de longa duração.38
- Figura 6.** Relação entre a resiliência da densidade do solo⁽¹⁾ (Ds) com a densidade inicial (a) e resiliência da macroporosidade (Ma) com a macroporosidade inicial do solo (b) após o pastejo e cultivo de soja, em sistema de integração soja-bovinos de corte em semeadura direta de longa duração ..39
- Figura 7.** Relação entre a matéria orgânica do solo⁽¹⁾ na camada de 0-20 cm e: (a) aumento da densidade do solo (Ds) após compressão de 200 KPa (b) recuperação da Ds após quatro ciclos de secagem e umedecimento, (c) Ds após o pastejo e (d) resiliência da Ds, do solo em diferentes alturas de manejo do pasto no sistema integrado soja-bovinos de corte em semeadura direta de longa duração.....41

Figura 8. Atributos físicos do solo ⁽¹⁾ (camada de 0-20 cm) após o cultivo de aveia e pastejo de bovinos e após cultivo de soja, no sistema integrado soja-bovinos de corte em semeadura direta de longa duração.....	49
Figura 9. Taxa de infiltração de água no solo ⁽¹⁾ (TI) observada (legenda) e ajustada pelo modelo de Kostiaikov (linhas), em função do tempo, após pastejo, novembro de 2014 (a), e após soja (a) em abril de 2015 (b) em diferentes alturas de manejo do pasto no sistema integrado soja-bovinos de corte em semeadura direta de longa duração.	50
Figura 10. Infiltração acumulada ($I_{acum.}$) de água no solo ⁽¹⁾ após o pastejo, em novembro de 2014 (a) e após a soja, em abril de 2015 (b), em diferentes alturas de manejo do pasto no sistema integrado soja-bovinos de corte em semeadura direta de longa duração.	52
Figura 11. Velocidade de infiltração básica de água no solo ⁽¹⁾ (VIB) aos 126 minutos (a) e infiltração acumulada ($I_{acum.}$) após 126 minutos de teste (b) (média dos dados após o pastejo e após o cultivo de soja) e precipitação durante as épocas avaliadas (c) em diferentes alturas de manejo do pasto no sistema integrado soja-bovinos de corte em semeadura direta de longa duração.....	53
Figura 12. Curva de retenção de água no solo ⁽¹⁾ em diferentes camadas, 0-5 cm (a) 5-10 cm (b) e 10-20 cm (c), em diferentes alturas de manejo do pasto no sistema integrado soja-bovinos de corte em semeadura direta de longa duração.	55
Figura 13. Diâmetro equivalente de poros do solo ⁽¹⁾ por classes (a;c;e) e frequência de classe de poros (b;d;f) no solo nas camadas de 0-5 cm (a,b), 5-10 cm (c,d) e 10-20 cm (d,e) em diferentes alturas de manejo do pasto no sistema integrado soja-bovinos de corte em semeadura direta de longa duração.....	56
Figura 14. Água disponível (AD) em diferentes profundidades do solo ⁽¹⁾ (a) e capacidade de água disponível (CAD) na camada 0-20 cm, em diferentes alturas de manejo do pasto no sistema integrado soja-bovinos de corte em semeadura direta de longa duração.	57
Figura 15. Relação da velocidade de infiltração básica de água no solo ⁽¹⁾ (VIB) após pastejo com a porosidade total (Pt), da densidade do solo (D_s) com a água disponível (AD) e da matéria orgânica do solo com a VIB e AD, em diferentes alturas de manejo do pasto no sistema integrado soja-bovinos de corte em semeadura direta de longa duração	58
Figura 16. Temperatura do ar e precipitação média diária (a), radiação solar e umidade relativa do ar média diária (b), e radiação solar e temperatura do ar média dos 3 dias de determinação da umidade e temperatura do solo (c).....	64

Figura 17. Temperatura do solo⁽¹⁾, camada 0-5 cm das 4 às 6 horas (a) e das 12:00 as 14:00 (b), camada 5-10 cm, das 4 às 6 horas (c) e das 12:00 as 14:00 (d) e camada 10-20 cm, das 4 às 6 horas (e) e das 12:00 as 14:00 (f), durante o desenvolvimento da cultura da aveia, em diferentes alturas de manejo do pasto no sistema integrado soja-bovinos de corte em semeadura direta de longa duração.....67

Figura 18. Temperatura do solo⁽¹⁾, camada 0-5 cm das 4 às 6 horas (a) e das 12:00 as 14:00 (b), camada 5-10 cm, das 4 às 6 horas (c) e das 12:00 as 14:00 (d) e camada 10-20 cm, das 4 às 6 horas (e) e das 12:00 as 14:00 (f), durante o desenvolvimento da cultura da soja, em diferentes alturas de manejo do pasto no sistema integrado soja-bovinos de corte em semeadura direta de longa duração.....69

Figura 19. Amplitude da temperatura do solo⁽¹⁾ durante o desenvolvimento da aveia preta e da soja, em diferentes alturas de manejo do pasto no sistema integrado soja-bovinos de corte em semeadura direta de longa duração.....70

Figura 20. Relação da biomassa seca sobre o solo⁽¹⁾ e a amplitude de temperatura dia-noite ($\Delta T_{\text{dia-noite}}$) da camada 0-20 cm, em diferentes alturas de manejo do pasto no sistema integrado soja-bovinos de corte em semeadura direta de longa duração.71

Figura 21. Temperatura da folha de aveia no período noturno (a) e diurno (b), em diferentes alturas de manejo do pasto no sistema integrado soja-bovinos de corte em semeadura direta de longa duração.....79

Figura 22. Diferença de temperatura da folha (T_f) de aveia e do ar ($\Delta T_{\text{folha-ar}}$) (a,b) e déficit de pressão de vapor ($DPV_{\text{folha-ar}}$) (c,d), no período noturno (a,c) e diurno (b,d), em diferentes alturas de manejo do pasto no sistema integrado soja-bovinos de corte em semeadura direta de longa duração.80

Figura 23. Correlação da demanda de pressão de vapor ($DPV_{\text{folha-ar}}$) com a temperatura da folha (T_f) em diferentes alturas de manejo do pasto no sistema integrado soja-bovinos de corte em semeadura direta de longa duração.....81

Figura 24. Parâmetros de fluorescência da clorofila de folhas de aveia preta; inicial (a), máxima (b), variável (c) e relação variável/máxima (d) no período noturno (4:00 horas às 6:00 horas), em diferentes alturas de manejo do pasto no sistema integrado soja-bovinos de corte em semeadura direta de longa duração.82

Figura 25. Parâmetros de fluorescência da clorofila da folha de aveia preta: inicial (a) máxima (b) variável (c) e eficiência quântica (d) no período diurno

(12:00 horas às 14:00 horas), em diferentes alturas de manejo do pasto no sistema integrado soja-bovinos de corte em semeadura direta de longa duração.84

Figura 26. Taxa de transporte de elétrons e radiação (ETR) de folhas de aveia preta e diferentes estágios de desenvolvimento e alturas de manejo do pasto no sistema integrado soja-bovinos de corte em semeadura direta de longa duração.85

Figura 27. Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) (a) e biomassa seca (b) da cultura da aveia, em diferentes alturas de manejo do pasto no sistema integrado soja-bovinos de corte em semeadura direta de longa duração.86

Figura 28. Relação entre o NDVI e a biomassa seca de aveia, em diferentes alturas de manejo do pasto no sistema integrado soja-bovinos de corte em semeadura direta de longa duração.87

Figure 29. Clay (a) and sand (b) concentration of soil⁽¹⁾ in cool-season and warm-season area in crop-livestock systems in southeastern USA.94

Figure 30. Depth distribution of soil⁽¹⁾ bulk density in cool-season (a) and warm-season (b) area as affected by different pasture termination in crop-livestock systems in southeastern USA.94

Figure 31. Soil⁽¹⁾ depth distribution of total organic C (a,b) and N (c,d) of soil⁽¹⁾ in cool-season (a,c) and warm-season (b,d) area as affected by different pasture termination in crop-livestock systems in southeastern USA.95

Figure 32. Soil⁽¹⁾ depth distribution of flush of CO₂ (a,b), potential C mineralization (c,d) and soil microbial biomass C (e,f) in cool-season (a, c, e) and warm-season (b, d, f) area as affected by different pasture termination in crop-livestock systems in southeastern USA.98

Figure 33. Stratification ratio of the flush of CO₂, microbial biomass C, total organic C, total N, of soil⁽¹⁾ in cool-season (a) and warm-season (b) on crop-livestock systems in southeastern USA.98

Figure 34. Relationship of the flush of CO₂ following rewetting of dried soil⁽¹⁾ to potential C mineralization, soil microbial biomass C, total soil organic C, total soil N on crop-livestock systems in southeastern USA.99

LISTA DE APÊNDICES

Apêndice 1. Produtividade de animais de soja em diferentes alturas de manejo do pasto no sistema integrado soja-bovinos de corte em semeadura direta.

Apêndice 2. Relação multidisciplinar entre sistemas de produção com solo-planta-água-animal-atmosfera + lucratividade no sistema integrado soja-bovinos de corte em semeadura direta.

1 INTRODUÇÃO

A demanda por alimento deve aumentar nos próximos anos devido a previsão de aumento da população mundial para 11,2 bilhões de pessoas em 2100 (ONU, 2015), principalmente se as políticas de distribuição de renda e alimentos forem mantidas. Esses fatores, aliado às mudanças climáticas, representam riscos à oferta de alimentos e exige a adaptação dos produtores rurais, bem como a necessidade de aumentar a eficiência no uso de recursos, especialmente os naturais, em sistemas de produção agropecuária (LIPPER et al., 2014).

A agropecuária ocupa 11% da superfície terrestre do mundo para a produção de alimentos, que responde por 70% de toda a água retirada dos aquíferos, córregos e lagos. A degradação do solo tem sido motivo de preocupação dos pesquisadores, onde estudos apontam que 8% das áreas cultivadas estão em moderado nível de degradação, 25% estão em alto nível de degradação e 18% estão desprotegidas, sendo vulnerável a degradação (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO), 2011). No entanto, com a maior eficiência do uso da água em sistemas conservacionistas é possível aumentar em 70% a produção de alimentos (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO), 2011). Nesse sentido, o aumento da eficiência do uso do solo e da água em áreas de produção agropecuária são necessários, e geralmente isso ocorre com a diversificação do sistema, que demanda mais tempo e menor retorno econômico inicial.

A estimativa de área cultivada em plantio direto no mundo ultrapassou 105 milhões de hectares no ano de 2008, com destaque para os Estados Unidos da América que cultivam 26,5 milhões e o Brasil 25,5 milhões, (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO), 2011), sendo que os novos dados do Brasil indicam cultivo de 32 milhões de ha em PD em 2016 (CONAB, 2016). De

fato, a integração de sistemas de produção agrícola, como o plantio direto, em conjunto com sistemas integrados de produção agropecuária, tem grande potencial de mitigar os efeitos das alterações ambientais e reestabelecer um novo estado de equilíbrio, em nível sustentável para os sistemas comerciais de produção e para o meio ambiente.

A integração de lavoura de grãos e animais em uma mesma área não é recente, mas tem ganhado evidência devidos aos estudos indicarem maior sustentabilidade na produção, tanto nos aspectos econômicos como ambientais. No Sul do Brasil o resultado obtido em sistema soja-bovino de corte tem indicado que o pastejo moderado, com pasto mantido entre 20 e 30 cm de altura, tem aumentado a qualidade do solo nos seus aspectos físicos, químicos e biológicos, fato que representa menor degradação do solo, maior eficiência no uso de água e manutenção da produção de plantas (MARTINS et al., 2015). Nos Estados Unidos da América diversos estudos têm mostrado os benefícios do uso de sistemas integrados de produção agropecuária, com melhoria e/ou manutenção da qualidade do solo, avaliado por atributos biológicos (HURISSO et al., 2016).

Nesse sentido, novas abordagem multidisciplinares podem contribuir para o uso eficiente do sistema de manejo, reduzindo os riscos de insucesso dos agricultores. O objetivo foi avaliar os sistemas integrados de produção agropecuária quanto ao impacto de diferentes manejos da altura do pasto, em clima subtropical, e de métodos de rescisão da pastagem, em clima temperado, nos atributos físicos, hídricos e biológicos do solo e nos parâmetros de desenvolvimento e produtividade das plantas.

2 CAPÍTULO I. ESTADO ATUAL DE CONHECIMENTO

2.1 Plantio direto e sistema integrado de produção agropecuária

O plantio direto (PD) é entendido como uma forma de gestão da terra onde a diversificação de espécies, a mobilização do solo apenas na linha de semeadura, a manutenção do solo coberto e a redução dos intervalos de cultivos são seus fundamentos. Estudos em 48 lavouras de 63 países mostraram que o PD combinado com retenção de resíduos e rotação de culturas reduz os impactos negativos ao solo, principalmente em regiões de clima seco, sugerindo que o PD é uma importante estratégia de adaptação às mudanças climáticas para essas regiões (PITTELKOW et al., 2014)

No Brasil, o PD teve início na região Sul na década de 70 e expandiu para o Cerrado na década de 80, cuja função principal foi de controlar a erosão do solo. Este fato foi comprovado adiante, onde o PD reduziu em cerca de 75% as perdas de solo e em 20% as perdas de água, em relação às áreas em preparo convencional (PC) (CARMELA; DECHEN; MARIA, 2009). Resultados de redução da erosão e aumento da produtividade foram fundamentais para a expansão do PD no Brasil.

Após alguns anos do uso do PD, ocorreu redução da diversidade de plantas no sistema devido a fatores econômicos, tornando o PD basicamente composto por sucessão de culturas. O estudo de Pittelknow et al. (2014), mostrou que o PD praticado sem diversidade pode representar o insucesso dos agricultores, porque pode ocorrer problemas relacionado ao aumento da compactação, redução da matéria orgânica do solo (MOS) e da diversidade biológica. Assim se faz necessário à retomada da diversificação de plantas em PD com objetivo de melhorar a qualidade do solo e viabilizar novas fontes de

renda aos agricultores. Isso é possível com a inclusão de animais pastejando as plantas de cobertura no inverno.

Os sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA) surgem como uma alternativa, principalmente devido o Brasil possuir tradição na criação de gado, com um rebanho de 212,3 milhões de cabeças, sendo 13,2 milhões no Rio Grande do Sul (IBGE, 2015). Outro fato relevante, é que na região Sul do Brasil aproximadamente 4,4 milhões de hectares ficam em pousio ou com plantas de cobertura no período outono-inverno e, somente na região do Planalto do Rio Grande do Sul são aproximadamente 2 milhões de hectares que poderiam ser utilizados para pastejo.

O SIPA é caracterizado por ser planejada para explorar sinergismo e propriedades emergentes, frutos de interações nos compartimentos solo planta-animal-atmosfera de áreas que integram atividades de produção agrícola e pecuária (ANGHINONI; CARVALHO; COSTA, 2013). O SIPA envolve uma integração intencional que reflete uma relação sinérgica entre os componentes grãos, animais e/ou floresta e esta relação é sinérgica, e quando adequada, resulta em melhoria social, sustentabilidade econômica e ambiental e melhoria das condições de vida dos produtores rurais (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, 2010). Os resultados de melhoria da qualidade do solo e da água estão diretamente relacionados, dentre outros fatores, a maior ciclagem de nutrientes, da maior adição de material orgânico prontamente disponível e da maior agregação do solo (ASSMANN et al., 2015; SOUZA et al., 2010).

No entanto, são necessários estudos multidisciplinares investigando os efeitos diretos e indiretos do pisoteio de animais no solo, na água e nas plantas. Alguns resultados têm demonstrado que o manejo dos animais em pastejo intensivo (pasto a 10 cm de altura) pode aumentar a compactação do solo (CONTE et al., 2011). No entanto, o manejo em pastejo moderado (pasto entre 20 e 30 cm de altura), não causou compactação do solo, além de melhorar os atributos químicos e biológicos (MARTINS et al., 2015). De fato, os possíveis efeitos do pastejo de animais no solo não têm resultado em redução da produtividade de soja (MARTINS et al., 2015), mas devido à complexidade e os possíveis efeitos na qualidade do solo e no meio ambiente em longo prazo, são

justificativas importantes para aprofundar investigações em relação aos atributos físicos, hídricos e biológicos do solo e o desenvolvimento das culturas.

2.2 Resiliência do solo

Resiliência do solo é definida como a capacidade intrínseca do solo de se recuperar de forma antropogênica ou natural, de degradação ou do estresse aplicado e retornar a um novo estado de equilíbrio semelhante ao inicial (BLANCO-CANQUI; LAL, 2010). A resiliência decorre de uma variedade de processos regenerativos que incluem ciclos de umedecimento e secagem, congelamento e descongelamento, assim como a atividade biológica, o crescimento de raízes e a atividade da fauna edáfica (GREGORY et al., 2007; SEYBOLD, C. A.1; HERRICK, J. E.2; BREJDA, 1999). Esses processos são influenciados por fenômenos climáticos como precipitação, temperatura, radiação, umidade do ar e demanda evaporativa, alagamentos, além de processos ligados ao intemperismo (BAVOSO et al., 2012).

A resistência e resiliência são governadas pela estrutura físico-química do solo através do seu efeito sobre a composição da comunidade microbiana (GRIFFITHS; PHILIPPOT, 2013). A resiliência ocorre com maior facilidade em sistemas que conseguem reduzir o estresse ou distúrbio aplicado, permitindo ao solo sua recuperação. Apesar do impacto negativo da compactação sobre as propriedades físicas do solo, alguns solos têm uma habilidade inerente para se recuperar, ao menos parcialmente, particularmente em seus horizontes superiores (KUAN et al., 2007). Esse fato geralmente está associado a sistemas de cultivos com alto aporte de MOS. Os solos em cultivo de forrageiras, após ciclos de secagem e umedecimento, congelamento e descongelamento, apresentaram maior resiliência da permeabilidade do solo ao ar e do índice de vazios (ARTHUR et al., 2012).

As propriedades físicas do solo são intensamente controladas pelos seus minerais, de maneira especial por aqueles constituintes da fração argila. A textura e a mineralogia do solo influenciam na forma, estabilidade e resiliência do solo, bem como na resposta da estrutura do solo aos fatores biológicos e ao manejo (PORTUGAL, 2005). Portanto, a resiliência do solo em relação à

determinada prática agrícola depende também da textura e da mineralogia do solo (BLANCO-CANQUI; LAL, 2010).

De acordo com Ghidin et al. (2006), hematita, goethita e gibbsita são responsáveis pela maior macroporosidade, porosidade total e menor densidade do solo (Ds), verificadas nos Latossolos. Existe ainda, correlação positiva entre caulinita e a Ds (GHIDIN et al., 2006). A argila ou saturação de argila pode governar funções na arquitetura do solo em relação a processos como repelência da água. Sabe-se que quanto maior o teor de argila menor é a influência da MOS como agente cimentante e o inverso também é verdadeiro, ou seja, quanto maior o teor de MOS menor é a participação da argila como agente cimentante no solo (BAVER, 1956). Ainda, o grau de recuperação do solo por desenvolvimento de microrrachaduras causados pelos ciclos de umedecimento e secagem é maior, sendo essas microrrachaduras favorecidas em solos com maior contração e expansão da argila.

O menor teor de MOS pode afetar a estrutura do solo, capacidade de retenção de água e nutrientes, contribuindo para declínios na resiliência do solo (BUSSE; HUBBERT; MOGHADDAS, 2014). Arthur et al. (2012) mostraram que a reorganização plástica das partículas do solo, antes da remoção da carga e imediatamente depois da aplicação de uma força de 200 KPa, foi maior para solos com alto teor de MOS, como em solos com cultivo de forrageiras. O efeito da MOS na resiliência do solo ocorre principalmente por mecanismos de ligação (ELMHOLT et al., 2008), proporcionando a redução da resistência do solo, mas aumentando significativamente elasticidade e a capacidade de recuperação (ZHANG; HORN; HALLETT, 2005).

A resistência a tração é afetada ainda pelo teor de MOS, onde há uma redução da resistência com aumento do teor de água (MUNKHOLM et al., 2002) e o alto teor de MOS fortalece agregados úmidos e enfraquece os agregados secos (RAHIMI; PAZIRA; TAJIK, 2000).

O aumento no conteúdo de água do solo pode reduzir a pressão de pré-compactação e aumentar o índice de compressão do solo, acarretando a redução da capacidade de suporte de carga do solo com o aumento do conteúdo de água (SILVA; CABEDA, 2006). De fato, a água, juntamente com temperatura do solo, está diretamente ligada aos mecanismos de expansão e contração em solos com argila expansiva e em solos com argila não expansiva. A expansão

ocorre em função de a água penetrar nos poros do solo, ocupando assim espaço entre as partículas e aumentando seu volume. No processo de contração há redução do volume em função da retirada da água e reaproximação das partículas, fato que ocasiona rachaduras no solo. Já na expansão este processo é o contrário, onde a água ocupa espaços preenchendo as rachaduras do solo.

2.3 Temperatura do solo e desenvolvimento de plantas

A temperatura do solo (T_s) é uma propriedade que afeta diretamente o crescimento das plantas e é influenciada pelo balanço de energia na superfície do solo (SILVA; REICHERT; REINERT, 2006). Isso porque, a T_s influencia os processos relacionados ao desenvolvimento das raízes, à decomposição MOS e à atividade de microrganismos.

O efeito da palha na superfície diminui o aquecimento do solo, podendo atingir a temperatura máxima de 36 °C no PD, e 43,2 °C no PC, na camada de 2,5 cm, observados na região Sul do Brasil (SILVA; REICHERT; REINERT, 2006). Ainda, os valores de condutividade térmica e inércia térmica no PD geralmente são maiores do que no PC, havendo, porém, menor difusividade térmica no PD (DEC; DÖRNER; HORN, 2009). A partir de então, pode-se concluir que o cultivo conservacionista do solo pode armazenar mais calor, mas ao mesmo tempo, sem afetar o regime térmico do solo devido à sua menor difusividade.

O pastejo de animais reduz a cobertura do solo, expondo-o à uma maior T_s . Além da redução de massa vegetal, sistemas mais intensivos alteram a estrutura física, diminuindo a porosidade e aumentando a D_s afetando a dissipação de calor por convecção através de canais biológicos.

Diferente de regiões de clima temperado, onde o aquecimento do solo é desejável para proporcionar temperaturas adequadas à emergência das plântulas, em climas tropicais e subtropicais, o seu aquecimento pode prejudicar a germinação e a emergência das plântulas (SILVA; REICHERT; REINERT, 2006). Esse fato pode implicar em redução do estande de planta, que pode afetar a produção de biomassa ou de grãos.

A temperatura do solo determina a magnitude das taxas de evaporação e sua variação interfere na germinação e emergência de plântulas,

no seu crescimento radicular, na absorção de água e nutrientes e na atividade microbiana do solo (HILLEL, 1998; REICHARDT; TIMM, 2012). A temperatura máxima na superfície do solo é atingida aproximadamente às 14:00 horas, estando próxima da máxima temperatura do ar. Nas camadas mais profundas (30-40 cm), a máxima Ts pode ocorrer 12:00 horas após a máxima ocorrida na camada superficial (CAMPBELL; NORMAN, 1998). Assim, a Ts pode ter impacto diferente dependendo da capacidade de exploração do sistema radicular das culturas. Estudos indicam que a variação em 1 °C na Ts pode afetar significativamente a taxa de crescimento de plantas (milho) em clima temperado (JOHNSON; LOWERY, 1985).

As raízes das plantas podem se desenvolver em uma larga amplitude de temperatura (mínimas, ótimas e máximas) e depende da região climática em que a espécie foi originada. Por exemplo, o crescimento das raízes de plantas em regiões temperada tem temperatura adequada variando de 10 °C e 30 °C, mas ainda continuam crescendo em torno de 0 °C (KRANENBURG, 2007). Em contraste, a temperatura ótima das espécies subtropicais é maior (15 °C a 32 °C), enquanto o crescimento da raiz é reduzido a partir de 10 a 15 °C (BOWEN, 1991).

Uma grande variedade de resultados tem sido relatada na literatura, devido a uma grande diversidade de configurações experimentais utilizadas e variáveis examinadas: (i) o tempo até a germinação é reduzido e o desenvolvimento da planta é acelerado por aumento da Ts (BOWEN, 1991); (ii) o alongamento das raízes individuais e suas ramificações estão correlacionados positivamente com o aumento da Ts até a temperatura ótima (STONE; TAYLOR, 1983); (iii) o declínio da temperatura do solo diminui a condutância estomática e a fotossíntese, influenciando o estado hídrico das plantas (STARR et al., 2004); (iv) a Ts afeta a absorção de nutrientes e sua alocação na planta. A influência da Ts em ambientes heterogêneos e verificaram que o aumento da Ts acelera assimilação e transporte de nutrientes no milho (SOWINSKI et al., 1998). Assim, o estudo da Ts pode contribuir para o entendimento de possíveis problemas relacionados ao desenvolvimento e produtividade das plantas.

2.4 Infiltração e retenção de água no solo

A infiltração de água no solo representa a intensidade máxima que o solo, em dada condição e tempo, pode absorver a água da chuva ou da irrigação, aplicada à determinada taxa. Esse processo não é constante ao longo do tempo e vários são os fatores de solo que interferem na magnitude da infiltração de água no solo.

No PD e no SIPA uma das preocupações está relacionada à possível compactação, redução da porosidade e alteração da capacidade de infiltração de água no solo. No entanto, o pastoreio bem manejado, com excelente cobertura do solo, proporciona condição hidrológica adequada para promover a produtividade da pastagem e limitar a contaminação do ambiente por escoamento superficial (FRANZLUEBBERS; STUEDEMANN; FRANKLIN, 2012). Sistemas com presença de animais em pastejo podem melhorar a estrutura do solo sem proporcionar aumento de D_s e redução de porosidade (MARTINS et al., 2015). Isso contribuiu para maior retenção e infiltração de água em Argissolo franco-arenoso na Nigéria, com carga animal de 300 kg/ha (AJAYI; CHOKOR; ARULEBA, 2011). Esses fatores são dependentes do manejo da altura do pasto e do tipo de cultura utilizado antes do pastejo. Santi et al. (2012) citam que a infiltração e retenção de água apresentou relação linear e direta com as zonas de alta, média e baixa produtividade relativa de grãos de soja e milho, evidenciando sua importância na avaliação de sistemas de produção.

A retenção de água no solo é essencial para os estudos das relações solo-água-plantas, por relacionar o potencial mátrico (Ψ) e a umidade do solo (θ). Ela é de grande utilidade para se estimar valores de Ψ a partir de valores de θ , mais fáceis de serem mensurados. À medida que a água vai sendo drenada do solo e potenciais menores vão sendo obtidos, o Ψ passa praticamente a não depender de fatores geométricos. Assim, a D_s e a porosidade passam a ter pouca importância na determinação da curva de retenção de água (CRA) (REICHARDT; TIMM, 2004). Em contrapartida, a textura do solo assume importância maior, onde solos argilosos tendem a reter mais água em comparação com solos arenosos.

O fator principal para a retenção de água no solo é a textura que determina a área de contato com as partículas do solo. No entanto a compactação do solo, o espaço poroso, a redução da MOS e as alterações na agregação do solo afetam a retenção de água pelo solo. Rawls et al. (2003)

observaram que altos teores de MOS aumentaram a retenção de água em solos de diferentes texturas, especialmente nos arenosos.

A CRA tem potencial para ser utilizada como índice de qualidade física do solo em sistemas de uso e manejo que alterem drasticamente a distribuição e o tamanho de poros (DEXTER, 2004; MARCHÃO et al., 2007). Portanto, essa afirmativa vai de encontro com o objetivo de analisar sistemas intensivos e moderados de pastejo (MARCHÃO et al., 2007). O estudo da retenção de água no solo pela CRA é fundamental para entender a dinâmica da água no solo, com a modelagem de processos físicos do solo e o crescimento das plantas (TORMENA; SILVA, 2002). Por ser influenciada por propriedades intrínsecas do solo e aquelas relacionadas ao manejo, é importante para avaliar os sistemas de cultivos e sua eficiência hídrica.

2.5 Desenvolvimento das plantas

Os sistemas de manejo que exploram o solo de maneira sustentável têm impacto positivo sobre o desenvolvimento das plantas e, conseqüentemente, na eficiência em produzir alimentos. O SIPA possibilita o melhor desenvolvimento das culturas porque melhora a fertilidade, a estrutura física e, conseqüentemente, ocorre um aumento da diversidade biológica (FRANZLUEBBERS; STUEDEMANN, 2013). Assim, há maior aproveitamento dos nutrientes pela planta, o que significa redução da adubação e produção mais eficiente de biomassa vegetal e de grãos.

No entanto, em ambiente com estresse, como em períodos curtos de ausência de água a “estratégia de sobrevivência” das plantas não é aumentar a produtividade, mas sim equilibrar o rendimento com a sobrevivência. O estresse é qualquer fator externo que influencia de maneira prejudicial a planta, induzindo a mudanças de resposta em todos os níveis do organismo, podendo ser reversíveis ou não.

2.5.1 Estresse hídrico e crescimento de plantas

O estresse por falta de água causa uma escala de efeitos na planta, sendo que: (i) o primeiro efeito é biofísico com a diminuição do volume celular,

onde as atividades que dependem do turgor são mais sensíveis, principalmente a expansão celular, que afeta a expansão foliar e o alongamento das raízes; (ii) ocorre redução da transpiração; (iii) inicia o processo de senescência foliar e queda de folhas para o ajuste da área foliar; (iv) ocorre fechamento estomático, limitação da fotossíntese nos cloroplastos devido ao CO_2 e aumento da cerosidade nas folhas e; (v) a perda de calor por evaporação diminui a temperatura foliar e se o estresse hídrico limitar a transpiração, a folha esquenta. Esses processos podem ser desencadeados pela deficiência de água por baixa precipitação ou por ineficiência do sistema de manejo reter e manter a água disponível.

O estresse hídrico mais severo leva à inibição da divisão celular, da síntese de proteínas e da parede celular, ao acúmulo de solutos, ao fechamento estomático e à inibição da fotossíntese. O fechamento estomático ocorre porque aproximadamente 95% da água é perdida pelos estômatos, sendo apenas 5% pela cutícula. Na cultura da soja, a demanda diária de água é de 6 mm e aumenta com o desenvolvimento da cultura, sendo máximo no período de florescimento e mantendo-se alto até a maturação (TOMAS; COSTA, 2010). Na cultivar Nidera 5909 RG, o ciclo da cultura varia de 110 a 135 dias e a necessidade dessa cultura é de aproximadamente 800 mm para suprir a demanda da cultura sem deficiência hídrica.

A deficiência hídrica também está diretamente associada à altas temperaturas e à alta radiação solar, podendo ocorrer formação de compostos oxidativos, altamente reativos e tóxicos capazes de danificar as células (TOMAS; COSTA, 2010). Alta temperatura aliada à deficiência de água pode causar estresse térmico, trazendo alterações na composição e estrutura das membranas, com perda de íons, e inibição da fotossíntese e da respiração afetando, por exemplo, a temperatura da folha.

2.5.2 Temperatura da folha

O balanço de energia da planta pode ser estudado pela temperatura da folha (T_f), que é importante para o controle fisiológico da evaporação e da transpiração das plantas. Essa é uma forma eficiente de dissipar calor proveniente do sol, onde as moléculas de água que escapam para a atmosfera

têm energia maior, promovendo a quebra das ligações que as seguram no líquido. Na folha, quase metade do ganho líquido de calor do sol é dissipado pela transpiração.

O estresse hídrico da planta está relacionado com a redução da transpiração da folha e aumento da T_f , que pode se relacionar com o rendimento da soja (JUNG; SCOTT, 1980). O resfriamento das folhas é considerado um importante papel da transpiração, porque a evaporação de um grama de água da folha absorve de 2,4 a 2,5 KJ de energia da folha e do ambiente. Assim, a transpiração contribui para o resfriamento da folha, o que é fundamental durante o dia, quando a folha está absorvendo quantidade elevada de energia do sol (JUNG; SCOTT, 1980)

A relação da temperatura foliar com a temperatura do ar pode ser usada como indicador da condição hídrica da planta (MILLER, 1972). Ao diminuir a disponibilidade de água, diminui o fluxo de calor latente na superfície da folha, ocorrendo um aumento complementar de calor sensível e criando uma diferença de temperatura maior entre a folha e o ar atmosférico. Ainda, a radiação, a temperatura do ar, a umidade do ar e a velocidade do vento podem modificar a T_f , mascarando indícios de estresse hídrico (FUCHS, 1990).

A T_f , independentemente do horário de avaliação, parece representar melhor a condição da cultura em relação à umidade do solo. Em condições de estresse hídrico, os sistemas sem e com pastejo moderado (altura do pasto entre 20 e 30 cm) tiveram maior homeostase na cultura da soja, pelos maiores valores de potencial hídrico da folha, T_f e menor T_f em relação à do ar, tanto às 4:00 horas e às 12:00 horas (COSTA, 2014).

2.5.3 Fluorescência da clorofila

A fluorescência é uma luz emitida na temperatura ambiente de 20 a 25 °C com um ponto máximo de emissão na faixa de 682 nm e outro em 740 nm (KRAUSE; WEIS, 1984). Na temperatura ambiente, em sua maioria, é emitida pelo PSII e pelo Sistema Coletor de Luz do fotosistema II (PSII). Entretanto, alguma contribuição na região dos comprimentos de onda maiores pode ser emitida pelo fotosistema I (PSI), que parece contribuir para a fluorescência inicial (F_0) (KRAUSE; WEIS, 1984).

A F_0 é a elevação inicial da fluorescência quando do início da iluminação após um período de escuro. O valor F_0 representa a emissão de luz pelas moléculas de clorofilas *a* excitadas, antes de haver dissipação da energia para o centro de reação do PSII (MATHIS; PAILLOTIN, 1981), sendo independente dos eventos fotoquímicos e serve como valor de referência para determinar as outras variáveis da fluorescência. Na indução do sinal, o verdadeiro valor de F_0 é somente observado, quando, antes da iluminação, o acceptor quinona *a* (Q_a) estiver completamente oxidado (KRAUSE; WEIS, 1984). O valor de F_0 pode variar, caso os centros de reação do PSII estejam comprometidos ou se a transferência da energia de excitação da antena para os centros de reação esteja prejudicada (BOLHÀR-NORDENKAMPF et al., 1989), como por exemplo, pelo estresse do ambiente.

Após iluminar o tecido fotossintetizante com luz forte, há um incremento da fluorescência a partir do nível F_0 até atingir o nível máximo. O aumento da fluorescência reflete em um declínio do processo fotoquímico porque o acceptor Q_a torna-se reduzido. Após os elétrons iniciam a saída de Q_a para o *pool* de plastoquinona via quinona *b* e, pós essa depressão, ocorre um incremento na fluorescência até atingir o ponto máximo. Neste, todos os centros de reação tornam-se fechados e a fluorescência atinge o nível máximo, denominada F_m .

Outro parâmetro da cinética rápida da fluorescência é denominado fluorescência variável (F_v), que é o incremento de fluorescência a partir de F_0 até F_m . A razão entre F_m (Q_a reduzida) e F_0 (Q_a oxidada) é aproximadamente 5 a 6 em tecidos fotossintetizantes saudáveis e adaptados no escuro. Entretanto, esta razão pode variar, dependendo da iluminação e dos fatores fisiológicos que afetam principalmente a fluorescência máxima (SCHREIBER et al., 1998). Em ambientes com estresse ocorre o decréscimo na eficiência quântica potencial do PSII, indicado pela queda na relação F_v/F_m (KRAUSE; WEIS, 1991). Em déficit hídrico, ocorre redução da concentração intercelular de CO_2 , devido ao fechamento estomático, gerando decréscimos na assimilação do CO_2 e na eficiência quântica do PSII (BAKER, 2008).

O uso de medições da fluorescência da clorofila *a* para examinar o desempenho fotossintético e estresse em plantas é difundido em estudos fisiológicos e ecofisiológicos (BAKER, 2008). A taxa de fotossíntese pode ser

reduzida em condições de estresse que perturbe ou bloqueie a luz conduzida pelo sistema de transferência de elétrons e do aparelho fotossintético. Condições de estresse que podem ser detectados e suas aplicações subsequentes foram examinados por Lichtenthaler e Rinderle (1988). Entre eles, estão os efeitos da senescência, o déficit hídrico, a lesão mecânica das folhas, a refrigeração, o aquecimento, a deficiência de nutrientes, o estresse químico, a fotoinibição, a exposição à radiação UV-B e os herbicidas inibidores do fluxo de elétrons na fotossíntese.

2.5.4 Produção de biomassa vegetal

A aveia preta (*Avena strigosa*) e o azevém (*Lolium multiflorum* Lam.) são cultivados no inverno no Sul do Brasil, como plantas de cobertura ou para pastejo. A aveia preta é uma planta rústica, exigente em água, com excelente capacidade de perfilhamento, produção de massa verde e resistente a pragas e doenças (MONEGAT, 1991). A produção média de massa seca dessa espécie é de 6 a 8 Mg ha⁻¹ (CALEGARI, 2002). Já, o azevém é uma gramínea anual, cespitosa, que possui folhas finas e tenras, cujo porte chega a atingir 1,2 metros de altura (MONEGAT, 1991). O azevém é uma planta rústica, agressiva e perfilha em abundância, razão pela qual é uma das gramíneas hibernais mais cultivadas no sul do Brasil, tanto para corte como para pastejo, sendo adaptada a temperaturas baixas.

A produção de massa seca de aveia preta + azevém pode variar em função do sistema de manejo dos animais. Martins et al. (2015), mostraram que a biomassa no pasto mantido a 10 cm de altura foi de 4,7 Mg ha⁻¹, com resíduo ao final do pastejo de 1,3 Mg ha⁻¹, e o pasto mantido a 30 cm de altura produziu massa vegetal de 6,9 Mg ha⁻¹ e manteve resíduo de 4,3 Mg ha⁻¹ sobre o solo. A produção de biomassa é importante para a alimentação dos animais e para a manutenção da MOS.

No verão, o cultivo de soja tem grande importância, por ser uma cultura alto valor econômico, considerando apenas a retirada de grãos. A soja cultivada após pastejo leve de ovinos apresentou rendimento de grãos superior à soja cultivada na área sem pastejo (LUNARDI et al., 2008). Assim, a redução de rendimento de soja em sucessão à pastagem de inverno só ocorre quando a

frequência de pastejo é elevada, como por exemplo, com pastoreio a cada 14 dias (NICOLOSO; LANZANOVA; LOVATO, 2006).

No SIPA com soja no verão e aveia preta + azevém no inverno, Martins et al. (2015) observaram que a população inicial de plantas de soja é diferente entre manejos da altura do pasto, variando entre 38 e 45 plantas m², sempre com menores valores para as áreas com pastejo intensivo a 10 cm de altura. Isso refletiu no acúmulo de massa seca, onde a área com pastejo intensivo (altura do pasto à 10 cm de altura) no inverno apresentou menor produção de massa seca em relação ao pastejo moderado (altura do pasto entre 30 e 20 cm), leve (altura do pasto a 45 cm) e sem pastejo. Portanto, é importante investigar esses fatores, que pode estar relacionado ao efeito residual da compactação do solo durante o pastejo, principalmente por retardar o desenvolvimento inicial da soja.

2.5.5 Índice de vegetação por diferença normalizada

O índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) foi proposto para fins de quantificação do crescimento da vegetação. O NDVI é definido como a diferença entre as reflectância (ρ) na região espectral do infravermelho próximo (IVP) e do vermelho (Ver), dividida pela soma delas ($NDVI = (\rho_{IVP} - \rho_{Ver}) / (\rho_{IVP} + \rho_{Ver})$), sendo um dos índices de vegetação mais utilizados (ASRAR et al., 1984). O NDVI varia de -1 a +1 e os valores negativos representam as nuvens, zero representa o solo sem vegetação e os valores maiores que zero representam a vegetação.

O NDVI é utilizado no monitoramento espacial e temporal das variações das atividades fotossintéticas e das propriedades biofísicas (XAVIER; VETTORAZZI, 2004). Isto, porque os índices de vegetação relacionam as características da vegetação com parâmetros biofísicos, possibilitando estimar parâmetros como o índice de área foliar, biomassa vegetal, produtividade e atividade fotossintética.

O NDVI tem sido correlacionado com muitas variáveis, tais como; deficiência de nutrientes das culturas, rendimento final de grãos e estresse hídrico a longo prazo, no entanto, o uso principal do NDVI deve ser como uma medida do crescimento de plantas e produção de biomassa (GOVAERTS;

VERHULST, 2010). A aplicação dos dados de NDVI, facilmente adquiridos e interpretados, permitiu a detecção de alterações nos padrões fenológicos associados aos regimes de gestão da terra e sua modulação pelo clima (DURANTE; OYONARTE; VALLADARES, 2009).

Nesse sentido o NDVI pode ser considerado como uma ferramenta útil no monitoramento do desenvolvimento de plantas, principalmente em sistema de manejo com necessidade de monitoramento da biomassa, como em sistemas integrados com pastejo de bovinos.

2.6 Métodos de terminação do pasto em sistema integração lavoura-pecuária nos Estados Unidos da América

A região Sudeste dos Estados Unidos da América (EUA) é caracterizada por solos pobres e abundante precipitação, mas que geralmente é irregular, ocorrendo em excesso no inverno e escassa no verão (FRANZLUEBBERS, 2007). Em função disso, o uso de sistemas conservacionistas são indicados porque aumentam os teores de MOS. Entretanto, o uso de animais no inverno, aliado às condições de alta umidade do solo tem causado compactação (FRANZLUEBBERS; STUEDEMANN, 2008a), com impacto negativo nas culturas de verão (FRANZLUEBBERS; STUEDEMANN, 2014). Esse fato tem indicado a necessidade de alternativas para romper a camada compactada.

Os métodos de terminação das pastagens incluem aplicação de herbicidas e uso de implementos como o arado de disco e a grade aradora. Na rescisão com herbicidas a biomassa dessecada se concentrara na superfície do solo, sendo incorporada no solo de forma lenta. Já em sistemas com uso de grade aradora e arado de disco ocorre a incorporação da MOS após o termino do pastejo, sendo que o uso de grade aradora fragmenta mais o solo e por isso a incorporação é mais homogênea. Esses diferentes sistemas de terminação do pasto resultarão em alterações na MOS e, conseqüentemente, na sua estrutura física, fertilidade e microbiota do solo.

2.6.1 Manejo do solo em plantio direto e preparo convencional nos Estados Unidos da América

A produção agrícola em PD aumentou nos EUA à medida que os produtores buscaram reduzir os custos de insumos, a mão-de-obra e cumprir os programas de conservação do solo exigidos pelo governo. No entanto, o milho em PD não aumentou na proporção da soja (DEFELICE; CARTER; MITCHELL, 2006). Muitos questionamentos têm surgido principalmente em experimentos de lavoura comparando rendimento e rentabilidade entre PD e PC, muitas vezes com resultados contraditórios.

Uma extensa revisão bibliográfica de pesquisas publicadas localizou 61 ensaios de milho, que compararam rendimentos de 0,5% maiores no PC em relação ao PD (DEFELICE; CARTER; MITCHELL, 2006). No entanto, o PD tende a produzir maiores rendimentos de milho do que o PC no Sudeste, Sul e Oeste, produção semelhante no Nordeste e menores na região central dos EUA. Os estudos de (ENDALE et al., 2008) no Sudeste dos EUA, mostraram que após 5 anos de PD o rendimento de grãos de milho foi de 11% maior no PD, em comparação com PC. Em SIPA, a redução da produção de milho, em área de alto potencial produtivo na Geórgia, ocorreu nos três primeiros anos e, em geral, a menor produtividade das culturas ocorreu quando plantas de cobertura são pastejadas por bovinos no verão (FRANZLUEBBERS; STUEDEMANN, 2014).

Alguns fatores podem ajudar a justificar os questionamentos em relação à produção de milho em SIPA com uso de PD e PC. A emergência e o desenvolvimento das plântulas podem ser retardados no PD em comparação com o PC, porque as temperaturas do solo na primavera tendem a ser mais baixas e os níveis de umidade do solo tendem a serem maiores em PD, causando atraso na emergência das plântulas e, posteriormente, na época de colheita, resultando em menores rendimentos (DEFELICE; CARTER; MITCHELL, 2006).

A conservação e retenção da umidade do solo é um benefício para o PD em condições secas e em solos moderados a bem drenados; no entanto em solos mal drenados tendem a reduzir os rendimentos em comparação com o PC (DEFELICE; CARTER; MITCHELL, 2006). Busari et al. (2015) citam que solos de textura fina e pouco drenados são melhores para o PC e solos bem drenados com textura leve a média e baixo teor de húmus, o PD parece ser vantajoso.

2.6.2 Matéria orgânica no solo

As áreas com altos teores de MOS nos EUA incluem zonas húmidas ao longo da fronteira com o Canadá, no Nordeste e ao longo das costas do Atlântico e do Golfo (BLISS et al. 2014). Existem áreas de solos mal drenados com altos teores de MOS na Dakota do Norte para o centro de Iowa e a alta precipitação pluvial e solos vulcânicos contribuem para a retenção de MOS no Noroeste do Pacífico, enquanto que no Texas, alta MOS são evidentes em solos argilosos (BLISS et al. 2014). Os solos do Sudeste dos EUA, incluindo o estado da Carolina do Norte, são diversos, devido à complexidade dos fatores que contribuem para a formação, predominando Ultisols, fortemente lixiviados com baixa fertilidade e MOS, e Alfisols, moderadamente lixiviados com alta fertilidade nativa e MOS (FRANZLUEBBERS, 2007).

A dinâmica da MOS é altamente dependente da temperatura, sendo, portanto, mais lenta em regiões de clima temperado (GRISI et al., 1998). Outro fator relevante para a MOS é a textura, que interfere na sua proteção. Isso foi observado por (GRISI et al., 1998), onde em solos franco-arenoso de clima temperado houve redução da proteção da MOS que comportara-se, em termos de seu conteúdo MOS, de forma parecida com os solos tropicais. Essa informação é relevante, já que os solos do Sudeste dos EUA são, em sua maioria, arenosos e o revolvimento pode reduzir os estoques de C.

No PD ocorre aumento da MOS na camada superficial (0-3 cm), devido ao acúmulo de biomassa na superfície do solo e no PC há maior MOS na camada subsuperficial (3-20 cm), devido à incorporação física imediata, movimento da MOS pelos poros e maior atividade de raízes (FRANZLUEBBERS; SCHOMBERG; ENDALE, 2007). Segundo esses autores, as mudanças ocorrem a curto prazo, onde o C orgânico do solo, na camada até 12 cm, permaneceu estável no PC e aumentou no PD. Mesmo em curto prazo, essas alterações na MOS têm impactado negativamente na produção de biomassa nas culturas de milho e de soja no verão (FRANZLUEBBERS; STUEDEMANN, 2014), que pode ocasionar redução da produtividade de grãos.

No SIPA ocorre redução na quantidade de biomassa seca adicionada, em função do pastejo (BONETTI et al., 2015; FRANZLUEBBERS; STUEDEMANN, 2014), o que aliado ao revolvimento do solo resulta em redução

da MOS. De fato, o revolvimento do solo expõe a MOS ao ataque de microrganismos, acelerando a decomposição dos resíduos e reduzindo os estoques de carbono (C) ao longo dos anos. No entanto, o pastejo das culturas de cobertura no inverno pode não ter efeitos negativos nas frações de C e o cultivo em PD após o término da pastagem perene pode preservar a distribuição estratificada das frações de C biologicamente ativas do solo (FRANZLUEBBERS; STUEDEMANN, 2015).

As divergências de resultados em áreas de PC, PD e SIPA têm evidenciando a necessidade de maiores investigações do impacto do manejo no solo nos atributos relacionados a MOS na região Sudeste dos EUA.

2.6.3 Nitrogênio no solo

O nitrogênio (N) é um elemento essencial para o desenvolvimento das plantas e tem sido considerado um dos principais problemas na gestão ambiental, no que diz respeito ao impacto no ambiente (EEA, 2009). Assim, sistemas de manejo com aporte de MOS são desejados, tanto pelo uso do N orgânico presente na MOS, quanto pela redução da aplicação de N.

A mineralização da MOS fornece N às plantas em proporção à quantidade de MOS presente, características químicas dos resíduos das plantas, temperatura do solo e condições de umidade do solo (WANG; SMITH; CHEN, 2004). Estudos têm demonstrado que no meio Oeste dos EUA, em solos férteis e com altos teores de MOS (Mollisols), a absorção de N pelo milho, em áreas sem adubação de N, pode chegar de 80 a 150 kg N ha⁻¹ (CARPENTER-BOGGS et al., 2000; SAWYER et al., 2015). Em contraste, o fornecimento de N da MOS em solos degradados do Sudeste dos EUA pode ser de apenas 30 a 60 kg N ha⁻¹ (FRANZLUEBBERS, 2007). Isso evidencia a importância da gestão de terras com objetivo de aumentar a disponibilidade de N pela MOS.

Mais de 95% do N no solo encontra-se complexado pela MOS na forma orgânica (CAMARGO et al., 2008), mesmo que o nitrato e o amônio possam ser adicionados em fertilizantes ou pode ocorrer naturalmente. O N total do solo está sujeito a processos semelhantes aos da MOS e, muitas vezes, segue de perto os mesmos padrões (GREGORY et al., 2016). A disponibilidade do N orgânico para as plantas vai depender da mineralização e imobilização,

resultante da degradação da MOS pelos microrganismos durante os cultivos. A mineralização ocorre pela atividade enzimática da microbiota heterotrófica do solo, pela transformação do N de origem orgânica para inorgânica, como NH_4^+ ou NH_3 e a imobilização é o processo de transformação de N inorgânico para formas orgânicas microbianas (CAMARGO et al., 2008).

Em diferentes sistemas de manejo do solo, o N orgânico tem relação com a quantidade e posição da MOS no perfil (GREGORY et al., 2016). Aumento no N total do solo em PD de longo prazo ocorreu na camada de 0-3 cm, e em curto prazo no PC houve maior N total na camada de 6-12 cm, (FRANZLUEBBERS; SCHOMBERG; ENDALE, 2007). O maior teor de N total ao longo do tempo, na camada superficial, é resultado da deposição de biomassa na superfície do solo e, na camada de 6-12 cm, é reflexo da deposição de MOS em camadas mais profundas, devido ao revolvimento do solo.

Assim, investigar os impactos do manejo do solo na dinâmica da MOS e, conseqüentemente, do N pode ter impacto social e econômico, com redução da contaminação do meio ambiente via lixiviação do N aplicado e redução dos custos de produção.

2.6.4 Atributos biológicos do solo

Os diferentes sistemas de manejo do solo, bem como a degradação da MOS e a disponibilidade do N nela contido são fatores conectados com os microrganismos do solo. O aumento da MOS favorece o desenvolvimento e a atividade da microbiota do solo. Franzluebbbers e Haney (2006) sugeriram uma gama de atributos do solo que podem ser utilizados para avaliar sua qualidade, sendo que a avaliação da atividade microbiana do solo pelo fluxo de $\text{CO}_2\text{-C}$, potencial de C mineralizável e C da biomassa microbiana do solo estão entre os mais importantes.

O fluxo de $\text{CO}_2\text{-C}$ no solo está altamente relacionado com o C da biomassa microbiana do solo, potencial de C mineralizável do solo, C e N total do solo e C orgânico particulado do solo (FRANZLUEBBERS; SCHOMBERG; ENDALE, 2007). Estudos têm demonstrado que a quantidade e atividade dos microrganismos são maiores em sistemas de manejo como PD e SIPA (CLEGG, 2006; FRANZLUEBBERS, 2007). Os animais em pastejo podem desempenhar

um papel importante na biomassa microbiana do solo, por uma série de fatores específicos associados à presença de bovinos. Por exemplo, o pastejo adiciona fezes e urina, que causam mudanças nos padrões de exsudação da rizosfera, na composição botânica e na estrutura e aeração do solo, devido à compactação animal (CLEGG, 2006). As entradas de urina dos bovinos nos solos resultam em aumentos na respiração, em emissões de N_2O e NO_2 e aumento na biomassa microbiana no solo (LOVELL; JARVIS, 1996).

Quando ocorre o revolvimento do solo, há um aumento imediato da atividade microbiana, devido ao aumento da exposição do C pela quebra de agregados do solo. Em curto prazo, isso significa aumento da atividade microbiana do solo, mas em longo prazo pode ocorrer redução do estoque de C no solo. Resultados de Franzluebbbers; Schomberg e Endale (2007) mostraram que a mineralização potencial de C durante 24 dias de incubação foi altamente estratificada em profundidade e em todos os eventos de amostragem, foi maior no PC do que no PD, exceto na camada 0-3 cm. Os autores afirmam ainda que não houve diferença no C da biomassa microbiana do solo entre os sistemas de preparo do solo e o fluxo de CO_2 -C do solo foi maior no PC que no PD até 4 anos, mas não foi diferente no sétimo ano do estudo.

Portanto, os atributos biológicos do solo são importantes para avaliar o impacto do manejo na qualidade do solo, devido a sua maior sensibilidade as alterações do microambiente.

3 CAPÍTULO II. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Experimento em São Miguel das Missões-RS, Brasil

A área experimental fica localizada no município de São Miguel das Missões-RS, 29°03'10" S, 53°50'44" O, com altitude média de 465 m, clima subtropical úmido e quente (Cfa) segundo a classificação de Köppen (KOTTEK et al., 2006), com temperatura média anual de 19°C e precipitação média anual de 1900 mm (CEMETRS, 2017). No período de realização deste trabalho, abril de 2014 a abril 2015, a temperatura média foi de 19,7°C e a precipitação de 2280 mm. O solo é classificado como Latossolo Vermelho Distroférico (EMBRAPA, 1997) profundo, bem drenado, com coloração vermelho-escura e o relevo é ondulado a suavemente ondulado com declividade entre 0,02 a 0,10 m m⁻¹.

O manejo em semeadura direta iniciou em 1993 com cultivo de aveia preta (*Avena strigosa*, Schre) no inverno, para produção de sementes e soja (*Glycine max*) no verão. No ano de 2001 iniciou o sistema integrado de produção agropecuária (SIPA) com consorcio de aveia preta e azevém (*Lolium multiflorum*, Lam.) no inverno, pastejada por bovinos e o cultivo de soja no verão. A área total do experimento é de 22 hectares, dividida em parcelas de 0,8 a 3,5 hectares para o pastejo dos animais e 0,1 hectares para manutenção do PD sem pastejo de bovinos. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com três repetições e os tratamentos foram definidos pelo manejo da altura do pasto no inverno, sendo: a 10 cm (pastejo intenso), 20 e 30 cm (pastejos moderados), 40 cm (pastejo leve) (P10, P20, P30 e P40, respectivamente) e sem pastejo (SP).

Em 17 abril de 2014, no cultivo de inverno, foi semeada 60 kg ha⁻¹ de aveia preta objetivando atingir 300 plantas m⁻², com adubação de 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅, 90 kg/ha de K₂O e 20 kg ha⁻¹ de nitrogênio (N), como adubação de base e mais 130 kg ha⁻¹ de N aplicados em cobertura, divididos em três épocas,

totalizando 150 kg ha⁻¹ de N. A adubação considera as análises de solo com expectativa para produtividade de 7,0 Mg ha⁻¹ de matéria seca de pasto e de 4,0 Mg ha⁻¹ de grãos de soja (CQFS RS/SC, 2004). Bovinos jovens com peso médio de 200 kg peso vivo (PV) entraram na área no dia 02 de junho de 2014 para o pastejo contínuo, período em que a pastagem atingiu um acúmulo médio de 1500 kg de MS ha⁻¹, permanecendo por 152 dias. A carga animal média dos últimos 14 anos de pastejo foi de 1297, 928, 601 e 342 kg de PV/ha para manter o pasto a 10, 20, 30 e 40 cm de altura, respectivamente, com poucas variações (MARTINS et al., 2015). Essas cargas de animais se traduzem em taxas de lotação de aproximadamente, 4,5; 3,0; 2,0 e 1,0 animais ha⁻¹ considerando média 300 kg de PV. A altura do pasto foi medida a cada 14 dias pelo método Sward stick (BIRCHAM, 1981) e quando maior ou menor que o valor estabelecido pelo tratamento, animais eram retirados ou adicionados, respectivamente.

Em 28 de novembro de 2014, foi realizada a semeadura da soja, cultivar Nideira 5909 RG, com espaçamento de 0,45 m e população média de 300 mil plantas por hectare. A adubação para a soja tinha sido realizada na semeadura da aveia cultivada anteriormente e o controle de plantas daninhas, pragas e doenças foi realizado de acordo com recomendações técnicas. A colheita ocorreu em 17 de abril de 2015, para determinar a produtividade de grãos. Esses procedimentos vêm sendo repetidos desde 2001, com pequenas alterações relacionadas à cultivar de soja e à quantidade e época de adubação. Após o ciclo de pastejo, os animais em pastejo foram pesados para determinar o PV por área.

Os dados climatológicos foram monitorados por uma estação meteorológica (Vantage Pro 2, Davis, Hayward, USA), instalada na área experimental, disponibilizando dados de temperatura do ar, precipitação, umidade relativa do ar, evapotranspiração e radiação solar.

3.2 Experimento de Goldsboro-NC, Estados Unidos da América

O experimento foi desenvolvido no *Center for Environmental Farming Systems* em Goldsboro, Carolina do Norte (35°22' N, 78°02' W), em solo mapeado como *Typic Hapludults*, bem drenado, fração de argila moderadamente

permeável entre 8-15% na camada de 0-15 cm. A temperatura média anual é de 16,7 °C e a precipitação média anual de 1.198 mm (NC CRONOS Database, 2016).

A área experimental foi implantada em 1997 (MUELLER et al., 2002), composta por três blocos com 6,3; 8,5 e 4,0 hectares em SIPA com pastejo de bovinos por seis anos e cultivo de grãos por seis anos. Essas parcelas foram pastejadas de 1998 a 2004 e de 2010 a 2015. O cultivo de grãos foi de 2005 a 2010 (milho, sorgo granífero, trigo / soja, sorgo, milho, trigo / pousio) e trigo ou centeio como cobertura de inverno.

Antes do início do cultivo de grãos na safra 2016 foram utilizados diferentes métodos de terminação da pastagem, sendo: (i) plantio direto com pulverização química, (ii) uso de arado de disco e (iii) uso de grade aradora. Foram cultivadas plantas de estação fria, tall fescue (*Schedonorus arundinaceus* Schreb.) e plantas de estação quente composta por uma mistura de espécies nativas, sendo; big bluestem (*Andropogon gerardii*), switchgrass (*Panicum virgatum*), indiagrass (*Sorghastrum nutans*), e eastern gamagrass (*Tripsacum dactyloides*).

4 CAPÍTULO III. RESILIÊNCIA DO SOLO EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO SOJA- BOVINOS DE CORTE COM DIFERENTES MANEJOS DA ALTURA DO PASTO

4.1 Introdução

Nos últimos 40 anos, a agricultura brasileira gradativamente vem substituindo o preparo convencional (PC) pelo plantio direto (PD). Esses sistemas possuem muitos contrastes ao longo de todo o processo produtivo, com destaque para a mobilização do solo intensa no PC e mínima no PD.

O PD contribuiu para reduzir a erosão do solo, que atingia até 10 toneladas/hectare de perdas de solo para cada tonelada de grãos produzida, principalmente quando precipitações intensas, típicas do Brasil, sucediam o revolvimento do solo praticado no sistema convencional (FREITAS; LANDERS, 2014). Esse sistema de manejo com revolvimento mínimo do solo tem sido definido como tecnologia em conformidade com os desejos pessoais e sociais para o desenvolvimento sustentável (LANDERS, 2005). Entretanto, o monocultivo praticados com intensa mecanização ao longo do tempo condicionaram que muitas áreas tenham baixo teor de matéria orgânica do solo (MOS) e elevado grau de compactação. Esses problemas se agravam em áreas que sofrem intensa remoção de biomassa e pisoteio na atividade de engorda de bovinos no inverno/primavera (NICOLOSO et al., 2008).

Em função disso, os sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA), estão sendo objetos de muitos estudos no Brasil, a fim de definir opções de manejo que melhorem a qualidade global do solo, nos seus atributos físicos, químicos e biológicos (CARVALHO et al., 2010). Estudos indicam que o manejo planejado com culturas e animais gera grandes benefícios para o ambiente e para o desenvolvimento de um sistema de produção agrícola pela: (i) utilização

mais eficiente dos recursos naturais, (ii) valorização processos naturais de controle de pragas, (iii) redução da perda de nutrientes e conseqüente risco ambiental e (iv) a melhoria da estrutura do solo e produtividade dos cultivos (FRANZLUEBBERS, 2007).

Um dos grandes esforços tem sido encontrar condições adequadas de sinergismo do SIPA (lucratividade com a produção de carne e grãos e melhoria do solo e do ecossistema), orientados pela quantidade de biomassa que deve estar presente na área durante e após o pastejo dos animais. Estudos indicam que o aumento da compactação do solo e redução da porosidade por pisoteio dos animais ocorre apenas próximo da superfície do solo e que essas alterações são recuperadas durante o cultivo seguinte (no caso a soja) devido à resiliência do solo, principalmente nos locais em que se mantém maior altura do pasto (CONTE et al., 2011; COSTA, 2014).

Resiliência é a capacidade que o solo possui de se recuperar, de forma antropogênica ou natural, quando submetido a um estresse (BLANCO-CANQUI; LAL, 2010). Recuperação do solo foi relatada por Gregory et al. (2007) que, ao estudarem o conteúdo de água e a resistência a penetração do solo, verificaram que houve aumento da resiliência no solo argiloso depois do tráfego, sendo controlada pelo conteúdo de água nos poros. As mudanças temporais de propriedades do solo indicam que a resiliência é fator importante para restabelecer a funcionalidade do solo após ter sofrido alguma degradação (GREGORY et al., 2007).

A resiliência é influenciada principalmente pela mineralogia, textura e MOS. A mineralogia e a textura são condicionantes da compactação, pois solos argilosos, principalmente com argilas 2:1, possuem maior capacidade de retenção de água, o que diminui a coesão e o atrito e aumenta a susceptibilidade à compactação. Para (GREGORY et al., 2007), a maior umidade do solo na superfície afeta sua resistência à compactação e o torna mais susceptível à deformação plástica do que o solo mais seco na camada superficial. A MOS pode amortecer a carga aplicada na superfície do solo (BRAIDA et al., 2006), mas pode aumentar a susceptibilidade interna do solo à compactação por reter mais água. Também, por isso, a MOS pode aumentar a elasticidade pelo aprisionamento de bolhas de ar no solo durante a aplicação de uma carga e isso

contribui para a expansão do solo após a ausência de carga (HILLEL, 1998; PERDOK; KROESBERGEN; HOOGMOED, 2002).

A MOS também controla a resistência e a resiliência dos solos ao atuar na estabilização dos agregados e endurecimento do solo, reduzindo o efeito da compactação (ARTHUR et al., 2012). Entretanto, outras pesquisas, como a de (ZHANG; HORN; HALLETT, 2005), indicam que a MOS pode tanto reduzir a capacidade de suporte de carga como aumentar a resistência do solo à deformação, por estar relacionada aos mecanismos de ligação entre partículas. Este último mecanismo ocorre pelo aumento da agregação do solo em sistemas de cultivo com maior adição de MOS, como o SIPA (SOUZA et al., 2010).

Portanto, o conhecimento da capacidade do solo se recuperar de perturbação ao longo do tempo é necessário para identificar e adotar o uso adequado da terra e estratégias de gestão em relação à produtividade desejada (BLANCO-CANQUI; LAL, 2010). O objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade física e a capacidade de resiliência e recuperação do solo, cultivado com soja no verão e aveia preta + azevém pastejado por bovinos no inverno em ambiente subtropical.

4.2 Material e métodos

A descrição e caracterização do protocolo experimental a que se refere o presente estudo foram apresentadas no Item 3.1. do Capítulo 3. Em função disso, descreve-se, a seguir, as etapas relativas ao presente trabalho. As amostragens de solo na área experimental em São Miguel das Missões RS foram realizadas em 10 de novembro de 2014, período entre a retirada dos animais e a semeadura da soja, e em 17 abril de 2015, após a colheita da soja. Foram coletadas amostras em triplicatas por parcela, em três camadas de solo (0-5, 5-10 e 10-20 cm) utilizando anéis de 2,5 cm de altura e 6,75 cm de diâmetro, 90 cm³, para determinar a macroporosidade (Ma), densidade do solo (Ds) e os índices de resiliência do solo. Amostras de solo sem estrutura preservada foram coletadas em triplicatas, simultaneamente ao lado dos mesmos locais, destorroadas, peneiradas em malha de 2mm e secas a 45°C em estufa até peso constante, para a determinação do teor de MOS, textura e a mineralogia do solo.

Foi amostrado e analisado o solo de uma área de mata nativa (MN), próxima do experimento para a obtenção de valores de referência da condição original do solo.

A análise granulométrica foi realizada seguindo o método da pipeta (RUIZ, 2005). A composição mineralógica da fração argila total do solo foi determinada por difração de raios-X (marca Bruker, modelo D2 *Advance diffractometer*). A difratometria de raios-X foi realizada em amostras de argila em pó na faixa angular de 4 a 80° 2 θ , com incremento 0,02° 2 θ e tempo de leitura de 0,04s. Os minerais foram identificados com base nos dados de difração relatados por Brindley e Brown (1980).

O teor de MOS foi determinado por combustão úmida (TEDESCO et al., 1995). Foi pesado entre 0,5 g e 2 g de solo (0,5 g para solo com 4-10 % MOS, 1,0 g para solo entre 2 e 4 % MOS e 2 g para solo com menos de 2 % MOS), adicionado 10 ml de K₂Cr₂O₇ 1,25 mol_c L⁻¹, 20 ml de H₂SO₄ concentrado, aquecendo-se no bico de Bunsen até atingir 150 °C. Após esfriar, adicionou-se 50 ml de água destilada, transferiu-se para uma proveta de 100 ml ajustando a esse valor e titulou-se 50 ml do sobrenadante com FeSO₄ 0,25 mol_c L⁻¹ até a cor mudar de verde para vermelho.

Os atributos físicos do solo foram determinados seguindo metodologia proposta pela EMBRAPA (1997). As amostras com estrutura preservada foram saturadas com água por 24 horas, e submetidas a uma tensão de 6kPa em mesa de tensão. A relação entre o conteúdo volumétrico de água na amostra e o volume do anel, determinados na saturação e a 6 kPa foram usados como estimativa da porosidade total e da microporosidade, respectivamente, usados para calcular a macroporosidade (Ma) por diferença. A D_s foi determinada pela divisão da massa de solo seca a 105 °C por 48 horas pelo volume do anel.

A resiliência do solo foi determinada de acordo com a proposta de Herrik e Wander (1998), usando como indicadores de resiliência a D_s e Ma. Nas análises de atributos físicos, foi considerada a condição inicial para determinar a resiliência do solo, antes da compactação em laboratório (condição A). As amostras foram saturadas e colocadas na tensão de 6kPa na mesa de tensão. Após cessar a drenagem, elas sofreram degradação da estrutura por compressão uniaxial, foram saturadas novamente e drenadas na mesa de tensão a 6kPa, sendo essa a condição após a compactação em laboratório

(condição C0). A degradação da estrutura do solo foi realizada pela compactação do solo com uma pressão contínua de 200 kPa, por uma força vertical de 76,28 kgf, durante 5 minutos. A diferença entre a borda superior do anel e a superfície da amostra (h, cm), para o cálculo de alteração de volume, foi quantificada com paquímetro digital, em quatro pontos previamente definidos na borda dos anéis.

Após, as amostras foram submetidas a quatro ciclos de secagem e umedecimento, os quais foram denominados de condição C1, C2, C3 e C4. Cada ciclo completo de secagem e umedecimento consistiu em saturar as amostras por 12 horas, drená-las em tensão de 5 cm em mesa de tensão por 24 horas, “secar” em estufa a 40°C por 24 horas, saturar novamente por 12 horas e colocar em tensão de 6 kPa em mesa de tensão. Ao final de cada ciclo, a diferença entre a borda superior do anel e a superfície da amostra, h, foi quantificada com paquímetro digital, semelhantemente ao descrito em C0. Ao final, as amostras foram secas em estufa a 105 °C por 48 horas, para o cálculo das Ds. Sempre que as amostras eram retiradas da mesa de tensão a 6kPa elas eram pesadas para determinação da Ma. A Ds e a Ma em cada condição foram calculadas, subtraindo-se da altura do anel o valor de h, para cálculo do volume de solo em cada condição.

Os índices de resiliência (Res) e de recuperação (Rec) do solo foram calculados pelas equações:

$$\text{Resiliência} = (X_{C4} - X_{C0}) / (X_A - X_{C0}) \quad (\text{Equação 1})$$

$$\text{Recuperação} = (X_{C4} - X_{C0}) \quad (\text{Equação 2})$$

em que X são os valores dos atributos físicos Ds ou Ma nas condições A, C0 e C4.

Os resultados foram submetidos à análise de variância pelo teste de F e, quando significativo, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey à 5 % de probabilidade de erro, utilizando o seguinte modelo estatístico para a análise da variância:

$$Y_{ijk} = \mu + B_i + A_j + \text{erro } a_{(i,j)} + C_k + \text{erro } b_{(i,k)} + AC_{(jk)} + \text{erro } c_{(i,j,k)} \quad (\text{Equação 3})$$

sendo B = blocos (i = 1,2,3); A = manejo da altura do pasto (j = 1,2,3,4); C = camada do solo (k = 1,2,3). A mata nativa não foi incluída na análise por se tratar apenas de área de referência.

As análises de regressão foram realizadas utilizando o programa Sigma Plot, sendo considerado ($p \leq 0,01$).

4.3 Resultados e discussão

A composição granulométrica do solo estudado foi semelhante entre os tratamentos (Tabela 1). O solo é de origem basáltica, sendo intemperizado, e com mais de 75% da sua composição formada de silte e argila e 25% de areia.

Tabela 1. Granulometria do solo⁽¹⁾ em diferentes alturas de manejo do pasto no sistema integrado soja-bovinos de corte em semeadura direta de longa duração e da mata nativa na safra 2014/15

Manejo do pasto ⁽²⁾	Argila	Silte	Areia grossa	Areia fina
	-----g kg ⁻¹ -----			
P10	613	144	111	132
P20	626	161	102	111
P30	635	143	125	097
P40	572	156	097	175
SP	587	175	127	111
MN	623	154	108	115

⁽¹⁾ Latossolo Vermelho Distroférico. ⁽²⁾ P10, P20, P30 e P40: manejo altura pasto a 10, 20, 30, 40 cm, respectivamente. SP: sem pastejo. MN: mata nativa.

Com base na análise mineralógica pode ser observada a presença de minerais como quartzo e argilominerais como hematita, caulinita e maghemita (Figura 1) com composição semelhante entre as camadas do solo.

A presença de minerais 1:1 e a não detecção de minerais 2:1 indica baixa capacidade de expansão e contração do solo. No entanto, solos com presença de caulinita (Figura 1), também manifestam contração e expansão, e isso está relacionado à variação das forças associadas aos meniscos de água nas interfaces sólido-líquido-ar e ao arranjo flexível de cristalitos de caulinita de pequena dimensão (KÄMPF; CURI, 2003). O aumento nos teores de hematita e goethita, aparentemente foram mais importantes no incremento da macroporosidade em Latossolo Vermelho Distroférico (GHIDIN et al., 2006) e isso ocorre em função dos óxidos favorecerem a formação de estruturas menores com formato mais esférico (CHAGAS et al., 1997), responsáveis pelo desenvolvimento da estrutura do solo (FERREIRA; FERNANDES; CURI, 1999).

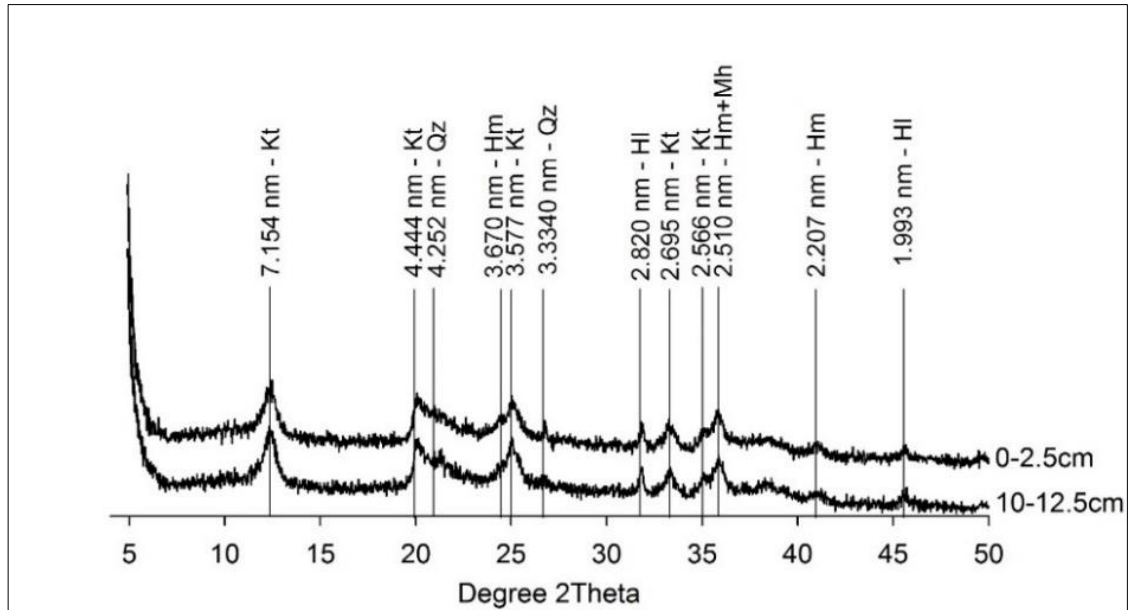


Figura 1. Difratoograma de raios X da fração argila em duas camadas do solo⁽¹⁾ no sistema integrado soja-bovinos de corte em semeadura direta de longa duração na safra 2014/15. ⁽¹⁾ Latossolo Vermelho Distroférico. Kt: caulinita; Qz: quartzo; Hm: hematita; Hl: halita; Mh: maghemita

O teor de MOS foi maior no SP em comparação com o P10 e P20 nas camadas de 0-5 e 5-10 cm, e em comparação ao P10 na camada de 5-10 cm (Tabela 2). Pode ser observado menor teor MOS nas camadas mais profundas do solo. A menor MOS no P10 e P20, refletem as alterações provocadas pelo manejo do solo ao longo dos anos, com destaque para a remoção da biomassa e o aumento da compactação, dificultando o enraizamento das plantas.

Tabela 2. Teor de matéria orgânica nas camadas do solo⁽¹⁾ em diferentes alturas de manejo do pasto no sistema integrado soja-bovinos de corte em semeadura direta de longa duração após a saída dos animais e da mata nativa em novembro de 2014

Manejo do pasto ⁽²⁾	Camada do solo (cm)			Média
	0-5	5-10	10-20	
	-----g kg ⁻¹ -----			
P10	27,57 b A	13,91 b B	11,78 ^{ns} B	17,75
P20	27,73 b A	16,40 ab B	11,89 C	18,67
P30	29,26 ab A	17,00 ab B	11,41 C	19,22
P40	30,78 ab A	16,42 ab B	12,17 C	19,79
SP	31,55 a A	18,05 a B	13,66 C	21,09
MN	42,00	27,98	19,96	29,98

⁽¹⁾ Latossolo Vermelho Distroférico; ⁽²⁾P10, P20, P30 e P40: manejo altura pasto a 10, 20, 30, 40 cm, respectivamente. SP: sem pastejo. MN: mata nativa. Letras minúscula comparam tratamentos na coluna e letras maiúscula camadas na linha.

Foi observado maior Ds no P10 e P20 após o pastejo e P10, P20 e P30 após o cultivo de soja (camada 0-5 cm), ambas situações comparadas com o SP (Tabela 3). Entre as camadas, após o pastejo os resultados mostram menor DS na camada 0-5 cm no P30, P40 e SP e após cultivo de soja em todos os tratamentos (camada 0-5 cm), comparando com as demais camadas.

Os resultados mostram relação entre a altura do pasto e a alteração na porosidade, onde as menores alturas de pastejo apresentam menor Ma, após os pastejo e após cultivo de soja, sendo que essas ocorrem apenas na camada superficial (0-5 cm). Nesta camada, foi observado após pastejo, maior Ma no SP, e após cultivo de soja, maior Ma no P10, P30, P40 e SP, comparando com as demais camadas (5-10 e 10-20 cm) do solo. A compactação nos pastejos mais intensos, como P10 e P20, na camada superficial do solo (0-5 cm) já foram observadas por várias pesquisas em SIPA, mas esses valores nem sempre são considerados restritivos para o desenvolvimento das plantas (BONETTI et al., 2015; CONTE et al., 2011).

Tabela 3. Densidade e macroporosidade do solo⁽¹⁾ após o pastejo (2014) e após o cultivo de soja (2015) em diferentes alturas de manejo do pasto no sistema integrado soja-bovinos de corte em semeadura direta de longa duração e da mata nativa

Manejo do pasto ⁽²⁾	Após pastejo			Após soja		
	Camada de solo					
	0-5	5-10	10-20	0-5	5-10	10-20
Densidade do solo (Mg m⁻³)						
P10	1,42 a	1,37	1,42	1,22 a B	1,38 A	1,39 A
P20	1,34 a	1,40	1,40	1,25 a B	1,40 A	1,39 A
P30	1,30 ab B	1,42 AB	1,44 A	1,18 a B	1,34 A	1,37 A
P40	1,27 ab B	1,42 AB	1,44 A	1,05 b B	1,35 A	1,36 A
SP	1,16 b B	1,44 A	1,40 A	1,04 b B	1,35 A	1,38 A
MN	1,08	1,00	1,03	1,08	1,00	1,03
Macroporosidade do solo (m³ m⁻³)						
P10	0,09 b	0,11	0,11	0,19 ab A	0,14 AB	0,13 B
P20	0,10 b	0,09	0,09	0,12 a	0,11	0,11
P30	0,15 ab	0,12	0,09	0,20 bc A	0,15 AB	0,12 B
P40	0,13 ab	0,13	0,10	0,27 c A	0,12 B	0,12 B
SP	0,18 a A	0,12 AB	0,11 B	0,26 bc A	0,13 B	0,13 B
MN	0,23	0,22	0,19	0,23	0,22	0,19

⁽¹⁾ Latossolo Vermelho Distroférico. ⁽²⁾ P10, P20, P30 e P40: manejo altura pasto a 10, 20, 30, 40 cm, respectivamente. SP: sem pastejo. MN: mata nativa. Letras minúscula comparam tratamentos e letras maiúsculas, camadas de solo.

Os ciclos de secagem e umedecimento foram gradativamente revertendo as modificações causadas pela aplicação da carga de 200 kPa

(Figura 2). A recuperação da Ds e da Ma foi mais rápida e maior após o pastejo (Figura 2a e 2c) em relação após a soja (Figura 2b e d). Isso é mais visível no quarto ciclo (C4) em relação à condição inicial das amostras (A). Embora não tenham sido apresentados valores, graficamente se percebe que as alterações causadas pela carga de 200 kPa na Ds e na Ma, geralmente foram mais intensas no solo do SP em relação aos solos pastejados.

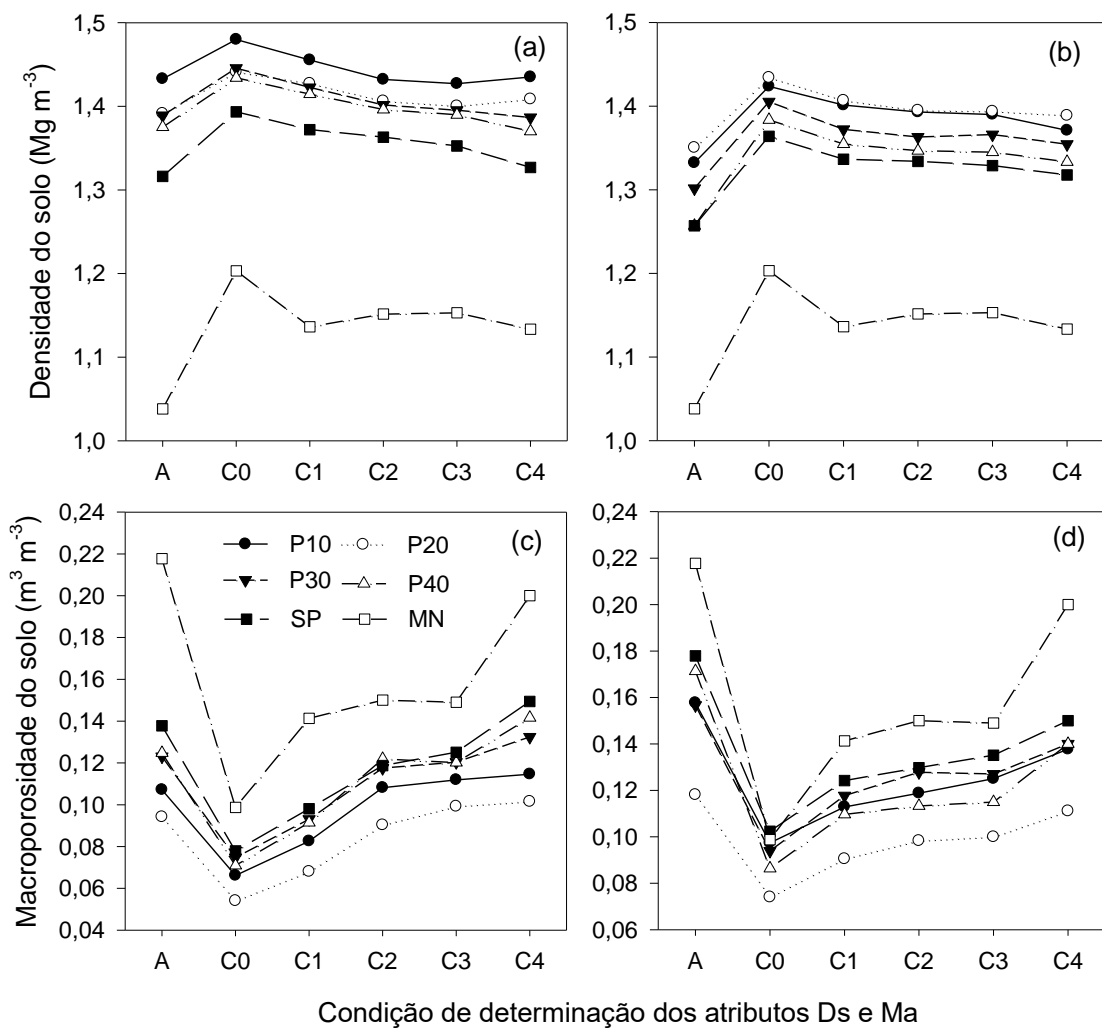


Figura 2. Mudança da densidade (Ds) e da macroporosidade (Ma) iniciais do solo⁽¹⁾ (condição A) causada pela aplicação de 200kPa de carga (C0) seguida por quatro ciclos de secagem e umedecimento (C1, C2, C3, C4 respectivamente), em amostras coletadas após o pastejo (a, c) e após a colheita da soja (b, d) na camada de 0-20 cm, em diferentes alturas de manejo do pasto no sistema integrado soja-bovinos de corte em semeadura direta de longa duração. ⁽¹⁾ Latossolo Vermelho Distroférrico. P10, P20, P30, P40 correspondem às alturas do pasto a 10, 20, 30, 40 cm respectivamente, SP, sem pastejo e MN, mata nativa.

Também se verifica que, nas amostras coletadas após o cultivo de soja (Figura 2b; 2d), as alterações causadas pela carga de 200 kPa na Ds e na Ma (condição C0) foram maiores que as causadas nas amostras coletadas após o pastejo (Figura 2a; 2b). A Ma foi o atributo que após C0, apresentou as maiores alterações, sendo que os valores de Ma da MN, SP, P30 e P40 forma similares em C0, após cultivo de soja (Figura 2d).

O aumento da Ds e a redução da Ma com o pisoteio dos animais no P10 e P20 (Tabela 3) teve impacto direto na Ds e Ma após compactação das amostras no laboratório e após os quatro ciclos de secagem e umedecimento. Os valores numericamente menores de Ds e maiores de Ma, após o cultivo de soja (Tabela 3) estão relacionados à maior compactação do solo após C0 e uma recuperação menor e mais lenta em todos os tratamentos. Os sistemas com maior compactação após C0 são os sistemas com maior altura do pasto e SP, que coincide com o maior teor de MOS e isso pode ocorrer pelo menor contato entre as partículas tornando o solo menos resistente à compactação (ZHANG; HORN; HALLETT, 2005). No processo de compactação, dependendo da pressão aplicada, ocorre a expulsão da água e ar dos poros, que reduz a capacidade do solo de resistir à compactação, como observado por Gregory et al. (2007) em solo argiloso e com a aplicação de 200 kPa de carga.

O aumento da Ds e redução da Ma com a aplicação de 200 kPa estiveram relacionados linearmente com seus respectivos valores iniciais, após o pastejo e após o cultivo de soja, com $r^2 \geq 0,90$ (Figura 3a e 3c). Quanto menor a Ds e maior a Ma iniciais, mais elas aumentaram e reduziram com a aplicação de 200 kPa. A recuperação da Ds e da Ma promovida por quatro ciclos de secagem e umedecimento, calculada pela Equação 2 esteve relacionada linearmente com os respectivos valores iniciais, com $r^2 \geq 0,79$ (Figura 3d). Essas relações só não foram significativas para a Ds das amostras coletadas após o pastejo (Figura 3b).

A relação da recuperação absoluta da Ds, calculada pela Equação 2, com o aumento absoluto de Ds promovido pela aplicação de 200 kPa evidencia que a maior recuperação não ocorreu no solo sob MN (Figura 4), o qual tinha menor Ds (Tabela 3 e Figuras 2a e 2b), e sofreu maior deformação (Figura 3a).

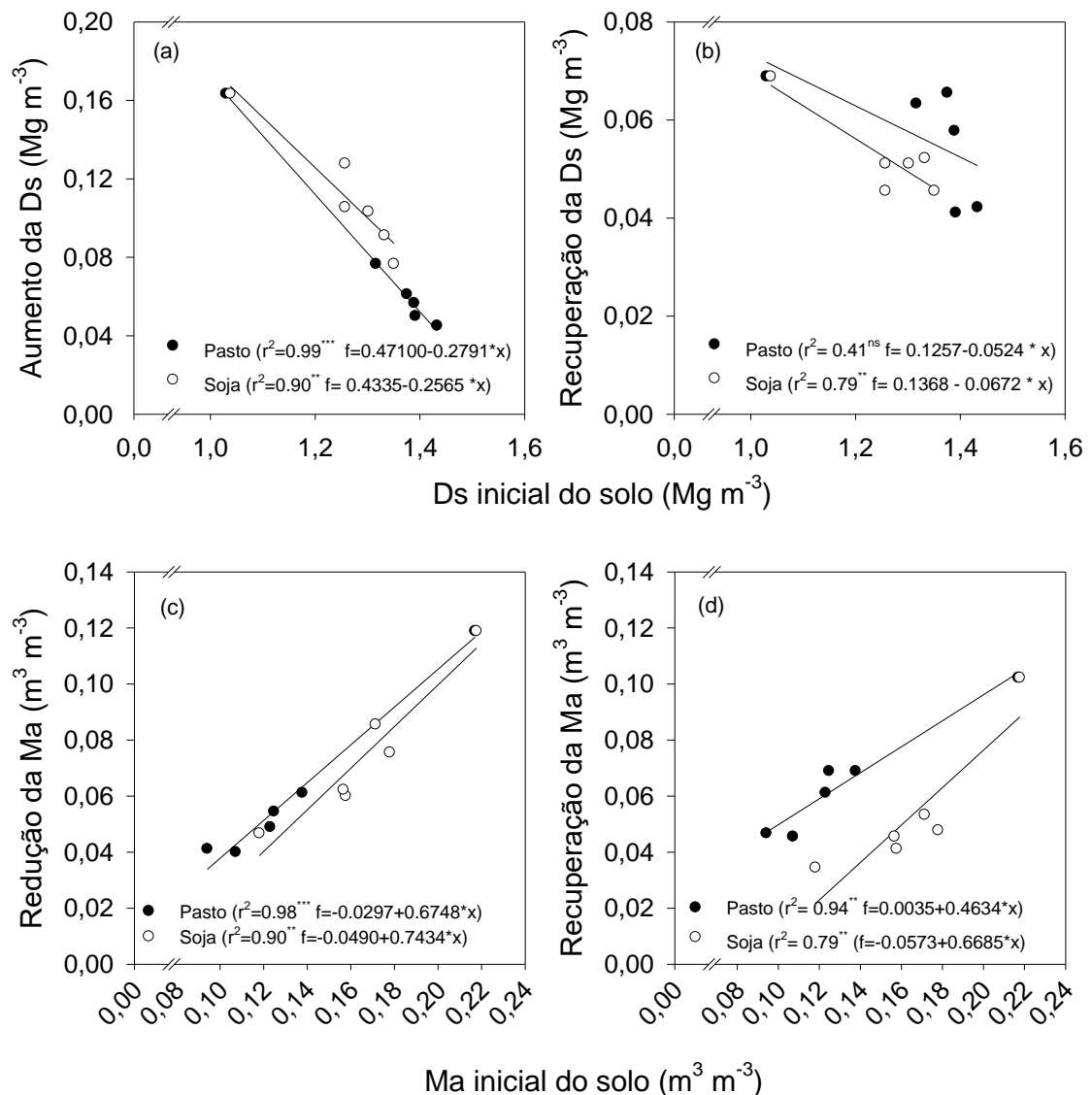


Figura 3. Relação entre o aumento da densidade do solo (Ds) (a) e redução da macroporosidade do solo (Ma) (c) após a compactação em laboratório (200 kPa) e recuperação da Ds (b) e da Ma (d) do solo⁽¹⁾ após quatro ciclos de secagem e umedecimento em diferentes alturas de manejo do pasto no sistema integrado soja-bovinos de corte em semeadura direta de longa duração. ⁽¹⁾ Latossolo Vermelho Distroférico. Ds: Densidade do solo; Ma: Macroporosidade do solo.

A maior recuperação da Ds (ponto de máximo da Equação quadrática) ocorreu para amostras que sofreram alteração intermediária da Ds pela carga de 200 kPa (Figura 4). A aplicação de pressões menores do que a maior pressão à qual o solo foi submetido no passado, como o pisoteio de animais neste estudo, pode resultar em menor compactação, enquanto pressões maiores do que a maior pressão sofrida pelo solo, como MN e SP, podem resultar em aumento da compactação (REICHERT; SUZUKI; REINERT, 2007).

Os sistemas com valores intermediários de MOS e dos atributos físicos estudados (P30 e P40), que indicam maior relação recuperação/compactação, podem ser indicativos de sistemas adequados de pastejo em sistema soja no verão e aveia + azevém na região Sul do Brasil. Isso ocorre porque os atributos físicos do solo são mantidos em níveis que favorecem a resiliência do solo, além do SIPA proporcionar ganho extra com a produção de carne pela atividade pecuária.

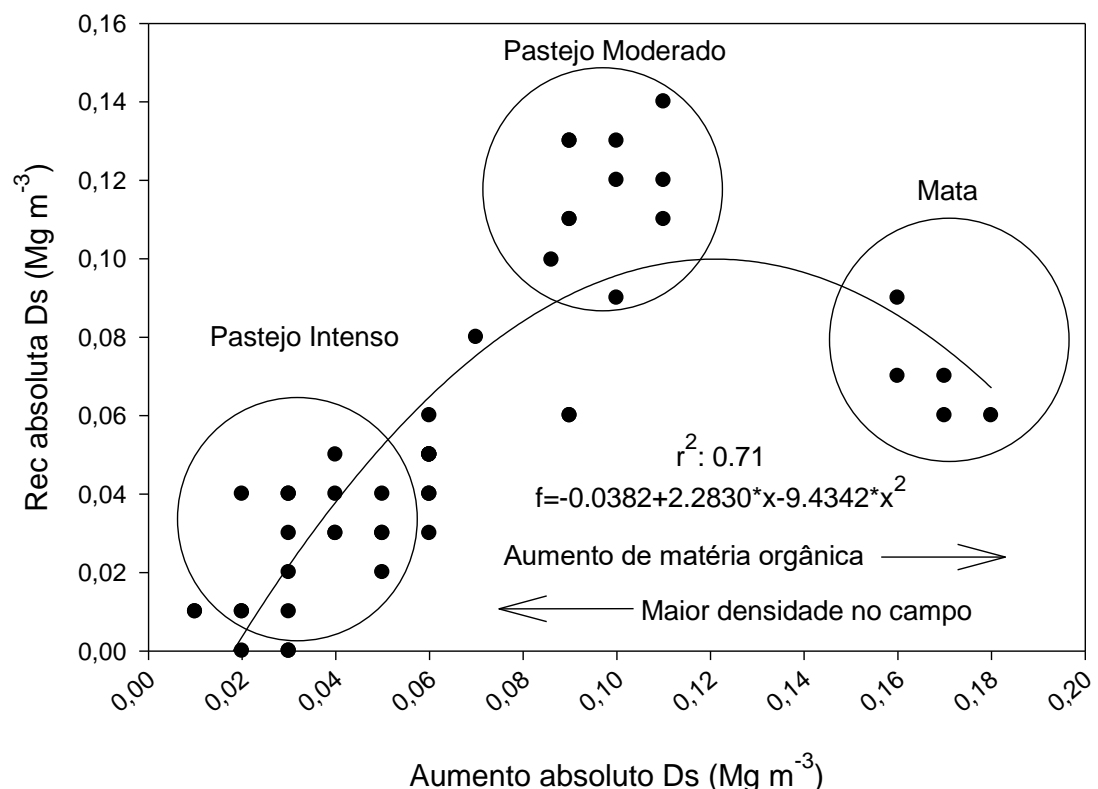


Figura 4. Relação entre a e recuperação absoluta da densidade (Ds) do solo⁽¹⁾ após o quarto ciclo de secagem e umedecimento e aumento absoluto da Ds após a compactação em laboratório (200 kPa), em diferentes alturas de manejo do pasto no sistema integrado soja-bovinos de corte em semeadura direta de longa duração, avaliada após o pastejo em 2014. ⁽¹⁾ Latossolo Vermelho Distroférrico.

Os solos com baixa Ds (<1,05 Mg m⁻³) e alta Ma (> 0,15 m³ m⁻³), como SP e MN apresentam baixa resistência à compactação e essas alterações podem demorar mais tempo para serem recuperadas. Isto pode indicar que sistemas com baixa Ds e alta Ma, em condição semelhante ao SP, merecem maior atenção quanto à introdução sistemas integrados de produção, porque a compactação pelo pisoteio dos animais pode ocorrer rapidamente e comprometer a capacidade de recuperação do solo.

Portanto, tanto a combinação de baixa Ds e alta Ma, quanto a combinação alta Ds e baixa Ma, podem ser fatores determinantes na baixa relação recuperação/compactação do solo, que, nessas condições extremas, pode ocorrer o rompimento da continuidade de poros devido aos efeitos da compactação no campo pelo pisoteio dos animais ou no laboratório, interferindo no fluxo de ar e na resiliência. Ainda, há indicativos de que, no processo de recuperação do solo, é importante a condução de ar pelos macroporos entre os agregados (DÖRNER et al., 2011).

A resiliência do solo com base na Ds, calculada pela Equação 1, diferiu ($p \leq 0,05$) na camada de 0-5 cm e 10-20 cm, apenas para as amostras coletadas após o cultivo da soja (Figura 5b), sendo que a resiliência do solo foi maior no P20 em comparação ao P40 e SP. Como a resiliência do solo é a relação da recuperação com a compactação do solo, esse resultado indica que sistemas com baixa Ds e alta Ma apresentam alta compactação, mas a recuperação geralmente não foi proporcional e, por isso, apresentam baixa resiliência do solo. Esses resultados contrariam, em parte, a afirmação de que solos com maior porosidade podem resistir e se recuperar de alterações com maior facilidade, sugerindo ser menos susceptíveis a variações na Ds com a compactação (ARTHUR et al., 2012).

No presente trabalho, há relação de aumento da recuperação do solo com o aumento da Ma (Figura 3d), mas essa recuperação não indica maior resiliência, porque no solo com maior Ma a compactação foi proporcionalmente maior que a recuperação. Fica evidente que solos com valores intermediários de Ds, Ma e MOS obtidos em sistemas com pastejo moderado (P30) e leve (P40) tendem a ser mais resilientes porque resistem aos distúrbios dos sistemas agrícolas, sem perder sua funcionalidade e capacidade de recuperação.

A participação da MOS também pode estar relacionada ao aumento da resistência mecânica dos poros e, como resultado, o solo tem uma maior capacidade de se recuperar de tensões mecânicas impostas incluindo o tráfego de máquinas (ZHANG; HORN; HALLETT, 2005), fato que não ocorreu na área com maior teor de MOS no presente trabalho. A aplicação de pressões que causam deformações elásticas no solo pode manter as propriedades físicas adequadas e favorecer a recuperação do solo (LEBERT; HORN, 1991) que deve estar ocorrendo com o manejo do pasto em intensidade moderada.

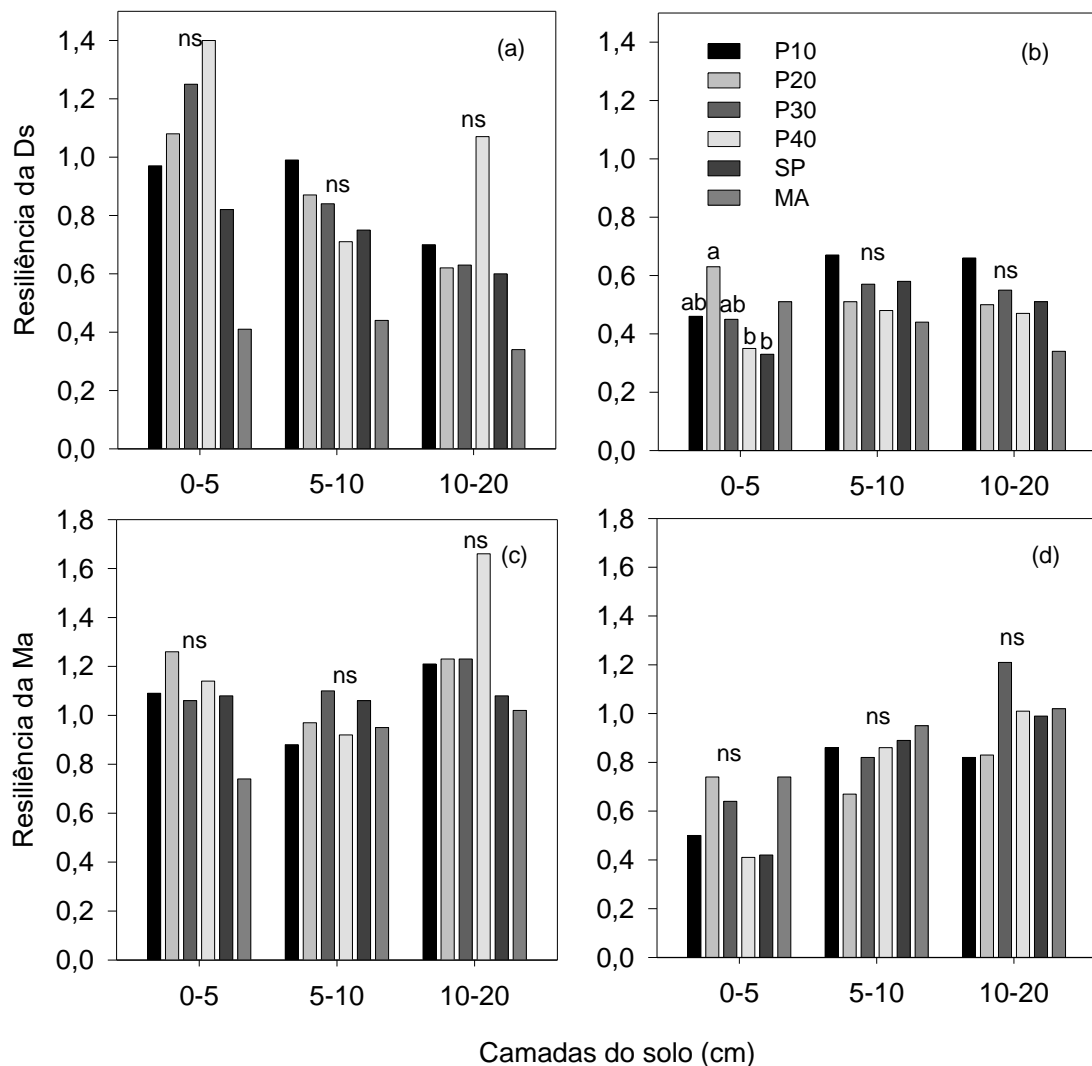


Figura 5. Resiliência da densidade (Ds) em diferentes camadas do solo⁽¹⁾ após o pastejo (a) e cultivo de soja (b) e resiliência da macroporosidade do solo (Ma) após o pastejo (c) e após o cultivo de soja (d), em diferentes alturas de manejo do pasto no sistema integrado soja-bovinos de corte em semeadura direta de longa duração.⁽¹⁾ Latossolo Vermelho Distroférico. P10, P20, P30, P40 corresponde à altura do pasto a 10, 20, 30, 40 cm respectivamente, SP, sem pastejo e MN, mata nativa.

A resiliência da Ds e da Ma promovida por quatro ciclos de secagem e umedecimento esteve relacionada linearmente com os respectivos valores iniciais (Figura 6). Quanto menor a Ds e maior a Ma inicial, menor a resiliência do solo. Essas relações não foram diferenciadas ($p \leq 0,05$) apenas para a Ma das amostras coletadas após o cultivo da soja (Figura 6b). Com a compactação do solo no laboratório, pode-se concluir que, quanto maior for a compactação inicial (maior Ds e menor Ma), menor é a mudança causada pela carga aplicada (200

kPa) indicando menor recuperação (medidas em valores absolutos), mas uma proporção maior da deformação é recuperada, indicando alta resiliência do solo.

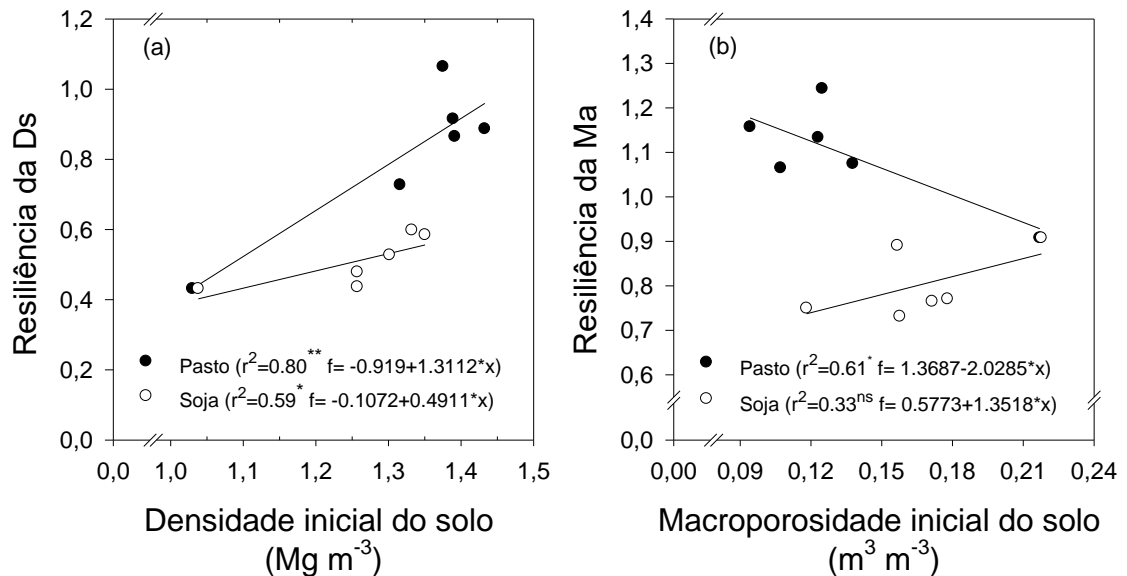


Figura 6. Relação entre a resiliência da densidade do solo⁽¹⁾ (Ds) com a densidade inicial (a) e resiliência da macroporosidade (Ma) com a macroporosidade inicial do solo (b) após o pastejo e cultivo de soja, em sistema de integração soja-bovinos de corte em semeadura direta de longa duração. ⁽¹⁾ Latossolo Vermelho Distroférrico.

A recuperação do solo (Equação 2) considera apenas o que o solo se recuperou após a compactação e na resiliência do solo é considerada a relação da recuperação do solo e a compactação do solo (Equação 1). Assim, pode-se ter solos com baixa compactação no laboratório (alta Ds inicial por exemplo), mas que se recupera totalmente (100% ou mais) apresentando alta resiliência do solo, ou ter solos com alta compactação no laboratório (baixa Ds inicial por exemplo) mas que recuperam apenas parte do distúrbio, apresentando baixa resiliência do solo. Portanto, tanto na Figura 3 quanto na Figura 6, os valores em comum são os valores intermediários de Ds e Ma, indicando que nem os valores de baixa Ds, nem os de alta Ds são os valores que representaram maior resiliência e recuperação do solo.

Consideração deve ser feita para as condições de tratamento das amostras, onde a compactação ocorreu sempre após a drenagem em mesa de tensão a 6kPa, e o processo de secagem do solo ocorreu de forma igual para todos os tratamentos. Na condição de campo, o pisoteio dos animais ocorre em

diferentes condições de umidade e os processos de secagem e umedecimento são diferentes entre os tratamentos e ocorrem em função das diferentes quantidades de biomassa sobre o solo. Assim, esse processo de secagem e umedecimento pode ser mais intenso nos sistemas com menor cobertura do solo como o P10 e P20 em função da maior incidência de raios solares e da maior variação de umidade do solo, principalmente em anos de seca. O processo de compactação no campo é constante e intenso e no laboratório pode representar apenas uma fração do que está ocorrendo no campo com pisoteio de animais e o tráfego de maquinários por vários anos.

Houve relação do teor de MOS com o aumento da D_s após a compressão a 200 KPa ($p \leq 0,01$) (Figura 7a), com a densidade inicial do solo ($p \leq 0,01$) (Figura 7c) e com a resiliência da D_s ($p \leq 0,01$) (Figura 7d), mas não houve com a recuperação do solo após os ciclos de secagem e umedecimento (Figura 7b). Kuan et al. (2007) citam que a interferência da MOS na recuperação do solo com baixa capacidade de resistência à compactação só ocorreu quando os níveis de MOS eram superiores a 5%, teores não observados neste trabalho (Tabela 3).

A baixa relação entre a MOS e a recuperação do solo, possivelmente, está relacionada apenas com as propriedades físicas da MOS, visto que ocorreu maior aumento da D_s e o intervalo de tempo estudado não foi suficiente para o solo se recuperar. O aumento da D_s após a pressão de 200 KPa, em solos com maiores teores de MOS é esperado; isto porque a mesma interfere na resistência física do solo em receber carga (KUAN et al., 2007). O maior estresse mecânico do solo em MN foi observado em um Andosol no sul do Chile por Dörner et al. (2011), que também cita a relação com o estresse proporcionado nos poros do solo pelos ciclos de secagem e umedecimento do solo, chamados por eles de “estresse hidráulico”.

Solos com alto teor de MOS respondem mais a mecanismos de recuperação natural (ciclos secagem-umedecimento e congelamento-descongelamento) do que solos de baixa MOS (ARTHUR et al., 2012). Entretanto, isso é dependente da textura do solo, sem variações neste estudo, e uma boa relação entre as funções da MOS e a necessidade de estrutura coesa para suportar a carga das máquinas e pisoteio de animais deve ser considerada. Além disso, é relevante o potencial de atuação da MOS na química e biologia do

solo e, talvez, isso ajude a entender a importância da MOS, citada por outras pesquisas, para a resiliência do solo.

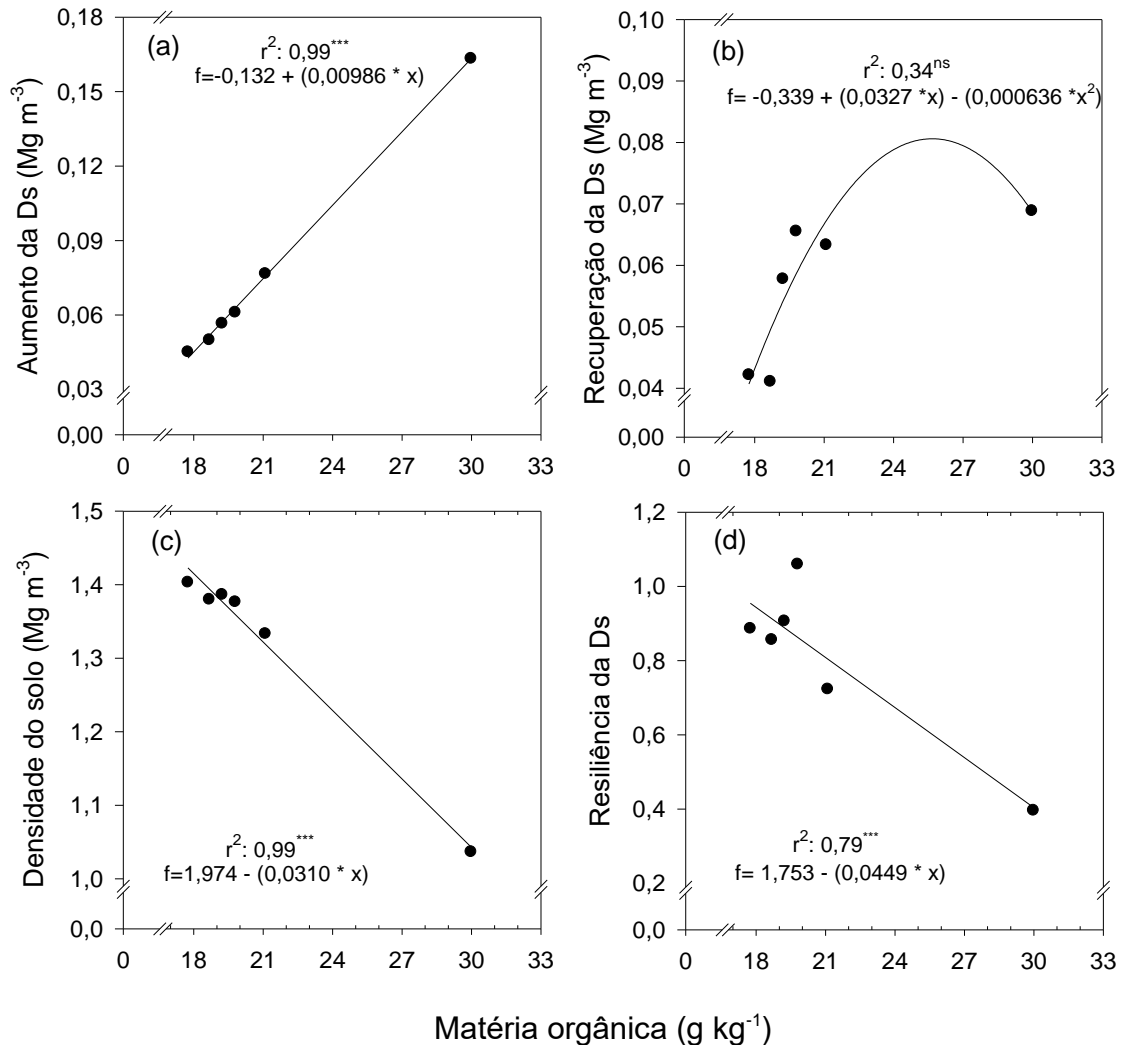


Figura 7. Relação entre a matéria orgânica do solo⁽¹⁾ na camada de 0-20 cm e: (a) aumento da densidade do solo (Ds) após compressão de 200 KPa (b) recuperação da Ds após quatro ciclos de secagem e umedecimento, (c) Ds após o pastejo e (d) resiliência da Ds, do solo em diferentes alturas de manejo do pasto no sistema integrado soja-bovinos de corte em semeadura direta de longa duração. ⁽¹⁾ Latossolo Vermelho Distroférrico.

4.4 Conclusões

O pastejo intenso reduz a matéria orgânica e a macroporosidade do solo e aumenta a sua densidade, especialmente na camada superficial.

Os ciclos de secagem e umedecimento após compactação, recuperam o solo com maior intensidade após o pastejo do que após o cultivo

da soja e solos com pastejo moderado apresentam maior recuperação em relação a compactação do solo em laboratório.

As áreas sem pastejo e mata nativa, com baixa densidade do solo e alta macroporosidade, apresentam maior susceptibilidade à compactação e menor capacidade de recuperação, sendo mais sensíveis à degradação.

As áreas com pastejo intenso e moderados apresentam maior resiliência da densidade do solo na camada superficial após o cultivo de soja.

A matéria orgânica não reduz, diretamente, a susceptibilidade do solo a compactação, se relacionando positivamente com a compactação e negativamente com a resiliência da densidade do solo.

|

5 CAPÍTULO IV. INFILTRAÇÃO E RETENÇÃO DE ÁGUA EM SISTEMA INTEGRAÇÃO SOJA-BOVINOS DE CORTE COM DIFERENTES MANEJOS DA ALTURA DO PASTO

5.1 Introdução

Os sistemas de manejo com conservação do solo são amplamente utilizados no Brasil e atualmente são considerados como os fatores determinantes da sustentabilidade na agricultura. Dentre esses manejos, o plantio direto (PD), com o mínimo revolvimento do solo, rotação de culturas e manutenção do solo coberto por plantas o ano todo porque é o mais indicado, pois contribui para o aumento da matéria orgânica (MOS) fertilidade do solo e manutenção dos atributos físicos e hídricos em níveis adequados para se obter alta produtividade das culturas.

Em muitas áreas cultivadas em PD em ambientes temperado e subtropical tem-se introduzido animais no inverno, em sistema integrado de produção agropecuária (SIPA), e isso ocorre porque a atividade da pecuária, planejada de maneira adequada, pode reduzir a vulnerabilidade a mudanças climáticas e diversificar e aumentar os rendimentos dos produtos agropecuários (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO), 2013). Isso se torna muito relevante devido à ocorrência dos fenômenos climáticos “*El Niño*” (excesso hídrico) e “*La Niña*” (déficit hídrico), que causam prejuízos, no Rio Grande do Sul, de até 6% no arroz, 83% no milho, 13% no trigo e 80% na soja, especialmente em anos de ocorrência de “*La Niña*” (INPE, 2016; ARAÚJO, 2012; CONAB, 2016).

Além disso, o alto volume de precipitação, principalmente em anos de “*El Niño*”, como as verificadas na Bacia do Conceição-RS, contribuiu para a perda de 242 t km⁻² ano⁻¹ de solo (DIDONÉ et al., 2014), o que resulta em

insucesso de áreas agrícolas mal manejadas. Outro aspecto muito relevante é a dominância do cultivo da soja no verão, pelo alto valor econômico, e pela opção de plantas de cobertura ou por pastagens mal manejadas no inverno, para a produção de leite e carne. Como consequência a cobertura do solo é insuficiente para permitir a necessária infiltração e retenção de água de modo a reduzir a erosão do solo por escoamento superficial (DIDONÉ et al., 2014).

No entanto, estudos têm indicado que o SIPA, quando bem planejados e geridos podem proporcionar utilização mais eficiente e melhoria no uso dos insumos e recursos naturais, valorização processos naturais de controle de plantas daninhas, insetos praga e moléstias, resultando em produção e rendimentos mais eficientes e com menos riscos ao ambiente (FRANZLUEBBERS, 2007). Esses sistemas, são considerados como intensificação sustentável e tem um reflexo positivo e imediato na infiltração e retenção de água no solo (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO), 2013). A preocupação fundamental no SIPA é, então, o efeito potencial do pisoteio dos animais na compactação do solo e suas possíveis consequências, na diminuição da infiltração e da retenção de água no solo (LIEBIG et al., 2011).

Estudos têm indicado que o manejo intensivo do pasto (altura de 10 e 20 cm), representando 4,5 e 3,0 animais/ha (média 300 kg de peso vivo) respectivamente, tem causado alguma compactação do solo (MARTINS et al., 2015) e reduzido a infiltração de água já nos primeiros anos de uso, em comparação com o pastejo moderado (altura de 30 e 40 cm) e sem pastejo (CASSOL, 2001). A pastagem bem gerida, como a intensidade moderada de pastejo, proporciona pequenas alterações na densidade e porosidade do solo além de manter o solo coberto e adicionar quantidades de MOS (BONETTI et al., 2015; MARTINS et al., 2015). A combinação de baixa densidade, alta porosidade do solo e presença de resíduos é fator decisivo na redução do escoamento (CARLESSO et al., 2011; FRANZLUEBBERS; STUEDEMANN; FRANKLIN, 2012) e aumento da infiltração de água no solo (LIEBIG et al., 2011).

Para reduzir os riscos de períodos curtos de ausência de chuva, aumentar a retenção de água no solo é um fator importante e minimiza os efeitos do déficit hídrico nas plantas. Para atingir esse objetivo é necessário manter a estrutura física com porosidade adequada e principalmente aumentar os teores de MOS, fatores que são afetados pelo manejo do pasto. A MOS contribui para

melhoria física do solo pela redução de densidade e aumento da porosidade e agregação do solo, que em SIPA no modelo conservacionista também estimula o crescimento das raízes, favorecendo a continuidade de poros no solo.

A retenção da água no solo não-saturado ocorre nos poros pequenos pela ação da capilaridade, que está sempre associada à interface água-ar, ou ela ocorre como filmes de água presos às superfícies dos sólidos do solo, pelo fenômeno da adsorção (LIBARDI, 2005). Assim, o manejo do solo está mais relacionado ao fenômeno da capilaridade por afetar a dinâmica dos poros no solo, do que ao da adsorção, que é geralmente relacionada a textura do solo. He et al. (2009) observaram maior retenção e disponibilidade de água em PD, comparado ao manejo com revolvimento do solo, e isso foi atribuído a uma distribuição de tamanho de poro mais uniforme no solo e pode beneficiar a produtividade e sustentabilidade a longo prazo. Portanto os sistemas que aportam mais MOS pode contribuir para aumenta a capacidade de o solo armazenar água.

Pressupõe-se que o sistema de manejo em plantio direto com o cultivo de soja no verão e aveia preta + azevém no inverno com pastejo moderado mantém a infiltração e retenção de água em níveis adequados e comparáveis ao sem pastejo. O objetivo deste trabalho foi avaliar o impacto do pisoteio de animais nos atributos físicos densidade do solo e porosidade total (macroporosidade e microporosidade) e as consequências para a infiltração e retenção de água no solo em sistema integrado soja-bovinos de corte de longa duração, com diferentes alturas de manejo do pasto.

5.2 Material e métodos

A descrição e caracterização do protocolo experimental a que se refere o presente estudo foram apresentadas no Item 3.1 do Capítulo 3. A seguir, é descrita a metodologia utilizada neste trabalho.

Os atributos físicos, densidade do solo (D_s), porosidade total (P_t), macroporosidade (M_a) e microporosidade (M_i) foram determinados de forma semelhante ao descrito no item 4.2 (EMBRAPA, 1997), sendo que para essa abordagem considerou a média de todas as camadas (0-5, 5-10 e 10-20 cm), devido a importância do perfil do solo para a infiltração de água.

Foi determinada a infiltração de água no solo em novembro de 2014, após a retirada dos animais e em abril de 2015, após a colheita da soja, em duplicata nas parcelas experimentais, totalizando 30 testes em cada época. A metodologia utilizada foi a do infiltrômetro de anéis concêntricos, composto por um conjunto de anéis metálicos com altura de 25 cm, sendo o externo com 50 cm de diâmetro e o interno com 25 cm de diâmetro (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006). Os cilindros foram cravados a 10 cm de profundidade, de forma concêntrica, sendo o externo com objetivo de minimizar o efeito da infiltração lateral e o interno com objetivo de quantificar a infiltração de água. Após adicionar água em ambos os cilindros, sendo o interno envolvido com plástico, iniciou as leituras removendo o plástico e anotando as variações da altura da água em régua graduada. Sempre que o nível de água chegava próximo dos 10 cm de altura em relação ao solo, em ambos os cilindros, a água foi adicionada visando a manutenção da carga hidráulica e possibilitando as leituras de infiltração da água. Foram realizadas leituras da altura de água no interior do cilindro interno nos tempos 0, 1, 2, 4, 6, 11, 16, 26, 36, 51, 66, 96, 126 minutos, a partir do momento inicial da colocação da água.

Foi obtido as curvas de infiltração acumulada (I , mm) e taxa de infiltração (TI , mm h^{-1}) de água no solo (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006). A velocidade de infiltração básica (VIB) foi considerada a água infiltrada quando as três últimas leituras não variaram, que ocorreu aproximadamente aos 126 minutos.

Aos dados medidos de I ao longo do tempo foi ajustado o modelo de KOSTIAKOV (1932), cuja primeira derivada representa a velocidade de infiltração. As Equações 5 e 6 foram utilizadas para o ajuste.

$$\text{Infiltração acumulada (mm): } I_{\text{acum}} = k T^a \quad (\text{Equação 4})$$

$$\text{Taxa de infiltração: } TI = k a T^{a-1} \quad (\text{Equação 5})$$

onde, k : constante dependente do solo, incluindo umidade inicial; T : tempo em minutos; a : constante dependente do solo, incluindo a umidade inicial do solo, variando 0 a 1.

Em abril de 2015 foram coletadas amostras de solo com estrutura preservada em anéis com diâmetro médio de 5,7 cm, altura média de 4 cm (volume de 100 cm^3), sendo três amostras por parcela e três camadas do solo (0-5, 5-10 e 10-20 cm), para determinar a curva de retenção de água (CRA). As

amostras foram preparadas em laboratório com pano poroso fixado com borrachas na base do anel, saturadas em água por 24 horas e pesadas. Após foi aplicado tensões matriciais (ψ_m) para a retirada da água dos poros, sendo: (i) em amostras com estrutura preservada, aplicou tensões de 1, 6, 10 kPa (capacidade de campo) utilizando mesa de tensão (EMBRAPA, 1997) e de 33, 100 e 500 utilizando a câmara de Richards; (ii) em amostras peneiradas em malha de 2 mm, aplicando-se a tensão de 1,500 kPa (ponto de murcha permanente) com psicrômetro de ponto de orvalho - WP4 (Decagon Devices). Nas amostras com estrutura preservada, após cessar a drenagem em cada tensão, pesou-se para determinação do conteúdo de água e ao final da aplicação de todas as tensões, as amostras foram levadas para estufa e secas a 105 °C por 48 horas.

Ao conjunto total de conteúdo de água e tensão de cada amostra de solo foi ajustada à equação (VAN GENUCHTEN, 1980), (Equação 6), para descrever a curva de retenção de água do solo (CRA), utilizando o software *Soil Water Retention Curve - SWRC* (DOURADO NETO et al., 2001).

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + (\alpha h)^n]^{1/n}} \quad (\text{Equação 6})$$

em que α , n e m são parâmetros de ajuste da equação com as restrições $\alpha > 1$, $n > 1$ (KUTILEK et al., 2007); θ , o conteúdo de água estimado; θ_r , o conteúdo de água residual (PIRES et al., 2008; VAN GENUCHTEN, 1980) θ_s , o conteúdo de água na saturação, correspondente à porosidade total; e h é a tensão matricial, em kPa.

Com os dados da capacidade de campo e do ponto de murcha permanente foi calculada a água disponível (AD) e a estimativa da capacidade de água disponível (CAD) pelas Equações 7 e 8;

$$AD = (\theta_{cc} - \theta_{PMP}) \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3} \quad (\text{Equação 7})$$

$$CAD = (AD * Z) \quad (\text{Equação 8})$$

em que umidade volumétrica na capacidade de campo (θ_{cc}) foi em 10 kPa e no ponto murcha permanente (θ_{PMP}) foi 1500 kPa; e z é a profundidade efetiva do sistema radicular das plantas, sendo considerado 40 cm para soja e 30 cm para aveia preta.

A distribuição de tamanho de poros foi obtida pela primeira derivada da Equação de van Genuchten e o diâmetro equivalente de poros (DEP) foi

estimado usando a forma reduzida do crescimento capilar, observado na Equação 9 (MARSHALL; HOLMES, 1988).

$$\text{DEP} = 300/\Psi \quad (\text{Equação 9})$$

onde DEP é o diâmetro equivalente de poros (mm) drenado na sucção de água ψ (kPa).

Os dados foram submetidos à análise de variância e quando significativos comparados pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Também foram realizadas análises de regressão, utilizando o sigma plot, para obter a relação entre a VIB com a MOS e Pt e a relação da AD com a Ds e MOS.

5.3 Resultados e discussão

Houve aumento da Ds na camada de 0-20 cm após o pastejo dos animais no P10 em comparação com o SP (Figura 8a). A Pt reduziu após o pastejo nos tratamentos P10 e P20 em comparação com o SP, na camada avaliada (Figura 8b). A Mi não foi alterada pelo pastejo dos animais (Figura 8c) e a Ma foi alterada em ambas as épocas avaliadas (Figura 8d), sendo menor no P20 em comparação ao SP, em ambas as épocas avaliadas.

As alterações na estrutura do solo, com aumento de Ds e redução da Ma e Pt (camada de 0-20 cm) nas áreas pastejadas, é resultado da evolução dos sistemas, com pisoteio dos animais durante os 14 anos. Essas alterações estão no limite ou até superam, em alguns manejos do pasto, os limites considerados críticos para a adequada funcionalidade do solo, cujos valores de Ds variam de 1,30 a 1,40 Mg m⁻³ (REICHERT; REINERT; BRAIDA, 2003) e a Ma de 0,10 m³ m⁻³ (HÅKANSSON; LIPIEC, 2000).

Considerando o valor superior do limite de Ds apenas o P30, P40 e o SP após cultivo de soja não atingiu esse nível. Nos pastejos mais intensos, P10 e P20, a compactação por pisoteio reduziu a Ma e pode afetar a continuidade de poros, fatores diretamente relacionados à infiltração de água no solo. Isso torna o sistema poroso do solo uma barreira que pode impedir ainda o crescimento de raízes, a formação de canais biológico, importante para o aumento da porosidade do solo e conseqüentemente redução da compactação do solo no SIPA com pastejo de bovinos.

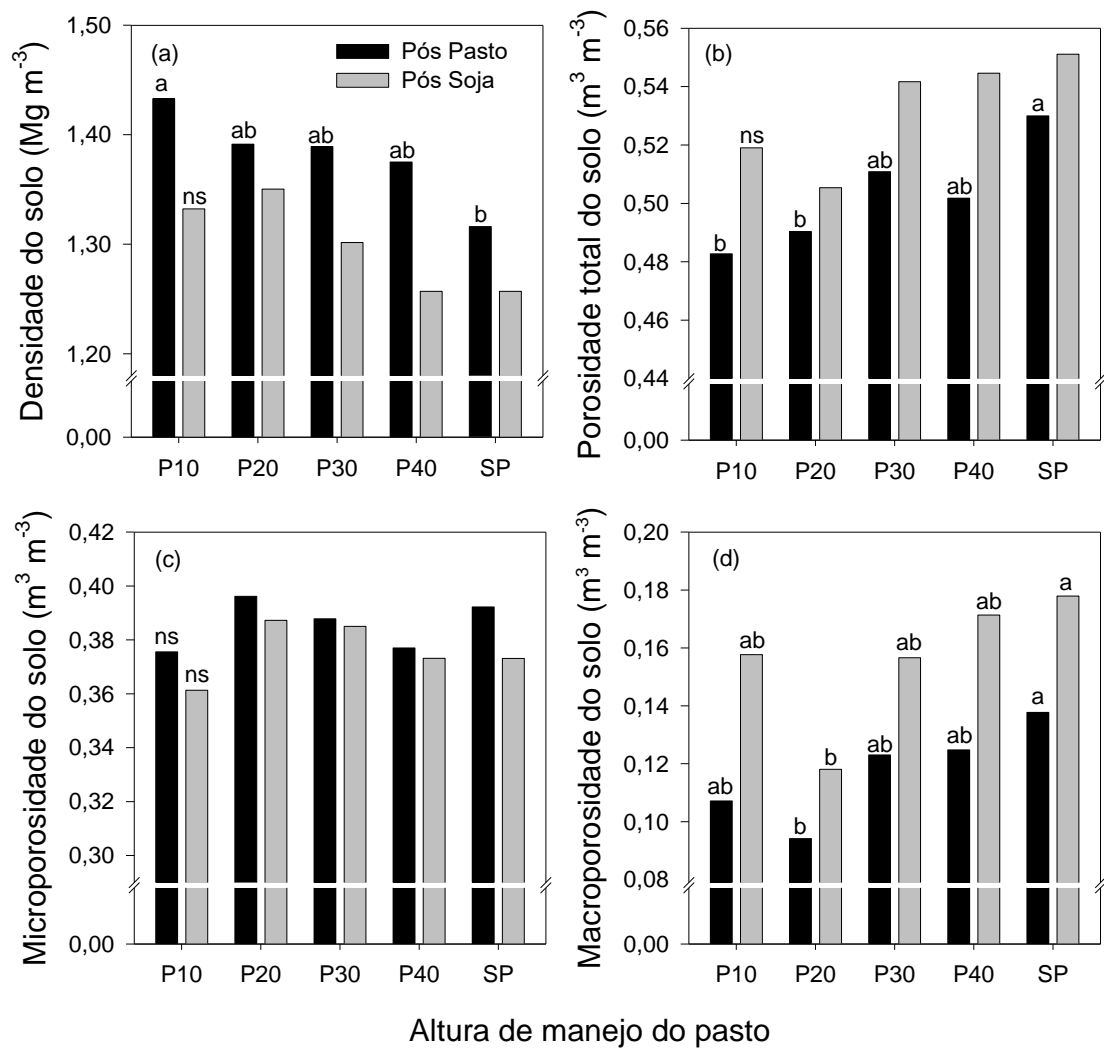


Figura 8. Atributos físicos do solo⁽¹⁾ (camada de 0-20 cm) após o cultivo de aveia e pastejo de bovinos e após cultivo de soja, no sistema integrado soja-bovinos de corte em semeadura direta de longa duração. ⁽¹⁾ Latossolo Vermelho Distroférico. Médias seguidas de letras minúsculas diferentes indicam alterações entre os tratamentos (Tukey, $p \leq 0,05$).

A TI de água no solo foi diferenciada na avaliação após o pastejo (Figura 9a) e após o cultivo de soja (Figura 9b), sendo menor no P10 e maior no SP. O volume de água infiltrada foi maior após o cultivo de soja (Figura 9b) em comparação com o pós pastejo (Figura 9a), refletindo os dados de Ds, Pt e Ma.

A redução da infiltração de água no solo está relacionada ao pisoteio de animais (FRANZLUEBBERS; STUEDEMANN, 2008) e ao tráfego de máquinas, porque ocorrem alterações na estrutura física do solo, com compactação e redução da porosidade. Alteração na infiltração de água, neste

protocolo experimental, foi observada já no primeiro ano de pastejo (CASSOL, 2001), aumentando ao longo de 14 anos, principalmente no P10 e no P20.

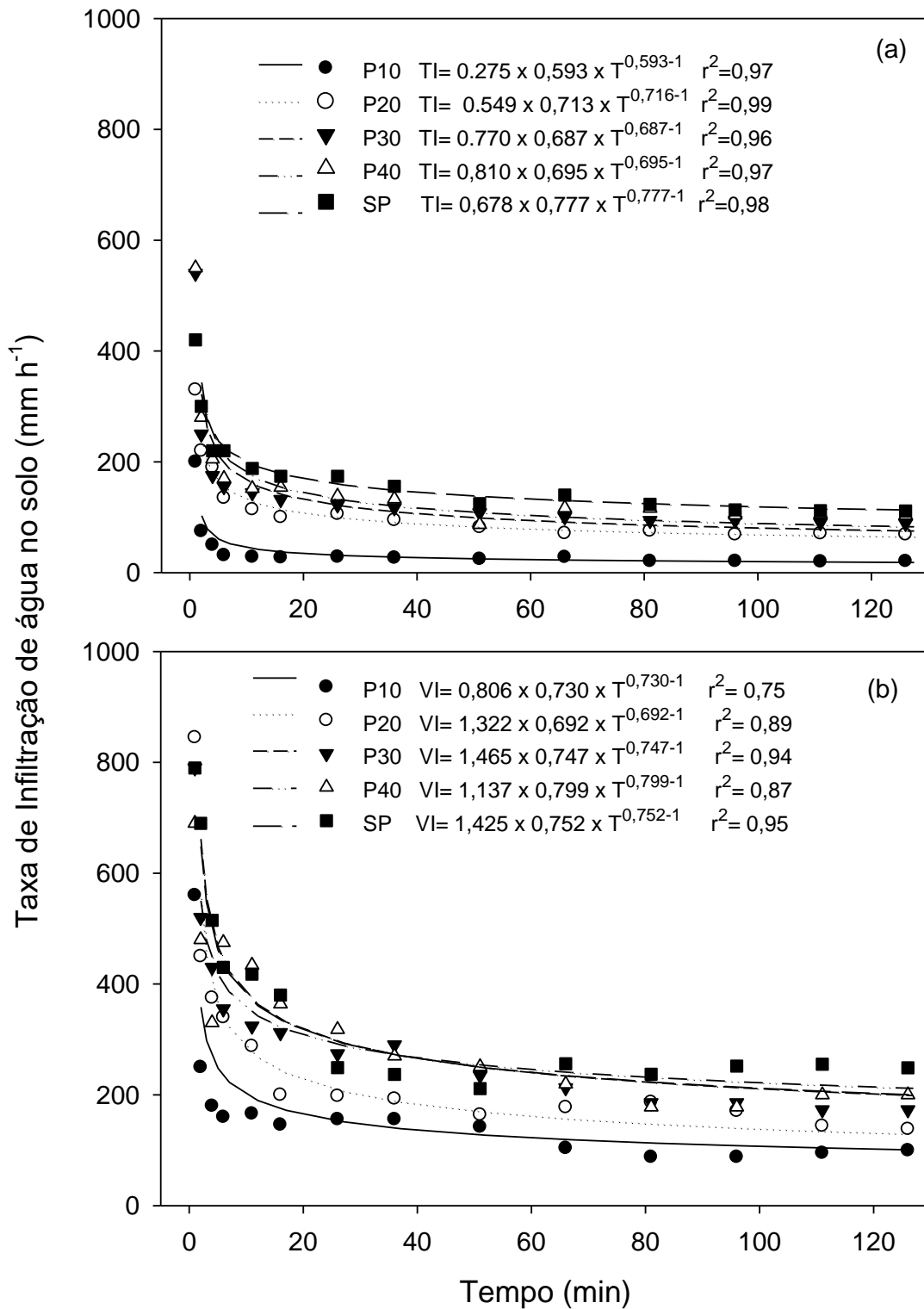


Figura 9. Taxa de infiltração de água no solo⁽¹⁾ (TI) observada (legenda) e ajustada pelo modelo de Kostiakov (linhas), em função do tempo, após pastejo, novembro de 2014 (a), e após soja (a) em abril de 2015 (b) em diferentes alturas

de manejo do pasto no sistema integrado soja-bovinos de corte em semeadura direta de longa duração. ⁽¹⁾ Latossolo Vermelho Distroférico. P10, P20, P30, P40 corresponde à altura do pasto a 10, 20, 30, 40 cm respectivamente e SP, sem pastejo.

A redução na taxa de infiltração de água no solo em pastejo rotativo e intenso (taxa de lotação variando de 1.154 e 1.640 kg ha⁻¹ de peso vivo) pastejados a cada 14 dias, foi observado (LANZANOVA et al., 2007). Isto pode ser tornar preocupante quando da ausência de práticas de manejo que resultarem em redução da infiltração de água aliado a ausência de práticas de cultivo em faixas e curvas de nível, por causarem erosão do solo (DIDONÉ et al., 2014).

A I_{acum} foi menor no P10 e maior no SP, avaliada após o pastejo e após o cultivo de soja (Figura 10a e 10b, respectivamente). A diferença da I_{acum} , após o pastejo e após o cultivo de soja é evidente, onde o menor valor de infiltração após cultivo de soja (P10) é similar ao maior valor após pastejo (SP), estando próximos a 300 mm h⁻¹ (Figura 10). A redução da infiltração de água no solo pode aumentar o escoamento superficial e resultar em erosão do solo, principalmente em regiões com precipitações elevadas, como alguns eventos de mais de 100 mm h⁻¹ ocorrida no período avaliado. O SP foi a área com maior infiltração após 100 minutos, e considerando esse valor a máxima infiltração (100%) em ambos os períodos avaliados, houve redução de 81% no P10, 38% no P20, 21% no P30 e 13% no P40, após o pastejo e 47% no P10, 30% no P20, 14% no P30 e 9% no P40, após o cultivo de soja. Assim, após o cultivo de soja (4 meses após o pastejo) o P10 apresentou 34% da variação na infiltração de água acumulada (81% - 47%), sendo esse o “efeito residual” do pastejo, enquanto que valores menores de 10% foram verificados nos demais tratamentos.

A infiltração acumulada aos 100 minutos de teste, após o primeiro pastejo no ano de 2001 foi de 181, 213, 226, e 267 mm h⁻¹ (CASSOL, 2001), e após o pastejo em 2014 foi de 45, 146, 187, 203 mm h⁻¹, ambos no P10, P20, P30 e P40, respectivamente (CASSOL, 2001). Esses valores representam redução da infiltração acumulada de 136, 67, 39 e 64 mm h⁻¹ nos respectivos tratamentos P10, P20, P30 e SP, após 14 anos de pastejo.

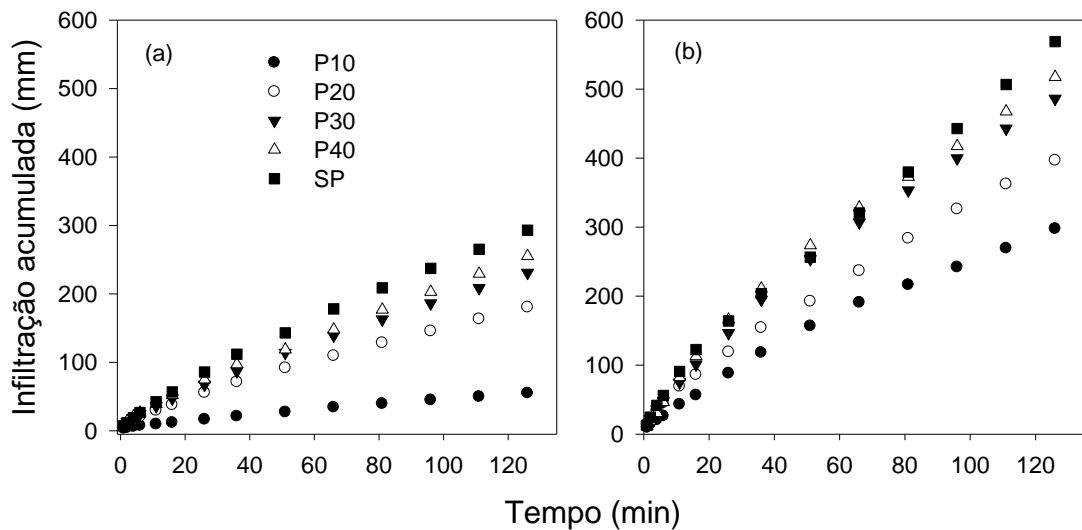


Figura 10. Infiltração acumulada ($I_{acum.}$) de água no solo⁽¹⁾ após o pastejo, em novembro de 2014 (a) e após a soja, em abril de 2015 (b), em diferentes alturas de manejo do pasto no sistema integrado soja-bovinos de corte em semeadura direta de longa duração. ⁽¹⁾ Latossolo Vermelho Distroférico. P10, P20, P30, P40 corresponde à altura do pasto a 10, 20, 30, 40 cm respectivamente e SP, sem pastejo.

Analisando a média da velocidade de infiltração básica (VIB) e da I_{acum} nas duas épocas avaliadas (60 testes de infiltração de água) foram observadas diferenças ($p \leq 0,05$) entre os manejos do pasto, onde o P10 teve menor VIB e I_{acum} em comparação com os demais manejos (Figura 11a e 11b). A Figura 11c mostra que a precipitação foi regular durante o estudo, com 2282 mm de maio de 2014 até março de 2015, sendo que de 30 de outubro de 2014 a 04 de novembro de 2014 a precipitação ultrapassou 290 mm e no dia 03 de novembro de 2014 choveu 112 mm em duas horas. Considerando que essas datas coincidem com a retirada dos animais, esses valores podem extrapolar a capacidade de infiltração de água no solo no P10 e P20 (Figura 9), indicando a necessidade de pesquisa avaliando a perda de solo por escoamento superficial.

As altas precipitações e a redução da infiltração de água podem causar erosão do solo, como observado por Didoné et al. (2014), onde precipitações de aproximadamente 120 mm em três dias no ano de 2011, representou mais de 90% da produção de sedimentos em região próxima à deste estudo. A coincidência da retirada dos animais, semeadura das culturas de verão, baixa cobertura do solo no pastejo intenso e a declividade acentuada na região (máxima neste estudo de $0,10 \text{ m m}^{-1}$) com a alta precipitação nessa época

são fatores agravantes para reduzir a infiltração de água e devem ser melhor investigados quanto ao potencial de causar erosão no solo.

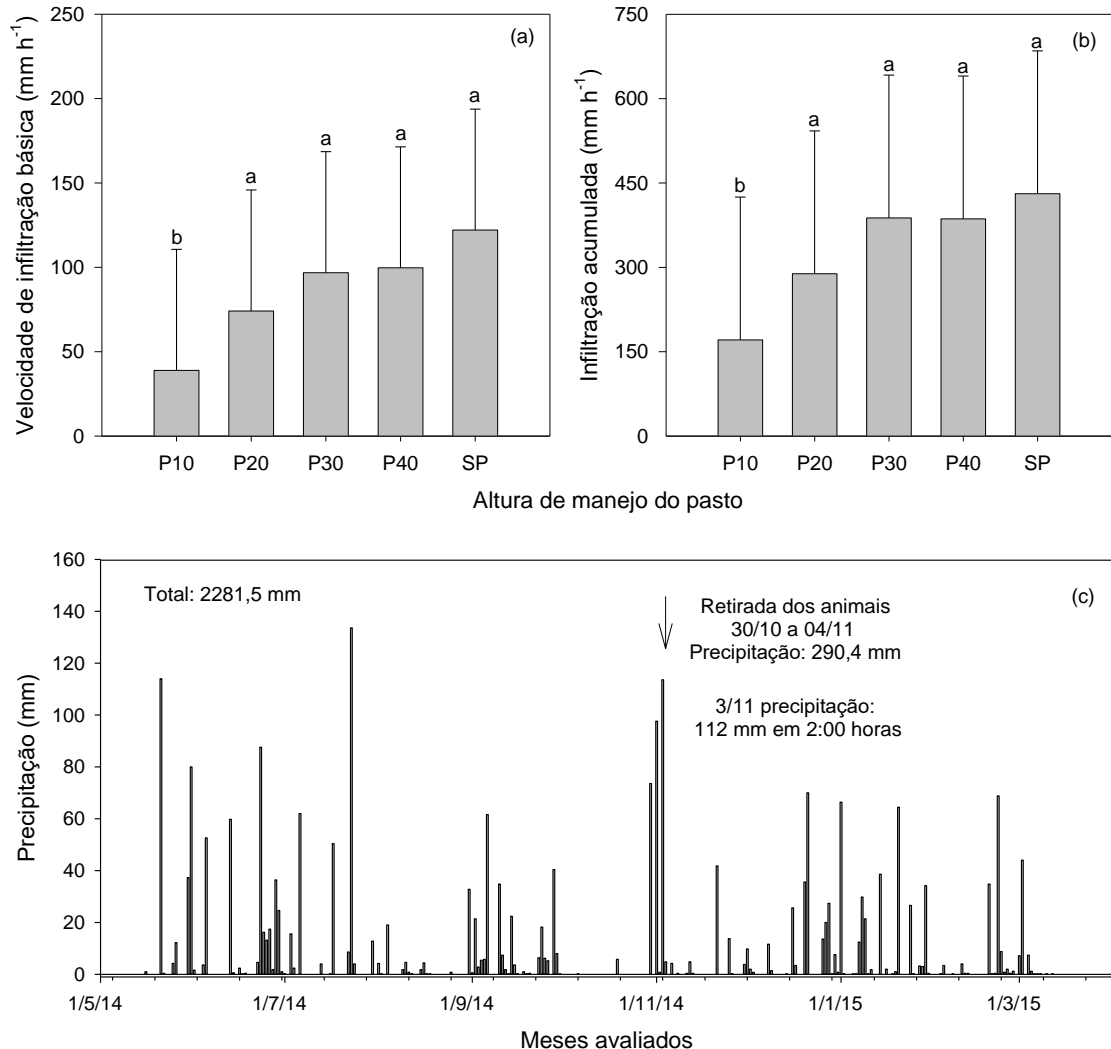


Figura 11. Velocidade de infiltração básica de água no solo⁽¹⁾ (VIB) aos 126 minutos (a) e infiltração acumulada (I_{acum}) após 126 minutos de teste (b) (média dos dados após o pastejo e após o cultivo de soja) e precipitação durante as épocas avaliadas (c) em diferentes alturas de manejo do pasto no sistema integrado soja-bovinos de corte em semeadura direta de longa duração. ⁽¹⁾ Latossolo Vermelho Distroférico. Médias seguidas com letras diferentes diferem pelo teste de Tukey $p \leq 0,05$. Barras representa DMS.

As alturas de manejo do pasto alteraram a configuração da CRA nas camadas do solo estudadas (Figura 12). O menor conteúdo de água no solo ocorreu no P10 e P20 e o maior no P30, P40 e SP, nas tensões de 0,1 a 6 kPa (Figura 12a).

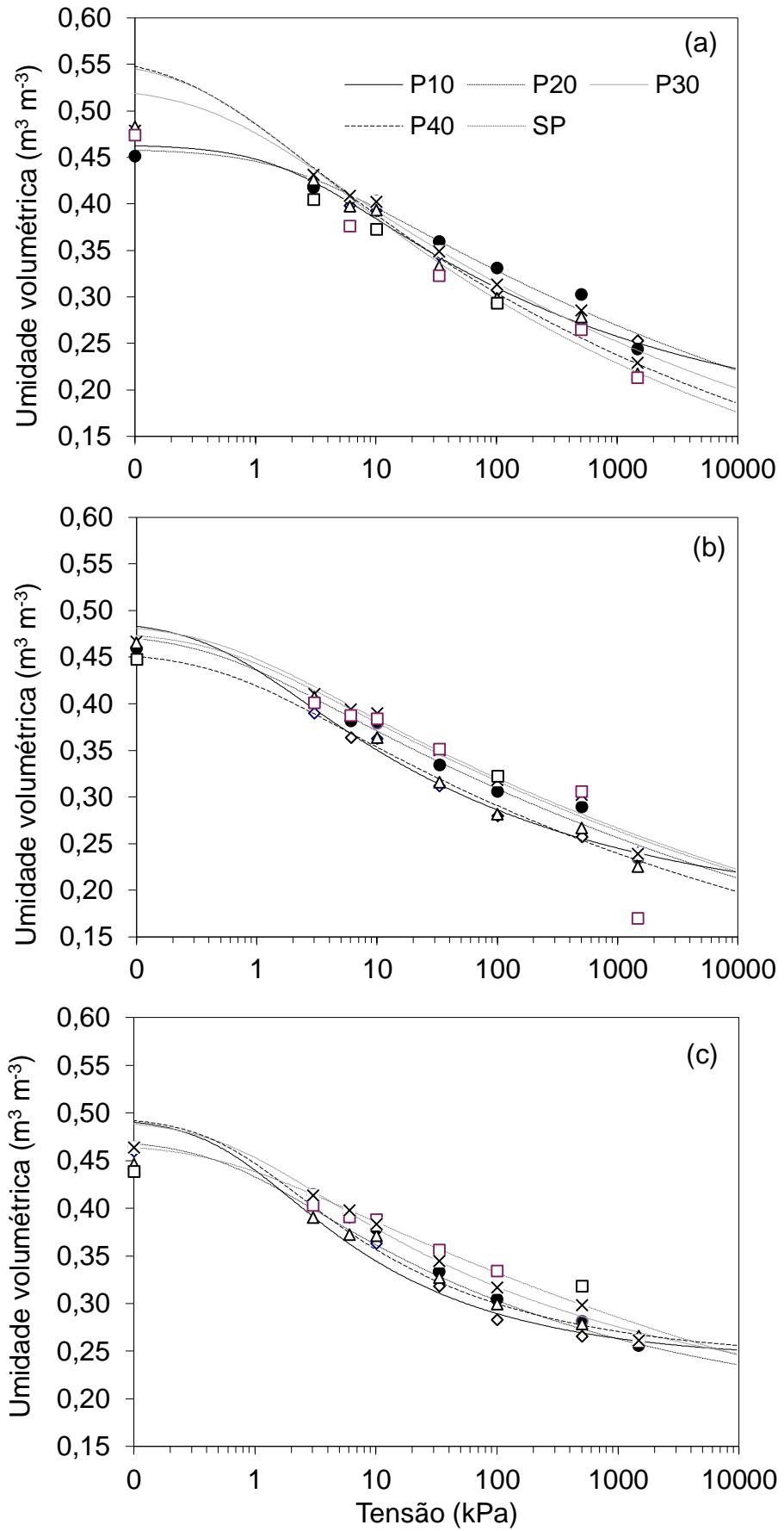


Figura 12. Curva de retenção de água no solo⁽¹⁾ em diferentes camadas, 0-5 cm (a) 5-10 cm (b) e 10-20 cm (c), em diferentes alturas de manejo do pasto no sistema integrado soja-bovinos de corte em semeadura direta de longa duração.
⁽¹⁾ Latossolo Vermelho Distroférico. P10, P20, P30, P40 corresponde à altura do pasto a 10, 20, 30, 40 cm respectivamente e SP, sem pastejo.

No entanto, nas camadas 5-10 e 10-20 cm, houve menor conteúdo de água em potenciais variando de 10 a 1500 kPa no P10 e P20 e maiores conteúdos nos pastejo P30, P40 e SP. (Figura 12b; 12c).

O maior conteúdo de água nas tensões de 0,1 a 6 kPa, como observado no P30, P40 e SP (0-5 cm), é resultado do maior número de poros grandes em função manejo do solo (Figura 13a), sendo que a participação das forças capilares é dominante. O maior conteúdo de água retido nos potenciais, 10 a 1,500 kPa, como observado no P20 na camada 0-5 cm, P20, P30 e SP na camada 5-10 cm e P30 e SP na camada 10-20 cm, pode estar relacionado à ruptura da estrutura pelo pisoteio animal, que causa maior aproximação das partículas e aumenta os efeitos da matriz do solo sobre a água, a partir das forças de adsorção ou tensão superficial na interface ar-água e/ou do teor de MOS (ARAUJO-JUNIOR et al., 2011).

A quantidade de poros com tamanho $>100 \mu\text{m}$ foi maior nos pastejos moderados e SP em comparação com o pastejo intenso (P10) e moderado (P20), na camada de 0-5 cm (Figura 13a). A magnitude dos valores foi de 0,11; 0,9 e $0,6 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ no P40, SP e P30, respectivamente e valores menores que $0,01 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ no P10 e P20. Essas diferenças entre P30, P40, SP e P10, P20, mesmo que menores, também foram encontradas nos poros variando de 50-100 μm . Nas demais camadas (5-10 e 10-20 cm) a magnitude dos valores ($<0,6 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) e as diferenças entre os manejos foram menores e inversos em relação à camada 0-5 cm, com poros maiores que $>100 \mu\text{m}$ em P10 e menor no SP (Figura 13c e 13d). Há maior frequência por tamanho de poros em P30, P40 e SP em relação a P10 e P20 na camada 0-5 cm (Figura 13b). Nas demais camadas, o P10 apresentou maior frequência de poros por tamanho, sendo o inverso do observado na camada superficial de 0-5 cm (Figura 13d e 13f).

O maior volume de poros grandes (nos potenciais de -1 a -10 KPa) em P30, P40 e SP justifica a maior infiltração ocorrida nesses manejos e também está diretamente relacionado a CRA no solo.

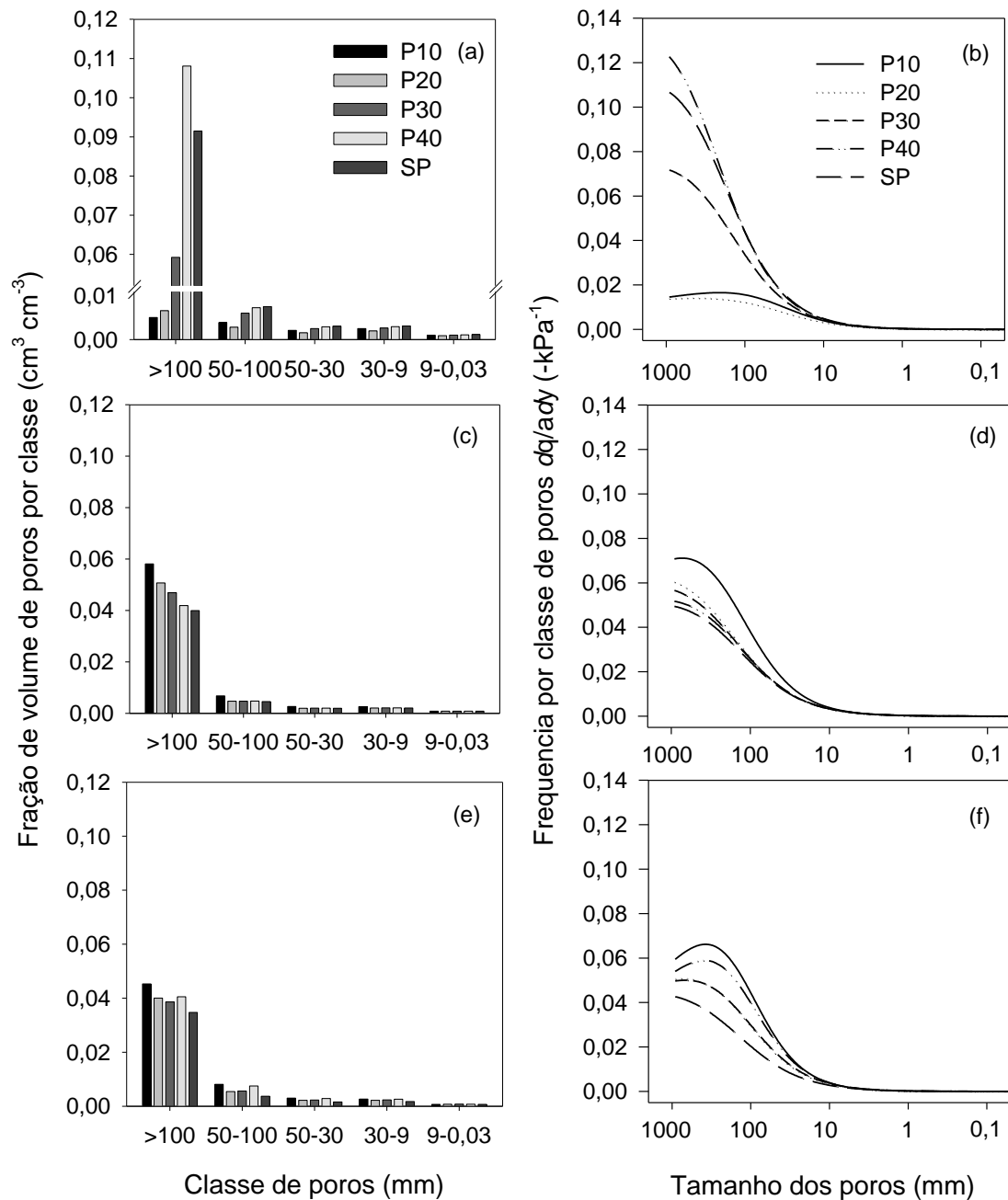


Figura 13. Diâmetro equivalente de poros do solo⁽¹⁾ por classes (a;c;e) e frequência de classe de poros (b;d;f) no solo nas camadas de 0-5 cm (a,b), 5-10 cm (c,d) e 10-20 cm (d,e) em diferentes alturas de manejo do pasto no sistema integrado soja-bovinos de corte em semeadura direta de longa duração. ⁽¹⁾ Latossolo Vermelho Distroférico. P10, P20, P30, P40 corresponde à altura do pasto a 10, 20, 30, 40 cm respectivamente e SP, sem pastejo.

Araujo-Junior et al. (2011), observaram que o solo de mata na camada 0-3 cm apresentou redução abrupta da retenção de água com a redução do potencial matricial, -2 a -6 kPa e de -500 kPa a -1.500 kPa e, provavelmente, isso ocorreu em função da maior distribuição dos poros nas classes > 145 μm e

145-50 μm , e menor na classe de poros $< 0,2 \mu\text{m}$ (microporosidade), bem como ao maior volume total de poros. Essa relação fica clara nas camadas 5-10 e 10-20 cm, onde ocorreu maior volume de poros $>100 \mu\text{m}$ no P10 (Figura 13c e 13e), maior frequência por classe de poros (Figura 13d e 13f), que significa maior água retida em potenciais menores (-0,1 a -1 kPa), observados nas Figuras 12b e 12c.

Os tratamentos mantidos com pastejo moderado e SP apresentaram maior AD na camada 0-5 cm, com pouca variação na camada de 5-10 cm. O P10 e o P40 tiveram menor AD na camada 10-20 cm (Figura 14a). A CAD, considerando a camada efetiva do sistema radicular da soja (0 - 40 cm) e aveia (0 - 30 cm), foi maior no P20, P30, P40 e SP comparando com P10, após cultivo de soja e aveia com pastejo de bovinos (Figura 14b). No entanto, esse resultado necessita de maiores investigações quanto à real camada efetiva do sistema radicular e as diferenças entre os sistemas de manejo da altura do pasto.

A maior disponibilidade de água para as plantas pode representar fator importante frente a possíveis períodos de ausência de precipitação, que não foram frequentes no período deste trabalho, mas que ocorrem na região.

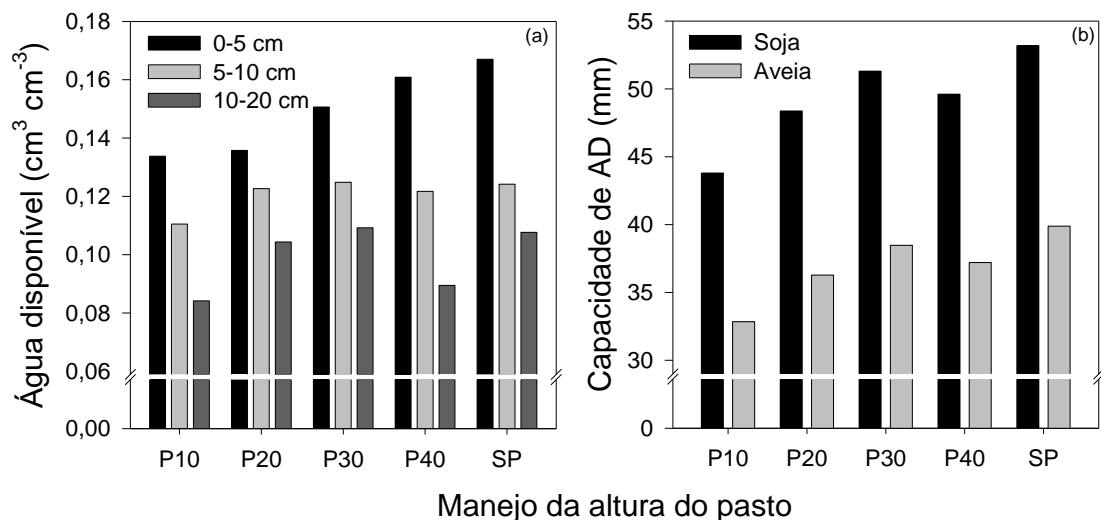


Figura 14. Água disponível (AD) em diferentes profundidades do solo⁽¹⁾ (a) e capacidade de água disponível (CAD) na camada 0-20 cm, em diferentes alturas de manejo do pasto no sistema integrado soja-bovinos de corte em semeadura direta de longa duração. ⁽¹⁾ Latossolo Vermelho Distroférrico. P10, P20, P30, P40 corresponde à altura do pasto a 10, 20, 30, 40 cm respectivamente e SP, sem pastejo.

Foi constatada relação ($p \leq 0,1$) da VIB com a Pt ($r^2 = 0,88$), da Ds com AD ($r^2 = 0,89$) e do teor de MOS com a VIB ($p \leq 0,01$; $r^2 = 0,99$) e com a AD ($p \leq$

0,1; $r^2= 0,89$) (Figura 15). A VIB aumentou de forma quadrática com o aumento da Pt, a AD reduziu com aumento da Ds, e com o maior ter de MOS foi observado maior VIB e AD no solo.

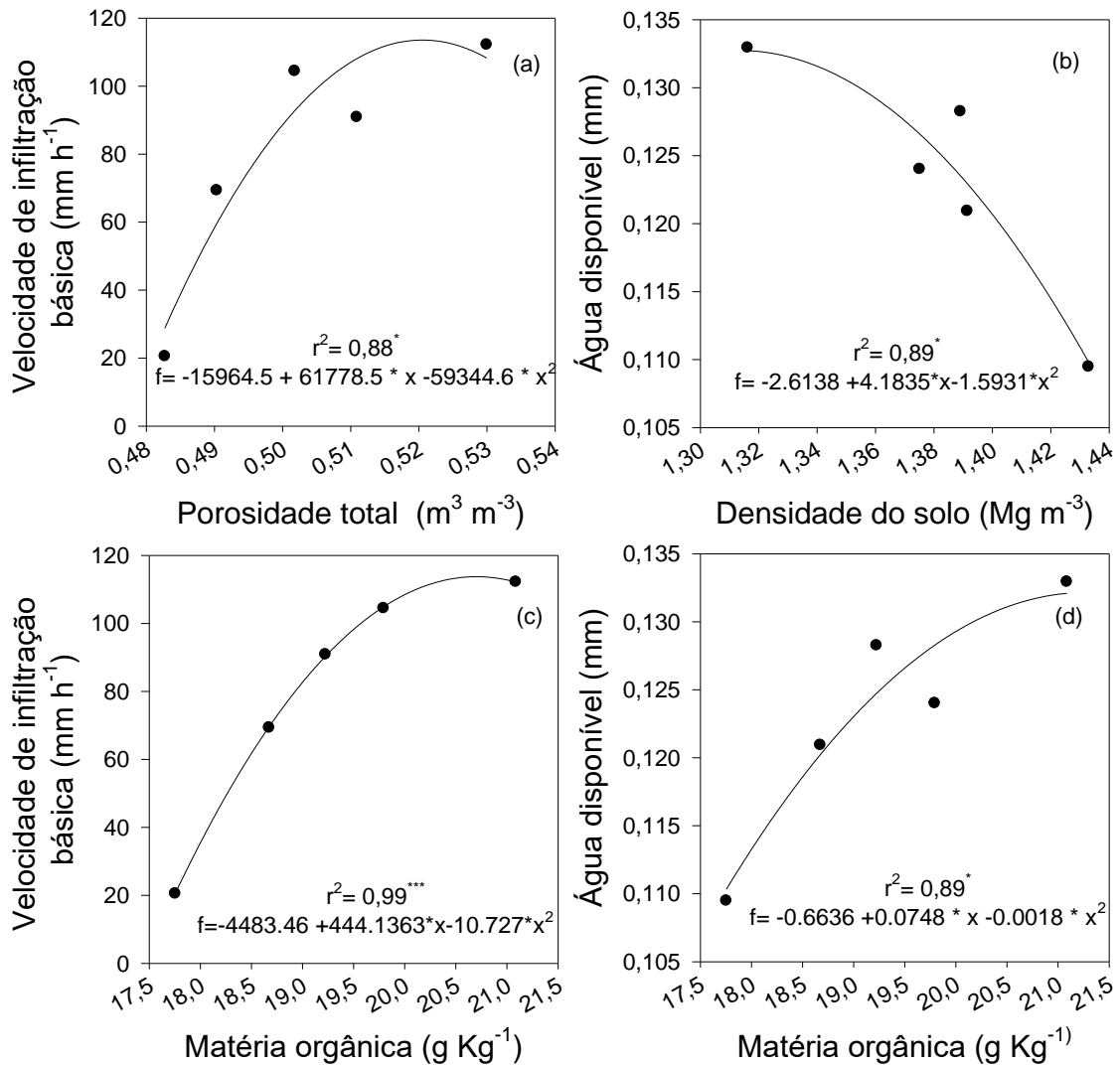


Figura 15. Relação da velocidade de infiltração básica de água no solo⁽¹⁾ (VIB) após pastejo com a porosidade total (Pt), da densidade do solo (Ds) com a água disponível (AD) e da matéria orgânica do solo com a VIB e AD, em diferentes alturas de manejo do pasto no sistema integrado soja-bovinos de corte em semeadura direta de longa duração. ⁽¹⁾ Latossolo Vermelho Distroférico. P10, P20, P30, P40 corresponde à altura do pasto a 10, 20, 30, 40 cm respectivamente e SP, sem pastejo. Foi considerado a média da profundidade 0-20 cm para MOS, Pt e Ds.

O aumento da VIB com o aumento da Pt está relacionado a estrutura do solo, já que a Pt é responsável pela drenagem de água do solo, especialmente os macroporos. A redução da AD com aumento da Ds do solo indica que a compactação nos níveis observados pode contribuir para a expulsão

da água dos poros do solo, possivelmente pela ruptura dos agregados do solo. Já a relação da MOS com a infiltração de água também foi relatada no PD (FRANZLUEBBERS, 2002). Os sistemas com maior altura do pasto mantem o solo coberto por biomassa, que impede o efeito das gotas de chuva sobre o solo, reduz o escoamento superficial de água e aumenta o teor de MOS, importante para a agregação e estrutura do solo, que favorece a infiltração de água.

A MOS tem papel importante na retenção de água no solo principalmente em potenciais maiores, onde a retenção de água a -33 kPa é mais afetada pelo carbono orgânico do que a retenção de água a -1500 kPa (RAWLS et al., 2003). Isto ocorre porque quando o solo está seco, a característica de superfície das suas partículas torna-se mais importante do que a geometria dos poros. O efeito da MOS depende da textura e dos teores de MOS, sendo que solos com textura arenosa são mais dependentes do aumento de MOS para maior retenção de água, em relação a solos argilosos (RAWLS et al., 2003). Esses autores citam ainda que em conteúdo de carbono elevado, um aumento nos conteúdos de carbono resulta em maior retenção de água, resultados que podem estar ocorrendo nos manejos com maior aporte de MOS, como o P30, P40 e SP.

5.4 Conclusões

O pisoteio bovino, especialmente no pastejo mais intenso (10 cm), aumenta a densidade e reduz a porosidade total e a macroporosidade do solo.

O pastejo de bovinos reduz a taxa de infiltração e a infiltração acumulada de água no solo, em relação ao sem pastejo, sendo os mais prejudiciais o pastejo intenso seguido pelo moderado com altura do pasto a 20 cm.

A maior retenção de água ocorre na camada superficial no pastejo moderado e leve e sem pastejo, em potenciais hídricos de 6 e 10 kPa, afetados pelo manejo do pasto.

O volume de poros grandes maior de 100 μm é drasticamente reduzido na camada superficial no pastejo intenso e no pastejo a 20 cm, em comparação com o pastejo a 30 cm e o pastejo leve (40 cm) e sem pastejo.

A maior infiltração de água no solo, por depender diretamente da porosidade e da matéria orgânica e inversamente da densidade do solo, indica o pastejo moderado a 30 cm de altura e leve a 40 cm de altura como os mais favoráveis para a infiltração e retenção de água pelo solo.

6 CAPÍTULO V. TEMPERATURA E UMIDADE DO SOLO EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO SOJA-BOVINOS DE CORTE COM DIFERENTES MANEJOS DA ALTURA DO PASTO

6.1 Introdução

A temperatura do solo (T_s) interfere nos processos químicos, físicos e biológicos no solo, associados ao crescimento de plantas e é alterada por diversos fatores ligados ao manejo, em especial pelas culturas de cobertura e biomassa residual.

No plantio direto (PD) e sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA), o cultivo de plantas o ano todo protege o solo das intempéries climáticas. Uma diferença significativa ocorre no SIPA, onde o pastejo dos animais reduz a biomassa, podendo em determinados períodos, reduzir a proteção do solo, a umidade e alterar a estrutura do solo, aumentando a T_s (VEIGA; REINERT; REICHERT, 2010). A redução da biomassa sobre o solo foi observada no SIPA no Sul do Brasil, onde o manejo do pasto a 10 cm de altura apresentou, no final ciclo de pastejo, biomassa seca residual foi de 1,5 Mg ha⁻¹, enquanto o pasto mantido a 30 cm, ela foi de 4,5 Mg ha⁻¹ (MARTINS et al., 2015). Portanto a redução da cobertura do solo pelo pastejo é dependente do manejo da altura do pasto, que pode ainda afetar a estrutura física do solo (BONETTI et al., 2015) e reduzir o fluxo de calor.

A absorção da energia solar depende da intensidade da radiação e da absorvidade e refletividade do solo, que tem relação com a presença ou ausência da biomassa em sua superfície (STRECK; SCHNEIDER; BURIOL, 1994). Após ser absorvida, a energia solar é transmitida para as camadas do solo, e esse processo é dependente das propriedades térmicas do solo, como o calor específico, a condutividade térmica e a relação entre essas propriedades

(difusividade térmica). As alterações são maiores na camada até 10 cm, onde concentra a maior parte das raízes e atividade dos microrganismos. Entre as camadas, a transferência de calor é controlada pelos mecanismos de condução e convecção e com a alteração na estrutura física, esses processos podem agir de diferentes formas no solo. O fluxo de calor depende da capacidade e da condutividade térmica do solo, que variam com a composição, a densidade e o teor de água no solo.

A condutividade térmica da parte mineral do solo, da água e do ar é, em média, 1,7; 0,6 e 0,026 W/ (m °K), respectivamente, indicando que o calor se transfere principalmente através das partículas sólidas. Em solos compactados e com menor umidade, como em manejo intensivo do pasto, ocorre alterações no fluxo de calor, porque as partículas do solo têm uma menor capacidade de calor e maior condutividade térmica em relação a água, indicando que solos, secos nessas condições, ficam mais rapidamente quentes e frios do que os solos úmidos (LICHT; AL-KAISI, 2005). Portanto, é importante manter o equilíbrio entre a estrutura física e a manutenção da umidade do solo, adequado para a produção agrícola, porque esses fatores estão relacionados às alterações na Ts.

Quantificar os efeitos do sistema de manejo na temperatura, na umidade e na compactação do solo pode ajudar a explicar algumas diferenças no desenvolvimento das plantas (LICHT; AL-KAISI, 2005). O objetivo deste trabalho foi avaliar o impacto da redução da biomassa sobre o solo durante o pastejo de bovinos na umidade do solo, temperatura do solo e amplitude de variação da temperatura do solo, assim como durante no cultivo de soja, em sistema integração soja-bovinos de corte com diferentes alturas do manejo do pasto.

6.2 Material e métodos

Conforme apresentado anteriormente, a descrição e a caracterização do experimento base foram apresentadas no Item 3.1 do Capítulo 3. Para este estudo, são descritos os procedimentos e as metodologias específicas.

Foi determinada a biomassa da pastagem sobre solo, nos meses de pastejo, coletando uma área de 0,5 m², com 3 repetições por parcela. As avaliações Ts e umidade do solo (θ) foram realizadas durante dez meses, sendo

seis meses no cultivo da aveia + azevém e quatro meses no cultivo soja. A T_s foi determinada com termômetros tipo espeto em dois momentos; na ausência de luz solar (04:00 às 6:00 h) e na maior presença de luz solar (12:00 as 14:00 h), nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm, com três repetições por parcela e coleta de dados em três dias seguidos por mês, sendo um dia em cada bloco. Isso ocorreu pela necessidade da coleta de dados dentro do período pré-estabelecido de duas horas em experimento com uma área de 22 ha.

A θ foi determinada em amostras de solo coletadas nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm, em triplicata por parcela, e secagem em estufa a 105 °C por 48 h. Com os dados de T_s foi calculada a amplitude de temperatura do solo dia-noite ($\Delta T_{\text{dia-noite}}$) pela Equação 10.

$$\Delta T_{\text{dia-noite}} = T_{s_{\text{dia}}} - T_{s_{\text{noite}}} \quad (\text{Equação 10})$$

Os dados foram submetidos à análise de variância e quando significativos comparados pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Também foram realizadas análises de regressão, utilizando o sigma plot, para observar a relação entre a T_s e a biomassa sobre o solo no ciclo de pastejo.

6.3 Resultados e discussão

A temperatura média do ar foi de 19,7 °C durante o período de maio de 2014 a março de 2015 e a precipitação foi regular durante esse período, com total de 2.282 mm, estando acima da média histórica da região (Figura 16a). A umidade relativa do ar e a radiação solar foram alteradas a partir do mês de outubro, com aumento da radiação e redução da umidade do ar (Figura 16b). Os dados no momento das amostragens mostram aumento da temperatura do ar no período da tarde acompanhado de aumento da radiação solar, principalmente a partir do mês de outubro (Figura 16c).

O conhecimento dos parâmetros de clima é importante na gestão das fazendas, porque pode contribuir para o manejo adequado do pasto, principalmente relacionado a temperatura e umidade do solo. Ainda, pode contribuir na decisão de época adequada de plantio, sendo que a condição climática tem impacto direto na germinação de sementes, desenvolvimento inicial das culturas e na sua produtividade.

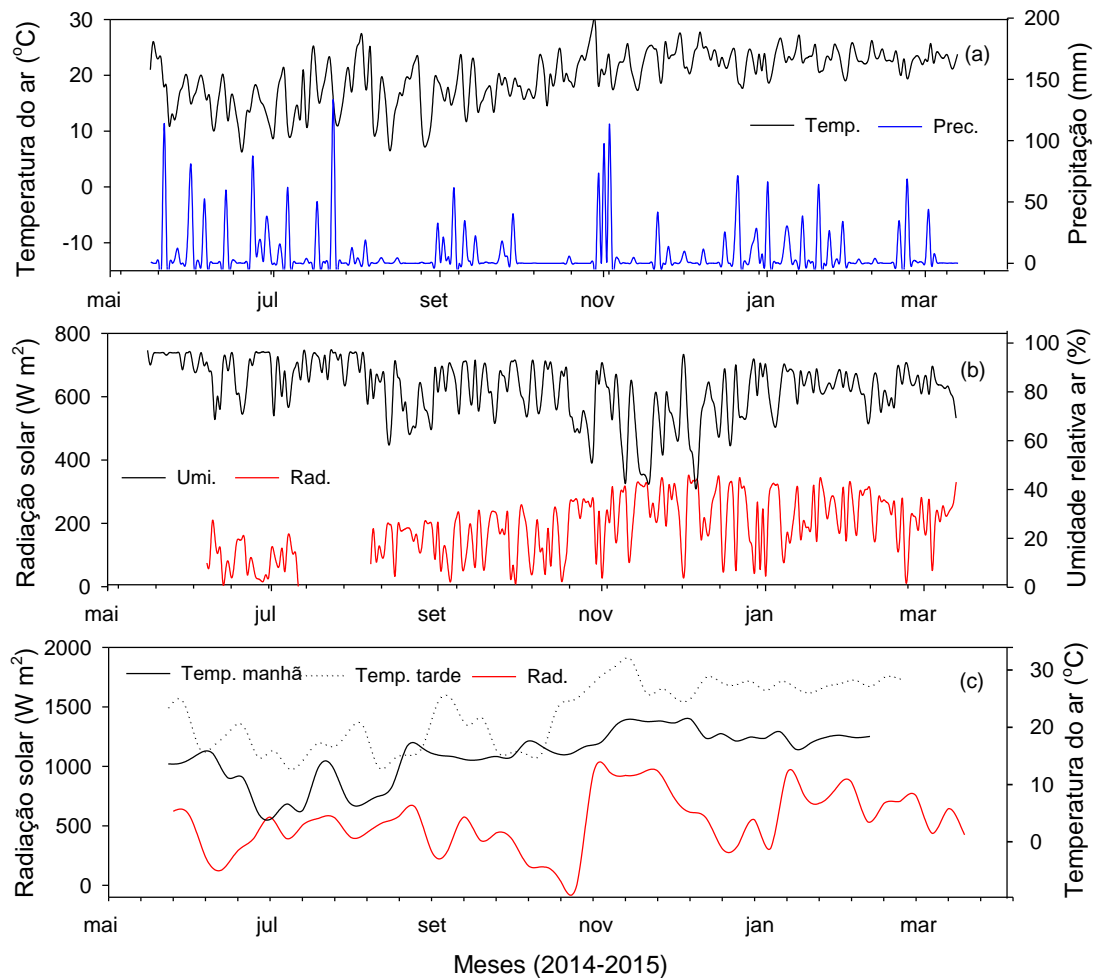


Figura 16. Temperatura do ar e precipitação média diária (a), radiação solar e umidade relativa do ar média diária (b), e radiação solar e temperatura do ar média dos 3 dias de determinação da umidade e temperatura do solo (c). Obs. A ausência de dados de radiação na Figura b é em função do não registro automático pela estação, sendo que os dados de radiação na Figura c foram anotados manualmente nesses períodos.

A cobertura do solo foi alterada de acordo com a altura do pasto (Tabela 4). Após o início do pastejo, no mês de junho, houve ajuste da biomassa da pastagem, seguindo as intensidades de pastejo, com menor biomassa no P10 e maior no SP. A menor biomassa sobre o solo reduz a sua proteção contra os processos erosivos e pode ter impacto direto no aumento da T_s durante o dia e resfriamento durante a noite. O resíduo final, considerando o mês de setembro é diferente entre os sistemas de manejo, e a quantidade de resíduo no pastejo intensivo pode ser insuficiente para repor os teores de MOS, podendo tornar o SIPA, nesta condição, insustentável.

Tabela 4. Biomassa seca durante o ciclo de pastejo em diferentes alturas de manejo do pasto no sistema integrado soja-bovinos de corte em semeadura direta de longa duração (outono-inverno de 2014)

Manejo do pasto ⁽¹⁾	Biomassa seca (Mg ha ⁻¹)			
	Junho	Julho	Agosto	Setembro
P10	1,56	1,13	0,53	0,48
P20	1,37	1,79	2,04	2,14
P30	1,51	2,04	2,78	3,60
P40	1,63	2,68	3,81	4,36
SP	1,83	2,84	4,55	5,81

P10, P20, P30, P40 corresponde à altura do pasto a 10, 20, 30, 40 cm respectivamente e SP, sem pastejo.

A umidade do solo diferiu entre as alturas de manejo do pasto nos meses de setembro, (camadas 0-5 e 5-10 cm), com maior umidade nas áreas pastejada em relação ao SP, dezembro (camadas 5-10 e 10-20 cm), com menor umidade no P10 em relação ao SP e em fevereiro (camadas 0-5, 5-10 e 10-20 cm), com maior umidade no SP em relação as áreas pastejadas (Tabela 5).

A maior umidade do solo em sistemas de manejo com maior cobertura do solo é esperada, e isso está relacionada à sua maior proteção da radiação solar, que interfere na evapotranspiração do solo (ANDRADE et al., 2011), como ocorreu nos meses de dezembro e fevereiro. Entretanto a maior quantidade de biomassa sobre o solo (5,81 Mg ha⁻¹ no SP), teve efeito negativo na umidade do solo em setembro, e isso ocorreu porque as precipitações menores de 20 mm, ocorrida nos dias de avaliações, não atingiram o solo em sua totalidade.

A umidade do solo é importante para reduzir o aquecimento das camadas superficiais do solo, porque ocupa os microporos do solo aumentando a condutividade térmica e a eficiência na transferência de calor entre as camadas do solo (PEZZOPANE, 2002). Resultado semelhante foi observado por Ribas et al. (2015), onde o solo sem cobertura e irrigado apresentou temperatura média do solo de 4,5 °C menor, em comparação com solo sem cobertura não irrigado e esse resultado foi atribuído ao maior consumo de calor latente pela água e, conseqüentemente, menor valor de energia térmica no solo irrigado.

As alterações na Ts, entre os manejos da altura do pasto, foram maiores após o mês de julho no período diurno e noturno, aproximadamente 30 dias após o início do pastejo (Figura 17).

Tabela 5. Umidade em camadas do solo⁽¹⁾ ao longo do tempo em diferentes alturas de manejo do pasto, no sistema integrado soja-bovinos de corte em semeadura direta de longa duração

Manejo do pasto ⁽²⁾	Umidade do solo (m ³ m ⁻³)									
	Meses de avaliações (2014/15)									
	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Março
-----Camada 0-5 cm-----										
P10	0,34 ^{ns}	0,34 ^{ns}	0,43 ^{ns}	0,48 ^{ns}	0,46 ^{ns}	0,40 a	0,25 ^{ns}	0,31 ^{ns}	0,26 b	0,28 ^{ns}
P20	0,32	0,32	0,43	0,51	0,49	0,40 a	0,28	0,35	0,28ab	0,30
P30	0,33	0,30	0,44	0,49	0,49	0,39 a	0,27	0,34	0,29ab	0,30
P40	0,32	0,31	0,43	0,48	0,49	0,39 a	0,28	0,34	0,25 b	0,28
SP	0,31	0,31	0,45	0,48	0,44	0,31 b	0,28	0,35	0,31a	0,29
-----Camada 5-10 cm-----										
P10	0,36 ^{ns}	0,36 ^{ns}	0,41 ^{ns}	0,40 ^{ns}	0,40 ^{ns}	0,37ab	0,28 b	0,35 ^{ns}	0,30 b	0,32 ^{ns}
P20	0,35	0,36	0,40	0,45	0,45	0,37ab	0,31ab	0,38	0,32 b	0,33
P30	0,34	0,35	0,40	0,44	0,45	0,39a	0,30ab	0,36	0,32 b	0,33
P40	0,34	0,35	0,39	0,43	0,44	0,40a	0,31ab	0,38	0,32 b	0,34
SP	0,36	0,37	0,44	0,44	0,43	0,33 b	0,33a	0,40	0,37a	0,35
-----Camada 10-20 cm-----										
P10	0,36 ^{ns}	0,36 ^{ns}	0,39 ^{ns}	0,39 ^{ns}	0,37 ^{ns}	0,38 ^{ns}	0,29 b	0,37 ^{ns}	0,32 b	0,34 ^{ns}
P20	0,36	0,36	0,39	0,41	0,40	0,38	0,31ab	0,38	0,33 b	0,34
P30	0,37	0,37	0,39	0,41	0,40	0,39	0,31ab	0,38	0,34ab	0,34
P40	0,36	0,38	0,40	0,41	0,39	0,38	0,29 b	0,36	0,33 b	0,35
SP	0,37	0,39	0,41	0,44	0,41	0,35	0,34 a	0,40	0,38 a	0,36

⁽¹⁾ Larossolo Vermelho Distroférico. ⁽²⁾ P10, P20, P30, P40 corresponde à altura do pasto a 10, 20, 30, 40 cm respectivamente e SP, sem pastejo. Médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem ($p \leq 0,05$), pelo teste de Tukey. ns: Não significativo ($p \leq 0,05$).

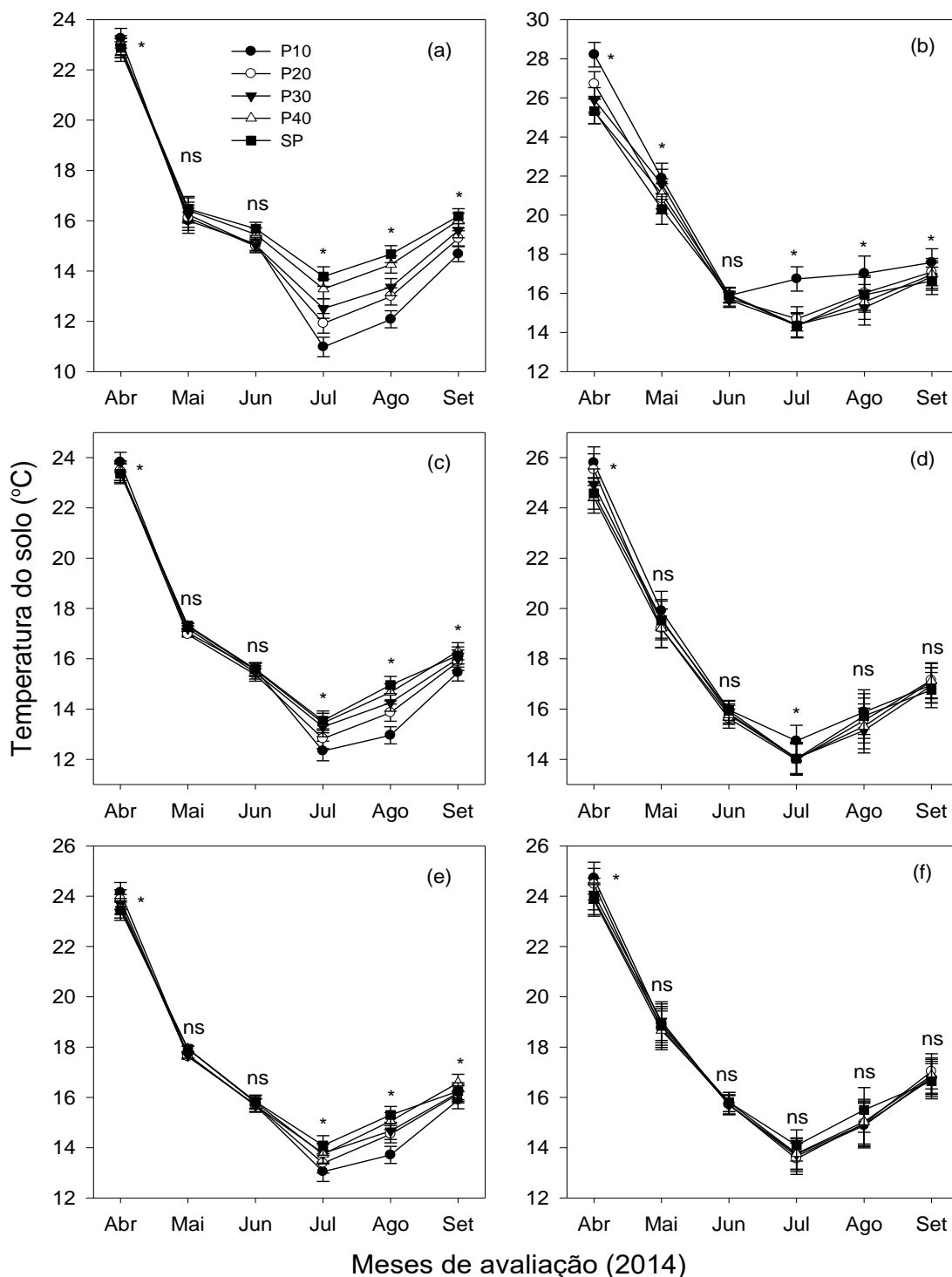


Figura 17. Temperatura do solo⁽¹⁾, camada 0-5 cm das 4 às 6 horas (a) e das 12:00 as 14:00 (b), camada 5-10 cm, das 4 às 6 horas (c) e das 12:00 as 14:00 (d) e camada 10-20 cm, das 4 às 6 horas (e) e das 12:00 as 14:00 (f), durante o desenvolvimento da cultura da aveia, em diferentes alturas de manejo do pasto no sistema integrado soja-bovinos de corte em semeadura direta de longa duração. ⁽¹⁾ Latossolo Vermelho Distroférico. P10, P20, P30, P40 corresponde à altura do pasto a 10, 20, 30, 40 cm respectivamente e SP, sem pastejo. *: significativo comparando tratamentos da altura do pasto; ns: não significativo. Barras são o DMS (p ≤ 0,05), Tukey.

Ocorreu menor Ts no período noturno nos pastejos mais intensos (P10 e P20) nos meses de abril, julho, agosto e setembro (camadas 0-5, 5-10 e 10-20 cm). No período diurno os valores se inverteram, com maior Ts no P10 em abril (camadas 0-5, 5-10 e 10-20 cm), maio (camada 0-5 cm), julho (camadas 0-5 e 5-10 cm) e agosto e setembro (camada 0-5 cm).

As alterações no mês de abril, próximo à semeadura da aveia, estão relacionadas com a baixa cobertura do solo e as altas temperaturas nessa época. A não alteração na Ts em nenhum dos períodos (noturno e diurno) e em nenhuma das camadas no mês de junho coincide com a época de entrada dos animais onde as plantas em crescimento protegem o solo, e também com um dos meses mais frio. Após o mês de junho há redução de biomassa (Tabela 4), que se relacionam com as alterações na Ts.

Durante o cultivo de soja, houve diferenças de Ts em ambos os períodos estudados e camadas avaliadas (Figura 18). No período noturno, ocorre menor Ts nos pastejos mais intensos em dezembro e janeiro (0-5 e 5-10 cm), fevereiro (0-5 e 10-20 cm) e fevereiro e março (0-5 e 5-10 cm). No período diurno houve maior Ts, especialmente no P10 e P20, em dezembro, janeiro e fevereiro (0-5, 5-10 e 10-20 cm) e março (0-5 cm).

A menor Ts nos meses iniciais de desenvolvimento da soja, principalmente no P10 e P20, estão relacionados ao baixo volume de biomassa residual, com aumento da incidência de raios solares sobre a superfície, onde ocorre maior compactação do solo, que aumenta a condutividade térmica no solo (ABUEL-NAGA et al., 2009). A Ts pode afetar a germinação das sementes e o desenvolvimento das plantas, onde a temperatura ideal para germinação de sementes de soja varia de 20-30 °C (SETIYONO et al., 2010), que aliado a umidade adequada contribui para a maior e mais rápida germinação de sementes (TYAGI; TRIPATHI, 1983).

Foi observado Ts durante o dia no mês de dezembro maior de 28 °C em todas as camadas do P10 e P20, sendo que no P10 atingiu 32 °C na camada de 5 cm), que pode causar redução da germinação das sementes. Essa alteração na Ts pode ajudar a explicar os resultados de Martins et al. (2015) que observaram, na mesma área experimental, 38 plantas/m² no P10 e 45 plantas/m² no SP. Ribas et al. (2015) observaram em Santa Maria - RS, região próxima a

este estudo, T_s (camada de 5 cm, às 15:00 horas) de 40 °C em solo sem cobertura e irrigação, e 28 °C em solo com cobertura de palha, em outubro.

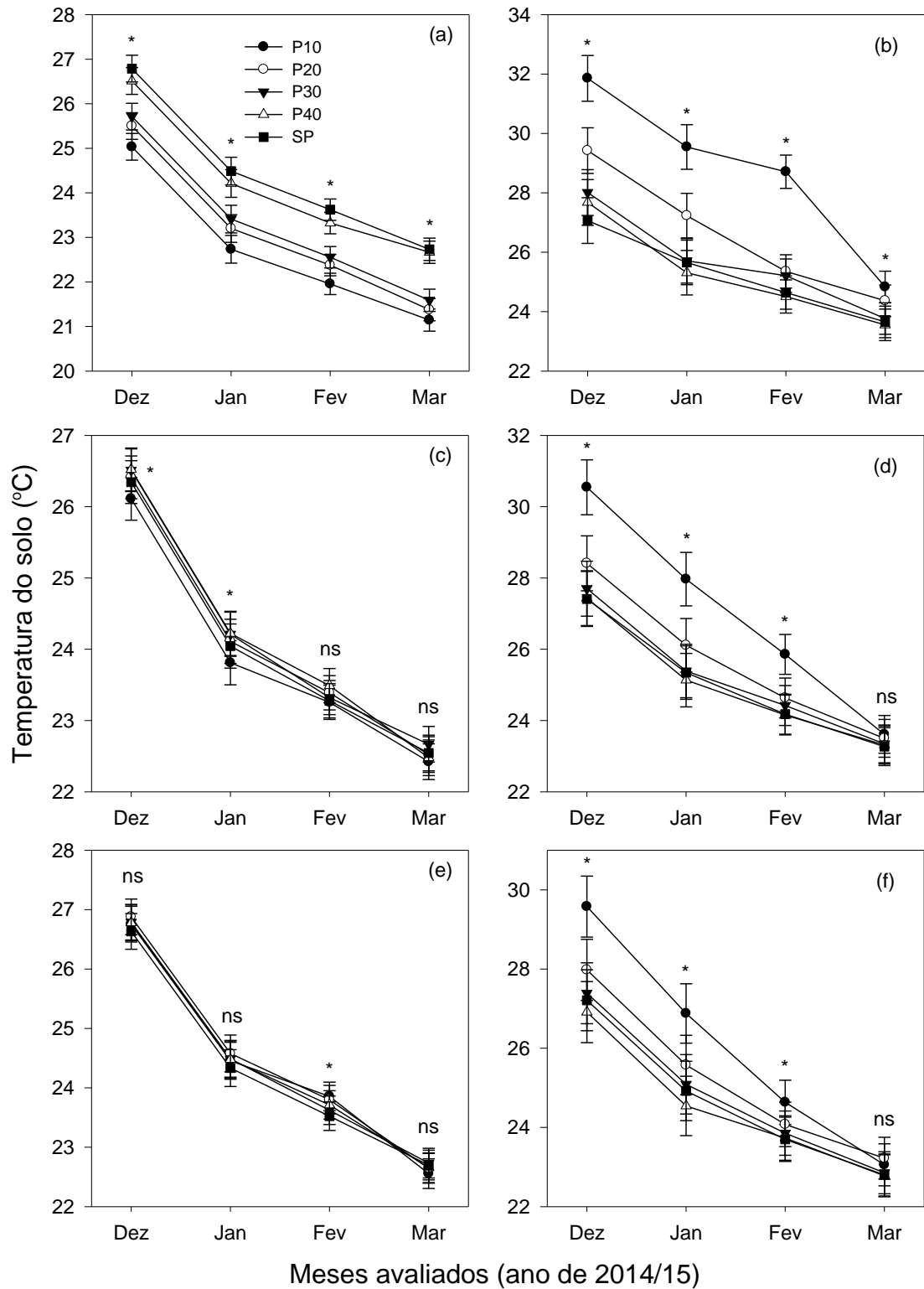


Figura 18. Temperatura do solo⁽¹⁾, camada 0-5 cm das 4 às 6 horas (a) e das 12:00 as 14:00 (b), camada 5-10 cm, das 4 às 6 horas (c) e das 12:00 as 14:00 (d) e camada 10-20 cm, das 4 às 6 horas (e) e das 12:00 as 14:00 (f), durante o

desenvolvimento da cultura da soja, em diferentes alturas de manejo do pasto no sistema integrado soja-bovinos de corte em semeadura direta de longa duração. ⁽¹⁾ Latossolo Vermelho Distroférico. P10, P20, P30, P40 corresponde à altura do pasto a 10, 20, 30, 40 cm respectivamente e SP, sem pastejo. *: significativo na comparação de tratamentos da altura do pasto; ns: não significativo. Barras: DMS ($p \leq 0,05$), Tukey.

Houve diferença de variação de Ts dia-noite ($\Delta T_{\text{dia-noite}}$) entre os tratamentos, onde os pastejo intenso (P10) e moderado (P20) apresentaram os maiores valores (Figura 19).

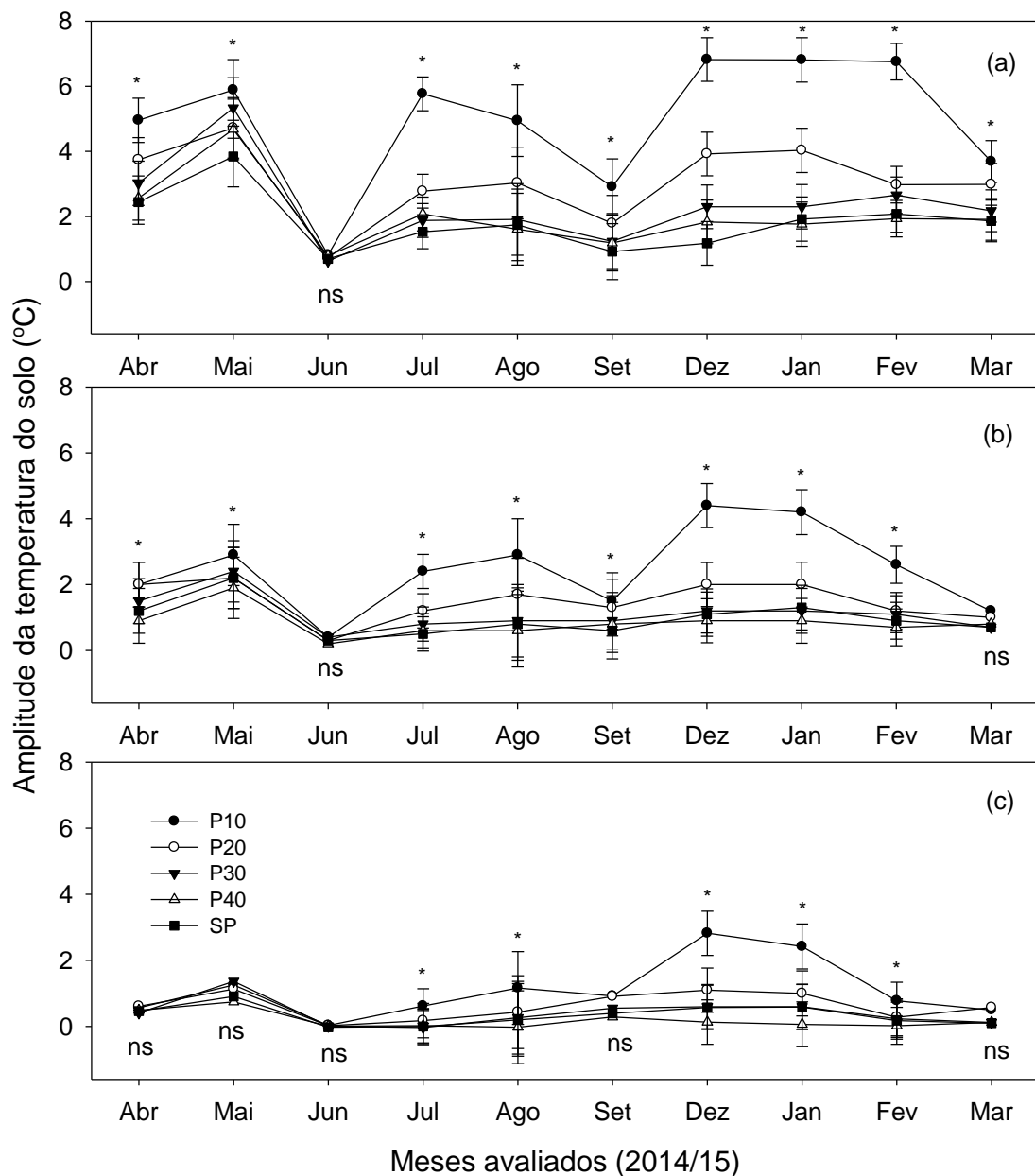


Figura 19. Amplitude da temperatura do solo⁽¹⁾ durante o desenvolvimento da aveia preta e da soja, em diferentes alturas de manejo do pasto no sistema integrado soja-bovinos de corte em semeadura direta de longa duração. ⁽¹⁾ Latossolo Vermelho Distroférico. P10, P20, P30, P40 corresponde à altura do pasto a 10, 20,

30, 40 cm respectivamente e SP, sem pastejo. *: significativo na comparação de tratamentos de manejo da altura do pasto; ns: não significativo. Barras são DMS ($p \leq 0,05$), Tukey.

Essas diferenças ocorreram nos meses de abril e maio (camadas 0-5 e 5-10 cm), julho e agosto (camada 0-5, 5-10 e 10-20 cm), setembro (camadas 0-5, 5-10 cm), dezembro, janeiro e fevereiro (camadas 0-5, 5-10 e 10-20 cm) e março (camada 0-5 cm). Valor expressivo ocorreu (camada 0-5 cm) (Figura 19a) no período pastejado e nos meses mais quentes no cultivo soja (Figura 16).

As maiores amplitudes ocorreram no pastejo intenso e no pastejo moderado P20, devido a redução da cobertura do solo. O maior conteúdo das partículas aumenta a condutividade térmica (ABUEL-NAGA et al., 2009), que na parte mineral do solo é em média $1,7 \text{ W / m } ^\circ\text{K}$. As variações na T_s , em curto tempo, estão relacionadas a atividade dos microrganismos no solo, medidos pelo fluxo de CO_2 (CURIEL YUSTE et al., 2007). Em curto período, a decomposição da MOS foi controlada pela temperatura durante os períodos de chuva e pelo efeito combinado de água e temperatura na seca (CURIEL YUSTE et al., 2007).

As alterações na biomassa estão diretamente relacionadas as variações da T_s , especialmente a $\Delta T_{\text{dia-noite}}$ (Figura 20).

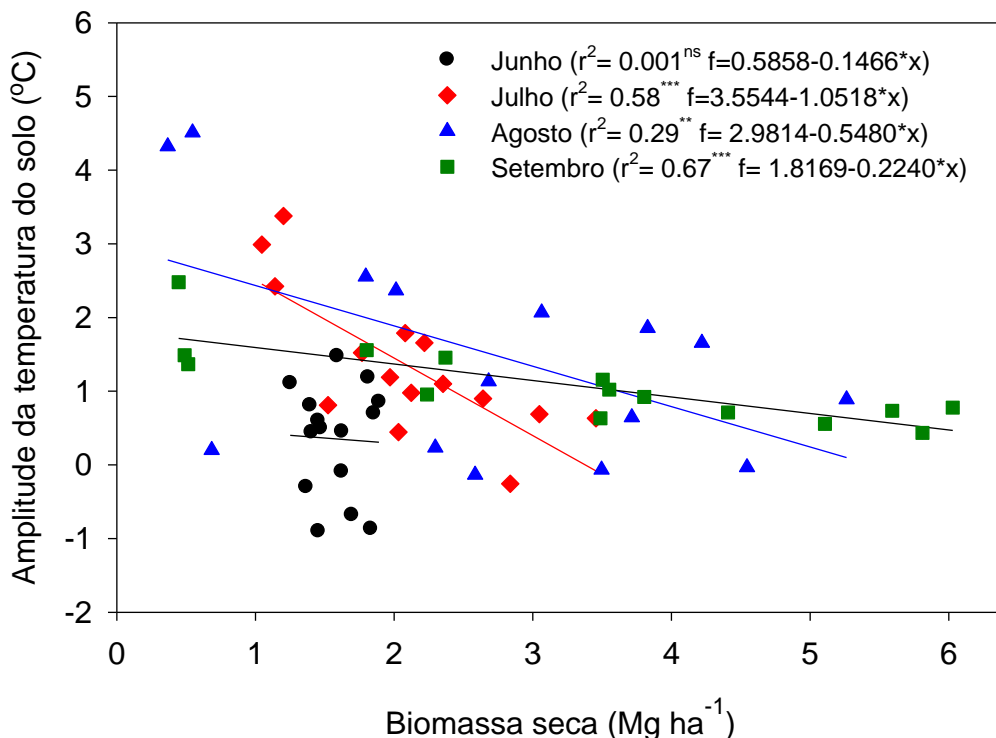


Figura 20. Relação da biomassa seca sobre o solo⁽¹⁾ e a amplitude de temperatura dia-noite ($\Delta T_{\text{dia-noite}}$) da camada 0-20 cm, em diferentes alturas

de manejo do pasto no sistema integrado soja-bovinos de corte em semeadura direta de longa duração. ⁽¹⁾ Latossolo Vermelho Distroférico. ^{ns}: não significativo. ^{**}: significativo pelo teste de tukey ($p \leq 0,05$). ^{***}: significativo pelo teste de tukey ($p \leq 0,01$).

Nos meses de julho, agosto e setembro houve relação negativa ($p \leq 0,05$) da biomassa seca com $\Delta T_{\text{dia-noite}}$. Apenas no mês de junho não houve relação da biomassa seca com a $\Delta T_{\text{dia-noite}}$ ($p \leq 0,05$), indicando que o aumento da proteção do solo dos raios solares ajudou a reduzir o efeito da radiação solar no solo. Assim, o manejo do pasto está diretamente relacionado com a T_s e principalmente com a variação de temperatura no solo, e possivelmente com o fluxo de calor no solo.

6.4 Conclusões

Os sistemas de manejo do pasto alteram a quantidade de biomassa sobre o solo durante e ao final do ciclo de pastejo, em que o pastejo intenso é o que mais reduziu a cobertura do solo.

A redução da cobertura do solo pelo pastejo não tem grande impacto na umidade do solo, e isso pode estar relacionado à regularidade e à quantidade adequada de precipitação.

A redução da cobertura pelo pastejo altera a temperatura no perfil do solo nos períodos noturno e diurno, especialmente no pastejo intenso e no pastejo moderado (20 cm), que resultam em temperatura do solo mais alta. Esse efeito persiste durante o cultivo da soja, com maior ocorrência no período diurno.

A amplitude da temperatura do solo aumenta com o manejo da altura do pasto, tanto no ciclo de pastejo como nos meses iniciais de desenvolvimento da soja, sendo maiores no pastejo intenso e no pastejo moderado.

7 CAPÍTULO VI. PARÂMETROS DE FLUORESCÊNCIA DA CLOROFILA, TEMPERATURA DA FOLHA E NDVI DE AVEIA PRETA EM INTEGRAÇÃO SOJA-BOVINOS DE CORTE COM DIFERENTES MANEJOS DA ALTURA DO PASTO

7.1 Introdução

No Sul do Brasil, a aveia preta é a forrageira anual de inverno mais cultivada para pastejo; e a manutenção de elevada produção de biomassa em sistemas de integração bovinos-soja é fundamental para o fornecimento de alimento aos animais e de resíduo suficiente para manutenção ou aumento da matéria orgânica do solo (MOS). Sabe-se também que o manejo do pasto nesse sistema integrado de produção pode afetar o estado hídrico da pastagem e, posteriormente, da soja com alterações no desenvolvimento das plantas, como aumento da demanda de pressão de vapor e temperatura da folha (COSTA, 2014).

A determinação de parâmetros relacionados ao desenvolvimento fisiológico da planta, como a temperatura da folha (T_f), que é sensível a mudanças na condição hídrica da planta, podendo ser empregado para a caracterização do estresse hídrico (CURE; FLAGLER; HEAGLE, 1989). Isto, porque a T_f é o resultado do balanço de energia da planta, sendo controlada pela interface folha-atmosfera (JONES, 2014), ocorrendo aumento da T_f em função da redução da transpiração, resultado do estresse hídrico ou aumento da temperatura do ar. Alguns parâmetros ligados à T_f podem ser determinados, como a variação de T_f e temperatura do ar ($\Delta T_{\text{folha-ar}}$) e a demanda de pressão de vapor folha-ar ($DVP_{\text{folha-ar}}$). A $\Delta T_{\text{folha-ar}}$ é alterada diretamente pela temperatura do ar (GONZALEZ-DUGO et al., 2015) e a $DVP_{\text{folha-ar}}$ representa a demanda de transpiração da planta, uma vez que a perda de água na folha depende da

DPV_{folha} e da DPV_{ar}, sendo estas influenciadas pela temperatura do ar. A cultura da soja, avaliada de 24 a 26 dias após a semeadura, em sequência ao pastejo bovino em aveia preta apresentou maior DPV_{folha-ar} no pastejo intenso em relação ao pastejo moderado, leve e sem pastejo no período noturno (4:00 horas às 6:00 horas) e menor DPV_{folha-ar} nos pastejos moderados e leve no período diurno (12:00 horas às 14:00 horas) (COSTA, 2014).

Outros parâmetros podem ser utilizados para o entendimento do desenvolvimento das plantas, como a emissão de fluorescência de clorofila, que é um método rápido e não destrutivo de avaliação do estado do fotossistema II (PSII) (JONES et al., 2015; KIRKHAM, 2005). A fluorescência é parte da energia absorvida pelas moléculas de clorofila, que é dissipada na forma de radiação. Os elétrons recebem a energia da luz, passam de um estado normal para um estado excitado e quando voltam ao estado normal, parte da energia que não é utilizada para a conversão em ATP e NADPH₂ é liberada na forma de radiação (MAXWELL; JOHNSON, 2000). Em temperatura variando de 20 a 25°C, a radiação exibe um ponto máximo de emissão na faixa de 682 nm e outro ponto menos pronunciado em 740 nm (KRAUSE; WEIS, 1984). Nessa temperatura de 20 a 25°C, a fluorescência da clorofila *a* é emitida, predominantemente, pelo PSII e pelo sistema coletor de luz do PSII (*Light-Harvesting Complex II - LHClI*). Já a emissão de fluorescência proveniente do fotossistema I (PSI) parece contribuir para a fluorescência basal (KRAUSE; WEIS, 1984, 1991).

Portanto, a sensibilidade da atividade do PSII a fatores abióticos e bióticos tornou a fluorescência uma técnica importante não só para a compreensão dos mecanismos fotossintéticos, mas também como indicador de como as plantas respondem a mudanças ambientais (MURCHIE; LAWSON, 2013). Estudos indicam que a alta temperatura do ar causa dano fotoquímico, sendo o PSII o componente fotossintético mais suscetível a sofrer danos irreversíveis (QIU; LU, 2003). Altas temperaturas do ar, aliados ao déficit hídrico pode reduzir a concentração intercelular de CO₂, em função do fechamento estomático, e afetar a assimilação de CO₂ e eficiência quântica do PSII (BAKER, 1993). Ocorrem também limitações em componentes não estomáticos, com danos nos centros de reação do foto PSII, que podem apresentar reversão parcial após reidratação (ANGELOPOULOS; DICHIO; XILOYANNIS, 1996).

O desenvolvimento da planta tem impacto na sua produção de biomassa e quantificá-la pode ajudar a identificar o pastejo adequado e a relação biomassa produzida/e consumido e resíduo remanescente no solo. A maneira tradicional de determinar esse parâmetro é pela colheita da biomassa, metodologia que demanda tempo e mão de obra. O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) foi proposto por Rouse et al. (1973) para fins de quantificação do crescimento da vegetação, sendo; $NDVI = (\rho_{nir} - \rho_r) / (\rho_{nir} + \rho_r)$, onde ρ_{nir} e ρ_r são as refletâncias no infravermelho próximo e no vermelho, respectivamente.

O NDVI é uma ferramenta útil para o monitoramento de lavouras e pode ser usado em conjunto com a fluorescência da clorofila para avaliar o crescimento de planta (MURCHIE; LAWSON, 2013). A sua sensibilidade a alterações da biomassa verde, facilidade de uso e aplicabilidade em estudos de grande escala (DURANTE; OYONARTE; VALLADARES, 2009) e em diferentes usos do solo (GOVAERTS; VERHULST, 2010; WANG et al., 2014) são características que justificam seu uso. Assim, o NDVI pode ser utilizado no monitoramento das pastagens, servindo de indicativo do desenvolvimento das plantas e da oferta de forragem aos animais.

Estudos têm indicado que o NDVI foi altamente correlacionado com a produção de biomassa de milho ($r^2=0,98$) e trigo ($r^2=0,71$) avaliados na floração (VERHULST et al., 2011), indicando seu potencial na quantificação da quantidade de biomassa. No SIPA o NDVI pode ser usado para quantificar a produção de biomassa e direcionar o manejo dos animais em pastejo.

O objetivo do presente estudo foi de avaliar a temperatura da folha, os parâmetros da fluorescência da *clorofila a* de aveia preta e a aplicabilidade do NDVI na quantificação da produção de biomassa em sistema integração soja-bovinos de corte com diferentes alturas de manejo do pasto.

7.2 Material e métodos

Conforme nos estudos anteriores, o experimento base foi descrito no Item 3.1 do Capítulo 3. Agora, é apresentada a metodologia referente a este estudo.

As avaliações ocorreram durante cinco meses do desenvolvimento da aveia preta, com três dias de avaliação, sendo um dia em cada bloco. Foi determinada a T_f e a partir dessa calculado a variação de temperatura folha-ar ($\Delta T_{\text{folha-ar}}$) e a demanda de pressão de vapor folha-ar ($DPV_{\text{folha-ar}}$). Foi determinado os parâmetros de fluorescência: fluorescência inicial (F_0), fluorescência máxima (F_m), fluorescência variável (F_v) e relação fluorescência variável/fluorescência máxima (F_v/F_m) no período noturno (4:00 às 6:00 horas); e fluorescência basal (F_s), fluorescência máxima (F_{ms}), fluorescência variável (F_{vs}), eficiência quântica ($Yield$) que é a relação da F_{vs}/F_{ms} e taxa de transporte de elétrons (ETR), no período diurno (12:00 às 14:00 horas). Foi determinado também o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) e a biomassa seca do pasto.

A T_f foi determinada com um termômetro infra-vermelho, marca Incoterm, modelo SCANTEMP ST-600 de amplitude térmica de -10 a 60 °C, emissividade padronizada em 0,98 ($W\ m^{-2}$) e um campo de visão de 2.8°. Foram analisadas em triplicata por parcela, sendo uma em cada planta. As leituras foram realizadas em seis folhas da planta, a aproximadamente 15 cm do centro da superfície da folha adaxial (BERLINER et al., 1984). Com os dados de T_f e de temperatura do ar foram calculados a $\Delta T_{\text{folha-ar}}$, e $DPV_{\text{folha-ar}}$ (JONES, 2014).

$$\Delta T_{\text{folha-ar}} = T_f - T_a \quad (\text{Equação 11})$$

$$DPV_{\text{ar-ar}} = 613,75 \exp[(17,502 \cdot T_a / 240,97 + T_a)] - \{h \cdot 613,75 \exp[(17,502 \cdot T_a / 240,97 + T_a)]\} \quad (\text{Equação 12})$$

$$DPV_{\text{folha-ar}} = DPV_{\text{ar-ar}} + S (T_f - T_a) \quad (\text{Equação 13})$$

onde; T_a = Temperatura do ar; T_f = Temperatura da folha; S = inclinação da curva de pressão de vapor de saturação.

As leituras de fluorescência foram realizadas por fluorômetro marca OPI-SCIENCES modelo OS1-FL. Foi selecionada uma planta por repetição e realizadas leituras em seis folhas do terço superior da planta. Foi observado o ângulo de contato da folha em relação aos cabos de fibra ótica, já que esse ângulo de radiação solar direta se desloca ao longo das horas de avaliação, podendo provocar sombreamento da folha (LOGAN; ADAMS; DEMMIG-ADAMS, 2007). O rendimento quântico efetivo (ϕ_{IIe}) do PSII foi usado para estimar a taxa de transporte de elétrons no tecido fotossintetizante, sendo que o fluxo de fótons fotossintéticos (FFF) incidente no tecido foi calculado. Considerando que 1 μmol

de fótons causa a excitação de 1 μmol de elétrons da clorofila, verifica-se que o ϕ_{IIe} representa a proporção dos elétrons que são usados na fase fotoquímica (redução do NADP). Sendo assim, ETR pode ser definida pela Equação 14;

$$\text{ETR} = \phi_{IIe} \times \text{FFF} \times 0,84 \times 0,50 \quad (\text{Equação 14})$$

em que: ϕ_{IIe} é o rendimento quântico efetivo; FFF o fluxo de fótons fotossintéticos; 0,84 é a porcentagem de da luz incidente sobre a folha que é absorvida pelas moléculas de clorofila e; 0,5 é a porcentagem (50%) dos fótons ativando as moléculas de clorofila associada ao PSII e 50% dos fótons ativando as moléculas associadas ao PSI.

O NDVI foi determinado com o GreenSeeker Handheld Crop Sensor, marca Trimble. Foram selecionados três pontos aleatórios, geralmente próximos das demais análises e realizadas seis leituras em cada repetição, com o GreenSeeker variando de 0,8 a 1,0 m de altura em relação ao dossel. A biomassa seca foi avaliada em triplicata, coletando a biomassa sobre o solo em uma área de 0,25 m² e secando as amostras para obter o peso de biomassa seca.

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F e quando significativo, as médias foram comparadas pelo teste Scott-Knoot ($p \leq 0,1$). Foi realizada análise de regressão da variação da temperatura da folha (dia-noite) com a variação de demanda de pressão de vapor e temperatura da folha e índice de vegetação por diferença normalizada com biomassa seca ($p \leq 0,01$).

7.3 Resultados e discussão

Os dados meteorológicos registrados nos dias das amostragens (Tabela 6) indicam variações, sendo maio o mês mais quente no período diurno (12:00 horas às 14:00 horas) e julho, o mês mais frio no período noturno (4:00 as 6:00 horas). Ocorreram poucas variações climáticas durante os dias de análises, e apenas no último dia de avaliação, em setembro, houve ocorrência de chuva, com 1,4 mm período matutino e 37 mm período vespertino. A radiação solar foi maior nos meses de maio, julho e agosto e com diferenças entre umidade relativa dia-noite, ocorrendo com maior intensidade nos meses de maio, julho e agosto.

As maiores variações de temperatura dia-noite (amplitude) ocorreram em maio, com 10,3 °C, em julho com 8,9 °C, e em agosto com 7,2 °C (Tabela 6). Estudos em ambiente controlado (HATFIELD; PRUEGER, 2015), mostraram que as temperaturas mais quentes aumentam a taxa de desenvolvimento fenológico sem, no entanto, qualquer efeito sobre a área da folha ou a biomassa, em comparação com as temperaturas adequadas, no caso, plantas de milho. A temperatura adequada para o desenvolvimento da aveia preta ocorre entre 20 °C e 25 °C, (SÁ, 1995), sendo que, nesse trabalho, a menor temperatura média foi de 7,9 °C e a maior, 24 °C.

Tabela 6. Parâmetros meteorológicos nos dias e horários de coleta de dados, diurno (4:00 às 6:00 horas) e noturno (12:00 às 14:00 horas), na cultura da aveia, em diferentes alturas de manejo do pasto no sistema integrado soja-bovinos de corte em semeadura direta de longa duração

Mês/ 2014	Período	Tempera- tura (°C)	Radiação solar (W/m ²)	Precipitação (mm)	Umidade do ar (%)	ET ⁽¹⁾ (mm)
Mai	Noturno	13,7	0,0	0,0	93,7	0,1
	Diurno	24,0	605,4	0,0	56,2	0,8
Jun	Noturno	13,9	0,0	0,0	92,7	0,2
	Diurno	17,3	336,5	0,0	83,3	1,8
Jul	Noturno	7,9	0,0	0,0	90,3	0,2
	Diurno	16,8	501,3	0,0	61,7	3,7
Ago	Noturno	10,8	0,0	0,2	89,0	0,2
	Diurno	18,1	461,5	0,0	69,2	3,6
Set	Noturno	14,8	0,0	1,4	87,7	0,5
	Diurno	17,4	196,5	37,2	84,7	1,8

⁽¹⁾ ET= Evapotranspiração calculada pela estação meteorológica. Período noturno: Avaliações das 04:00 horas as 6:00 horas. Período diurno: Avaliações das 12:00 horas as 14:00 horas.

No período noturno as plantas de aveia submetidas ao pastejo tiveram maior Tf em relação ao SP no mês de julho (mês mais frio durante a noite), e as plantas no manejo P40 e SP tiveram maior Tf no mês de setembro (mês mais quente no período noturno) (Figura 21a). No período diurno as plantas no manejo P10, P20 e P30 tiveram maiores Tf no mês de agosto (Figura 21b). Na coleta do mês de setembro ocorreu precipitação em alguns períodos do último dia de amostragem, que pode ter algum impacto sobre os resultados. Isto porque, na presença de água, a planta aumenta sua taxa de transpiração, condutância

estomática e taxa de assimilação de CO₂, reduzindo os efeitos da temperatura do ar e mantendo a Tf em níveis adequados.

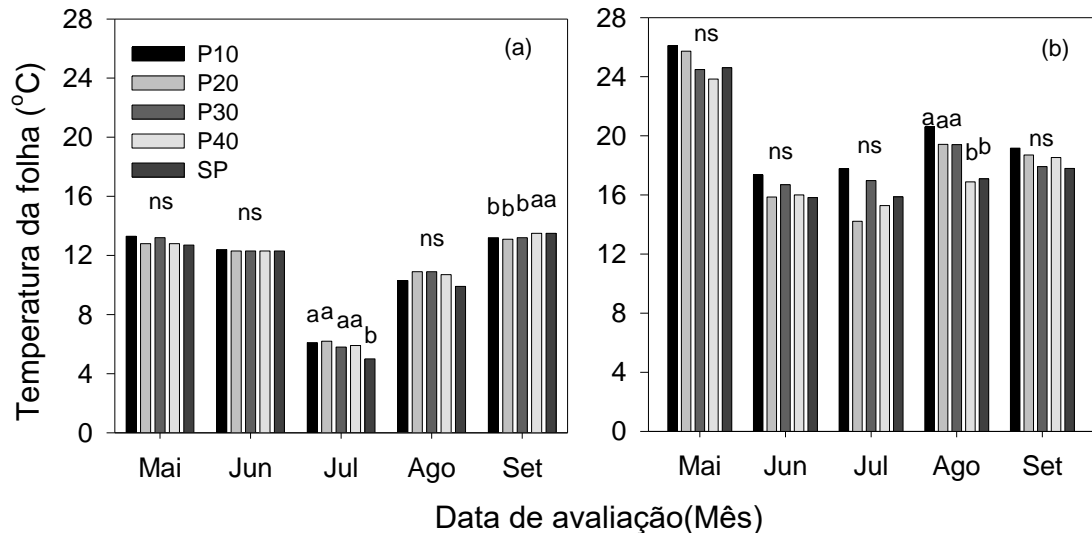


Figura 21. Temperatura da folha de aveia no período noturno (a) e diurno (b), em diferentes alturas de manejo do pasto no sistema integrado soja-bovinos de corte em semeadura direta de longa duração. P10, P20, P30, P40 corresponde à altura do pasto a 10, 20, 30, 40 cm respectivamente e SP, sem pastejo.

As alterações de temperatura do ar, em especial altas temperaturas que aumentam a Tf, estão diretamente relacionadas com danos na fase fotoquímica e reações no período diurno, sendo o PSII o componente fotossintético mais sensível à ocorrência de danos irreversíveis (HAVAUX, 1993; QIU; LU, 2003). Pode ocorrer ajuste do PSII em alguns minutos, com as alterações na temperatura do ar, como observado Havaux (1993) em folhas de batata. Os maiores valores de Tf estão diretamente relacionados ao ambiente em que a planta se desenvolve, podendo ser reflexo de fatores, como disponibilidade de água (REICH; HINCKLEY, 1989).

A variação entre a Tf e do ar ($\Delta T_{\text{folha-ar}}$) no mês de agosto foi positiva e maior nos manejos mais intensos (P10, P20 e P30), na avaliação do período diurno, em comparação aos demais tratamentos (Figura 22a). Já, na avaliação no período noturno, as áreas pastejadas tiveram maior $\Delta T_{\text{folha-ar}}$ em comparação com SP no mês de julho, ressaltando que os valores foram na maioria negativos. No mesmo período noturno, no mês de setembro, o P10, P20 e P30 tiveram valores menores de $\Delta T_{\text{folha-ar}}$ em comparação ao P40 e SP (Figura 22b). A

DPV_{folha-ar} diferiu apenas no período diurno do mês de agosto, sendo que o P10, P20 e P30 foram maiores que o P40 e SP (Figura 22c). No mês de julho, período noturno, as áreas pastejadas apresentaram maior DPV_{folha-ar} em relação ao SP (Figura 22d). A DPV_{folha-ar} maior representa maior potencial do ar para absorver a umidade em relação a quantidade de água na planta.

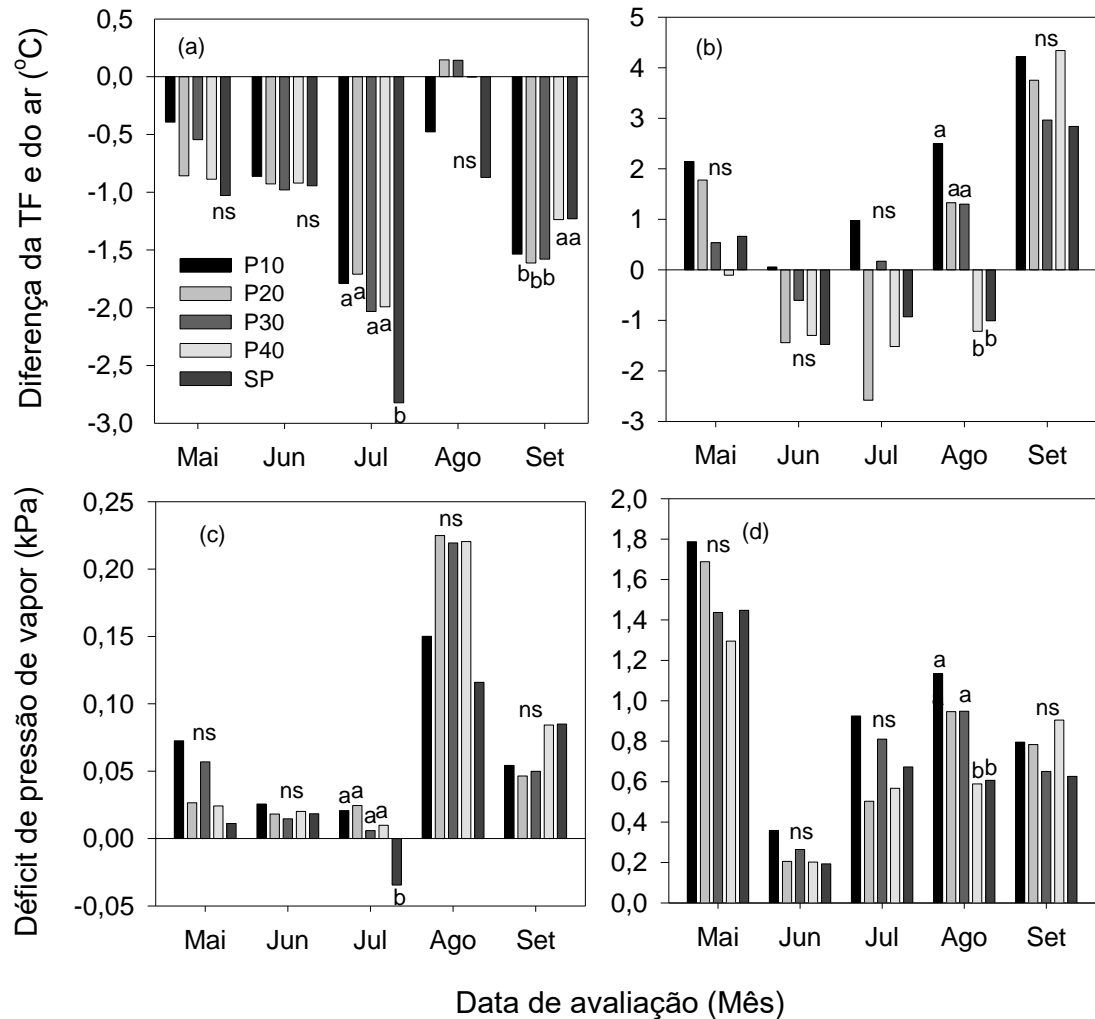


Figura 22. Diferença de temperatura da folha (Tf) de aveia e do ar ($\Delta T_{folha-ar}$) (a,b) e déficit de pressão de vapor (DPV_{folha-ar}) (c,d), no período noturno (a,c) e diurno (b,d), em diferentes alturas de manejo do pasto no sistema integrado soja-bovinos de corte em semeadura direta de longa duração. P10, P20, P30, P40 corresponde à altura do pasto a 10, 20, 30, 40 cm respectivamente e SP, sem pastejo.

A $\Delta T_{folha-ar}$ negativa na maioria dos tratamentos, na análise noturna indica que a Tf foi menor que a temperatura do ar. Menores relações da DPV_{folha-ar} proporcionam melhoria do estado hídrico das plantas, refletindo-se em menor taxa de transpiração, maior potencial de água na folha e taxa de expansão foliar,

em comparação a valores de $DPV_{\text{folha-ar}}$ mais altos, como observado por (LIU et al., 2006) em roseira cultivada em estufa. Os autores citam que a menor $DPV_{\text{folha-ar}}$ aumenta a proporção de água retida pela planta para a produção de carboidratos.

Houve correlação positiva ($p \leq 0,05$) entre a $DPV_{\text{folha-ar}}$ com a T_f (Figura 23). O aumento da $DPV_{\text{folha-ar}}$ influencia o estado hídrico das plantas e, possivelmente, isso ocorre em função das alterações na transpiração cuticular e estomatal, condutância foliar e taxa fotossintética (BUNCE, 2006). O aumento da T_f está relacionado ao déficit hídrico e ao aumento da temperatura do ar, e também a $DPV_{\text{folha-ar}}$. Em condições secas, as folhas podem ser incapazes de manter a umidade adequada fechando os estômatos que restringe a difusão da água para fora da folha e a difusão de dióxido de carbono na folha, resultando em redução da fotossíntese.

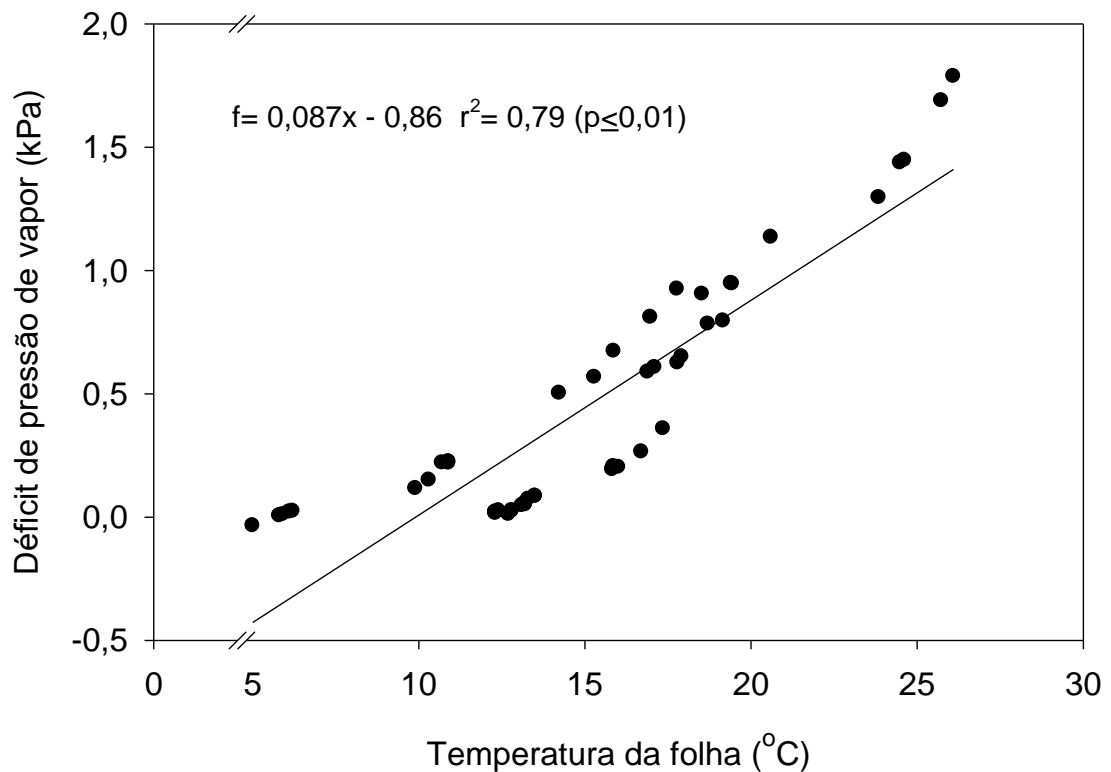


Figura 23. Correlação da demanda de pressão de vapor ($DPV_{\text{folha-ar}}$) com a temperatura da folha (T_f) em diferentes alturas de manejo do pasto no sistema integrado soja-bovinos de corte em semeadura direta de longa duração. P10, P20, P30, P40 corresponde à altura do pasto a 10, 20, 30, 40 cm respectivamente e SP, sem pastejo. Dados de $DPV_{\text{folha-ar}}$ e de T_f dos dois horários de avaliação.

As alterações na fluorescência da clorofila no período noturno podem ser observadas nos meses de junho/julho para F_0 , agosto/setembro para F_m e F_v e junho para F_v/F_m (Figura 24). A F_0 não mostrou uma sequência relacionada às alturas do pasto, mas sempre o sistema P10 teve menor F_0 , mesmo em avaliações em que não houve diferença ($p \leq 0,1$). Já F_v e F_m mostram que há uma relação entre esses parâmetros e os diferentes manejos da altura do pasto ($P10 > P20 > P30$), sendo observado menor F_v e F_m no pastejo intenso com pasto a 10 cm de altura. Esses parâmetros se mostraram mais sensíveis do que a relação F_v/F_m onde apenas no mês de junho foi observado diferença, sendo os pastejos moderados (P20, P30) e leve (P40) com valores maiores que o pastejo intenso e SP (Figura 24).

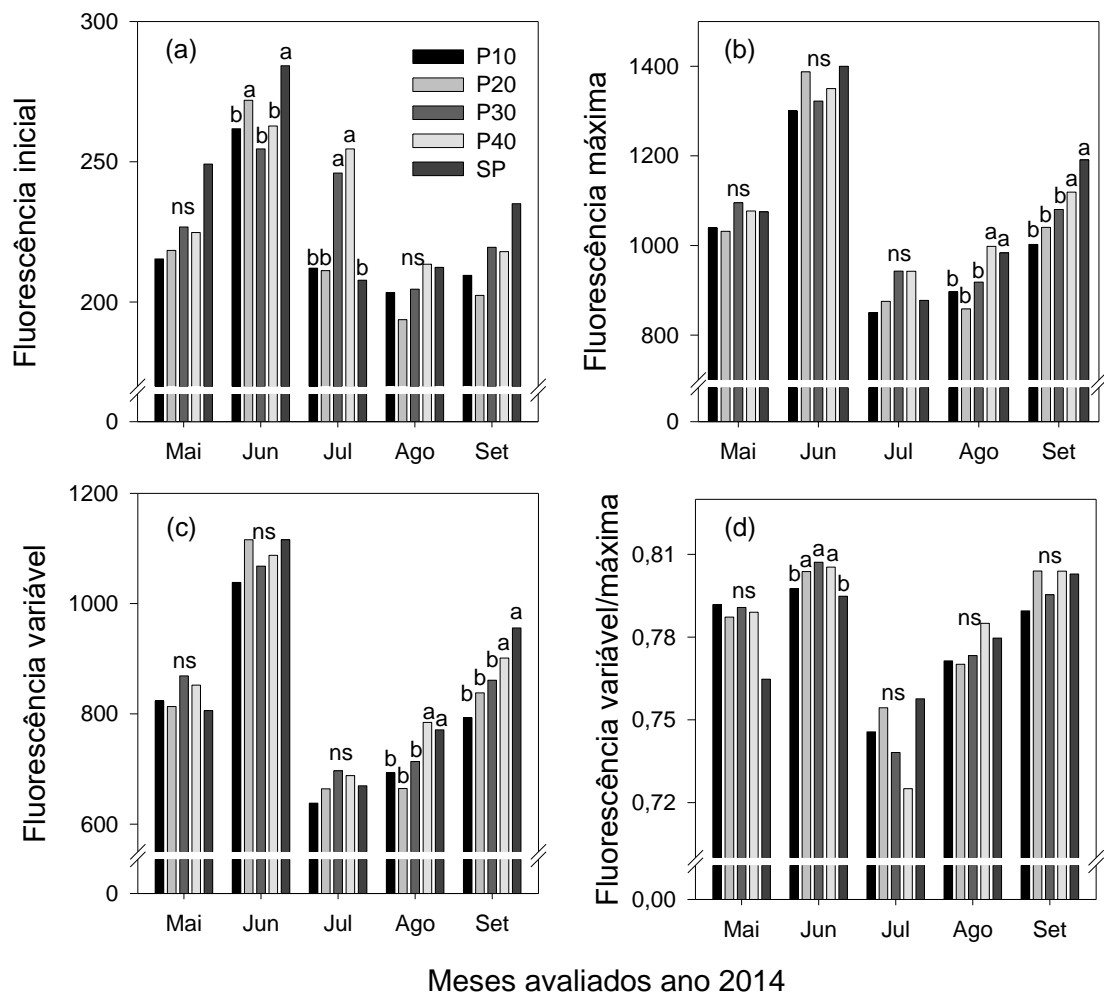


Figura 24. Parâmetros de fluorescência da clorofila de folhas de aveia preta; inicial (a), máxima (b), variável (c) e relação variável/máxima (d) no período

noturno (4:00 horas às 6:00 horas), em diferentes alturas de manejo do pasto no sistema integrado soja-bovinos de corte em semeadura direta de longa duração. P10, P20, P30, P40 corresponde à altura do pasto a 10, 20, 30, 40 cm respectivamente e SP, sem pastejo.

As temperaturas observadas durante as leituras de fluorescência da clorofila, período diurno (4:00 horas às 6:00 horas), indicaram condição de estresse para as plantas (Tabela 6). O aumento de F_0 observado pode ser provocado pela dissociação do sistema coletor de luz do PSII (LHCII). Os menores valores de F_v e, principalmente F_m , pode ser indicativo de que a cadeia de transferência de elétrons foi bloqueada e esta constatação é consistente com os resultados previamente relatados (BAKER, 2008; ZHA et al., 2016). Um cuidado deve ser considerado nessas interpretações, porque as propriedades ópticas da folha podem ser alteradas sob certas condições de estresse, tais como seca, o que significa que os valores individuais de F_m e F_0 podem ser o resultado de alterações na absorvância da folha nessas condições (MURCHIE; LAWSON, 2013).

Na avaliação realizada em julho, os valores da relação F_v/F_m foram menores que 0,75, coletados em temperatura média de 7,9 °C. Os valores mais altos da relação F_v/F_m podem estar relacionados a temperaturas adequadas, e ausência de outros estresses e os valores mais baixos dessa relação podem ser um indicativo de modificações/desativação do centro de reação do PSII ou de fotoproteção por xantofilas envolvidas na dissipação de energia térmica (LOGAN; ADAMS; DEMMIG-ADAMS, 2007). A seca leve, associada com o fechamento dos estômatos, irá resultar em um declínio substancial na F_v/F_m (MURCHIE; LAWSON, 2013). Esses autores relembram ainda que F_v/F_m avalia o rendimento quântico apenas do PSII, sendo que um estresse em outra parte (por exemplo, raízes) pode não se manifestar como uma alteração em F_v/F_m .

A fluorescência do período diurno foi afetada pelo manejo do pasto: (F_s e F_{ms}), nos meses de julho, agosto e setembro ($p \leq 0,10$) e F_v s, em julho e agosto, onde nos pastejos mais intensos, com as menores alturas as plantas, apresentaram menores valores de F_s , F_{ms} e F_v (Figura 25). No entanto, essas diferenças não resultaram em alterações para a eficiência quântica ($p \leq 0,10$) (Figura 25).

As diferenças encontradas a partir do mês de junho coincidem com o início do pastejo dos animais e isso pode estar relacionado ao aumento da compactação pelo pisoteio dos animais e redução da cobertura do solo. Em muitas situações de estresse, aumentos da inibição não fotoquímica podem ser acompanhados por foto inativação de centros reacionais do PSII, que dissipam a energia de excitação, liberada na forma de calor, em vez de energia fotoquímica, que pode conduzir a danos oxidativos e perda de centros de reação do PSII, ambos associados a um aumento em *F0* (BAKER, 2008).

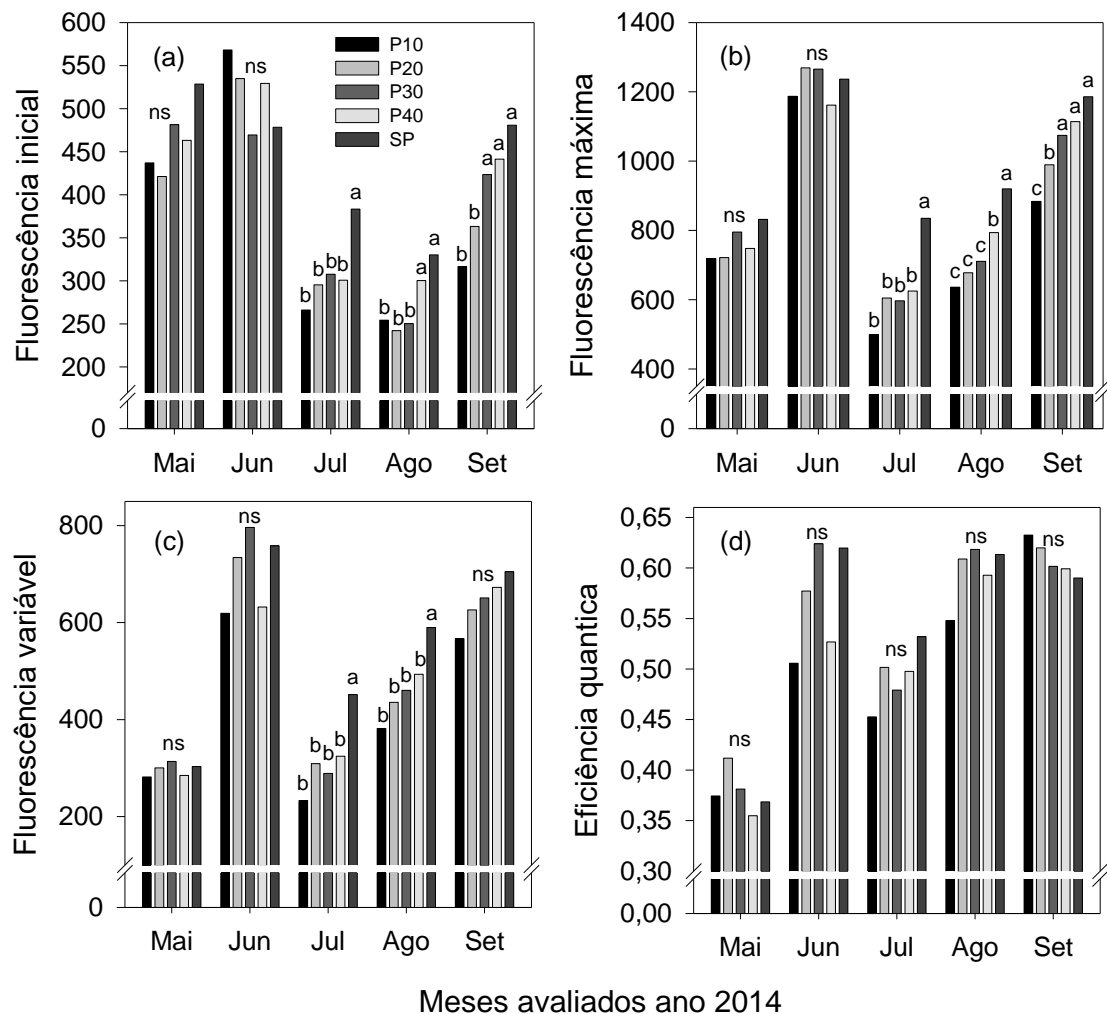


Figura 25. Parâmetros de fluorescência da clorofila da folha de aveia preta: inicial (a) máxima (b) variável (c) e eficiência quântica (d) no período diurno (12:00 horas às 14:00 horas), em diferentes alturas de manejo do pasto no sistema integrado soja-bovinos de corte em semeadura direta de longa duração. P10, P20, P30, P40 corresponde à altura do pasto a 10, 20, 30, 40 cm respectivamente e SP, sem pastejo.

Não houve diferenças ($p \leq 0,1$) para a taxa de transporte de elétrons (ETR) entre as diferentes alturas de manejo do pasto (Figura 26). Estudos em

plantas de Aroeira (*Myracrodruon urundeuva*) em níveis crescentes de radiação fotossinteticamente ativa submetidas a estresse hídrico, mostraram maior sensibilidade à saturação de luz ($200 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) em relação à plantas mantidas hidratadas, onde os valores de ETR máxima foram muito superiores aos obtidos sob estresse e a ETR máxima foi detectada em níveis de radiação mais elevados ($600 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) (QUEIROZ; GARCIA; LEMOS FILHO, 2002). A ausência de significância estatística dos dados, mesmo com P10 apresentando maiores valores de ETR, pode estar relacionado à ausência de temperaturas extremas, precipitação adequada para o desenvolvimento das plantas e a alta variabilidade dos dados coletados em condição de campo.

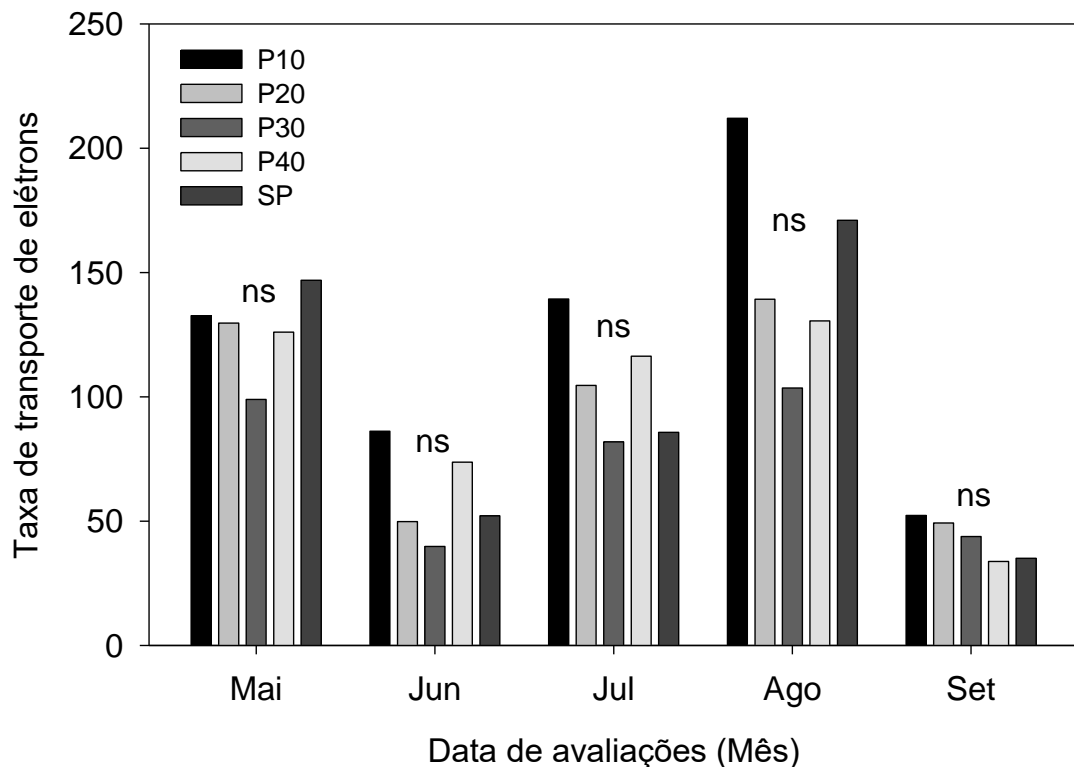


Figura 26. Taxa de transporte de elétrons e radiação (ETR) de folhas de aveia preta e diferentes estágios de desenvolvimento e alturas de manejo do pasto no sistema integrado soja-bovinos de corte em semeadura direta de longa duração. P10, P20, P30, P40 corresponde à altura do pasto a 10, 20, 30, 40 cm respectivamente e SP, sem pastejo.

Os valores do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) diferiram entre os tratamentos, em maio após 30 dias da semeadura da aveia, e em julho, agosto e setembro, após o início do pastejo (Figura 27a). Em maio, houve menor NDVI nas áreas pastejadas em comparação com SP e em junho,

antes do pastejo, não houve diferença. Nos meses após o início do pastejo o NDVI se relacionou com a altura do pasto, sendo o menor valor no pastejo intenso e o maior no sem pastejo. Os sistemas com maior cobertura do solo e com plantas mais verdes apresentaram maior NDVI porque ele mede a razão entre a refletividade medida nas regiões do vermelho e infravermelho próximo do espectro eletromagnético. Assim, a vegetação em pleno crescimento, com elevado vigor, tem baixa refletância na faixa do vermelho e alta refletância no infravermelho próximo, com maior NDVI, como ocorreu neste estudo (Figura 27).

A variação no NDVI está indiretamente relacionada aos fatores que afetam o desenvolvimento das plantas, como a adubação nitrogenada e umidade do solo, devendo ter cuidado nas conclusões dos resultados para esses atributos (GOVAERTS; VERHULST, 2010). Estudos de NDVI com diferentes resíduos sobre o solo (soja, milho, trigo) e ausência de resíduo, durante o cultivo de milho, mostraram variações, entre os tratamentos, sendo de maior magnitude na fase de crescimento inicial (V2 e V3), e mínimas em V4 (JONES et al., 2015). Isso também ocorreu no desenvolvimento inicial da cultura da aveia (Figura 27a), sendo que, nesse período, houve diferenças na biomassa de planta (Figura 27b).

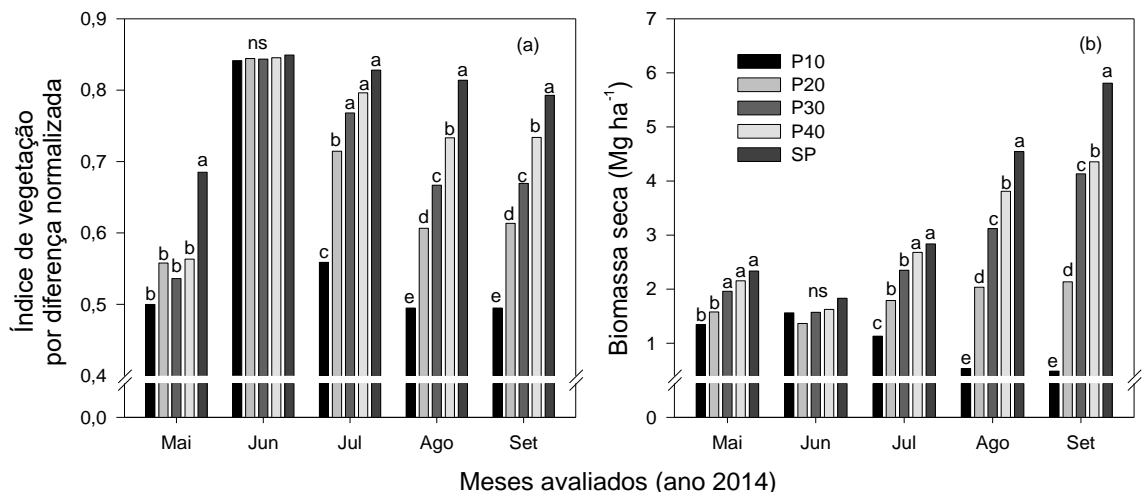


Figura 27. Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) (a) e biomassa seca (b) da cultura da aveia, em diferentes alturas de manejo do pasto no sistema integrado soja-bovinos de corte em semeadura direta de longa duração. P10, P20, P30, P40 corresponde à altura do pasto a 10, 20, 30, 40 cm respectivamente e SP, sem pastejo.

Houve diferenças ($p \leq 0,05$) na produção de biomassa seca entre os tratamentos nos meses de maio, julho, agosto e setembro (Figura 27b). Nesses meses, as diferenças foram relacionadas às alturas do pasto onde o P10 apresentou menor biomassa seca, seguido do P20, P30, P40 e SP. No mês de junho, início do pastejo, o desenvolvimento das plantas foi semelhante entre os tratamentos. A biomassa de forragem sobre o solo reduziu de acordo com o pastejo, que ao final do ciclo, apresentou em média $1,0 \text{ t ha}^{-1}$ de biomassa seca no P10 e $4,0 \text{ t ha}^{-1}$ no P30 e P40 (Figura 27b). No mês de maio foram registradas temperaturas do ar de $24 \text{ }^\circ\text{C}$, radiação solar de $605,4 \text{ W}^2$ e menor umidade do ar (56,2%) que, em conjunto com as alterações físicas do solo podem ter contribuídos para a redução do crescimento inicial das plantas de aveia, que pode ser potencializado em anos de ausência de precipitação regular.

Houve correlação positiva e significativa ($p \leq 0,01$) entre a biomassa de forragem e o NDVI nos meses de julho ($r^2=0,69$), agosto ($r^2=0,89$) e setembro ($r^2=0,96$) (Figura 28).

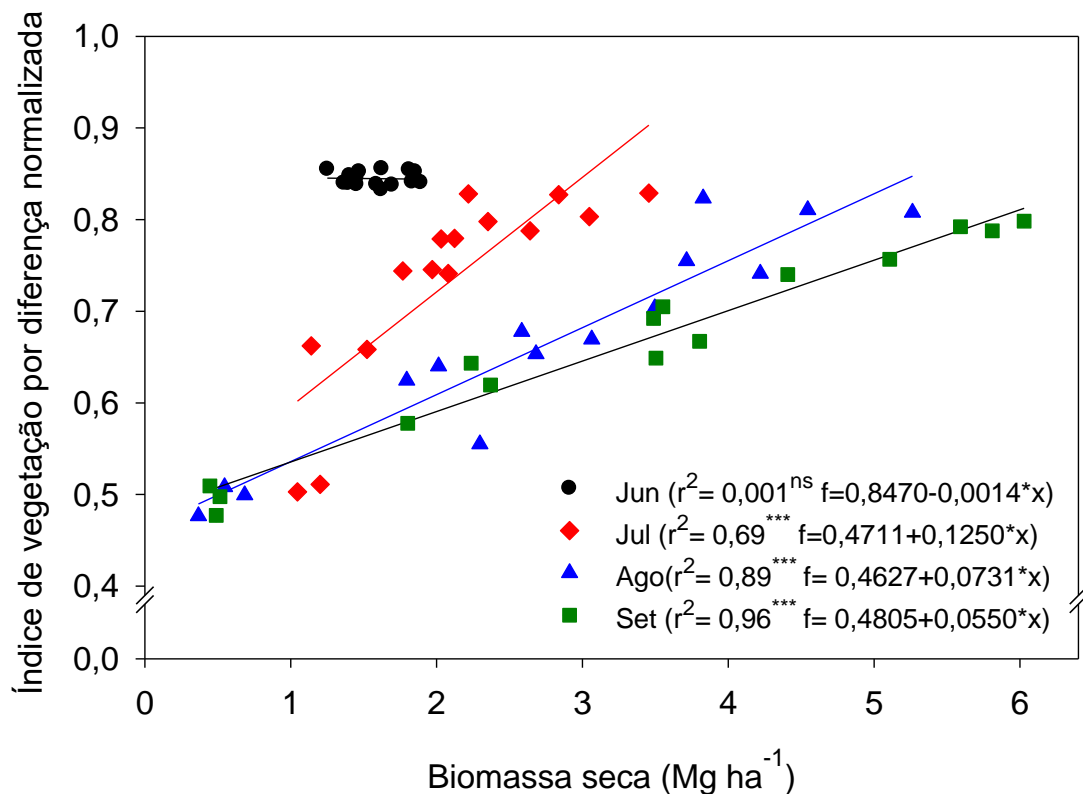


Figura 28. Relação entre o NDVI e a biomassa seca de aveia, em diferentes alturas de manejo do pasto no sistema integrado soja-bovinos de corte em semeadura direta de longa duração.

A forte relação entre a biomassa e o NDVI é um indicativo da sensibilidade do NDVI na determinação da diferença na cobertura do solo. Isto porque a vegetação tem baixa refletância na faixa do vermelho e alta refletância no infravermelho próximo, sendo que o melhor desenvolvimento das plantas no pastejo moderado e leve é perceptível na faixa do infravermelho próximo, aumentando assim o NDVI.

Esses resultados mostram o potencial do uso do NDVI para monitorar a oferta de forragem para os animais, sendo uma maneira rápida e fácil de ser realizada.

7.4 Conclusões

A temperatura da folha é pouco afetada pelo manejo do pasto, e quando afetada indica menor temperatura da folha na área sem pastejo, estando relacionada à magnitude de variação dos parâmetros de clima.

As diferenças na temperatura da folha e do ar e o déficit de pressão de vapor são menores na ausência de pastejo, quando ocorre menor estresse nas plantas de aveia.

Os parâmetros de fluorescência da clorofila são mais evidentes na avaliação diurna e inversamente relacionados com as diferentes alturas do pasto, indicando efeito do pastejo dos animais.

O índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) e o crescimento da aveia preta são inversamente relacionados com a altura de manejo do pasto. Há, por isso, indicativos de que o NDVI pode ser utilizado na gestão e manejo da oferta de forragem ao longo do período de pastejo.

8 CAPÍTULO VII. PASTURE TERMINATION IMPACTS ON SOIL ORGANIC MATTER, BIOLOGICAL AND PHYSICAL ATTRIBUTES IN CROPPING TRANSITION IN SOUTHEASTERN USA

8.1 Introduction

No tillage (NT) systems are important for sustainable agriculture around the world, and that context is also in Southeastern of United State of America (FRANZLUEBBERS; STUEDEMANN, 2014). This occurs because the NT systems can improve physical, chemical and biologic properties, lower fuel costs and soil and wind erosion. In contrast, the tillage management, by disking or plowing, widely used in the United State, can prepare a seedbed, disrupts pest lifecycles, incorporate nutrients and manage crop residues.

Some research have reported that NT could be negatively affect soil compaction and crop performance, especially when managed in integrated crop-livestock with high grazing intensity. This occurs due to the additive effects of reduced soil cover and cattle trampling due to livestock grazing (AGOSTINI et al., 2012), which increases the need for soil tillage management.

Alternative to reduce soil compaction is the use of plow or disk for pasture termination. Termination methods to manage plant residues with the use of plow or disk are widely used in many regions in the United States, that can reduce soil compaction (HÅKANSSON; REEDER, 1994). However, in short-term these pasture termination methods accelerated decomposition of soil organic matter (SOM) decreasing soil carbon (C) and nitrogen (N) stocks (FRANZLUEBBERS et al., 1996). Tillage practices have a major effect on soil C storage and cropping sustainability on farm, due to their impact on soil aggregation, organic residue decomposition rate, C dynamics, microbial

abundance and diversity, N mineralization and nutrient availability (VALBOA et al., 2015).

In mid-term pasture (6 year), the contents of soil C and N fractions did not change with time when crop land was managed under NT, suggesting that their accumulation under pasture were effectively preserved when annual crops were introduced and managed under NT (FRANZLUEBBERS; STUEDEMANN, 2008). In addition, it was showed no differences in various depths up to 150 cm or stocks in total and particulate C and N between cover crop and grazing management.

In short-term, the inversion tillage reduced bulk density (FRANZLUEBBERS; SCHOMBERG; ENDALE, 2007), but the effect of moldboard plowing was short (FRANZLUEBBERS; STUEDEMANN, 2008). Alterations on C and N, occur by showing rapid alteration on soil properties during the transition from plow to no-tillage management (McCARTY; LYSSENKO; STARR, 1998). Haynes (2000) showed that changes in C supply, labile organic matter fractions can markedly increase during the pasture phase of crop/pasture rotations and decline under the arable phase even though total organic C remains unchanged.

The possible alterations in organic matter have relation with soil biology activity, and occur because of the changes in the soil structure/aggregation related with soil temperature and soil moisture. The type of implement utilized in Australian soil (silt clay loam) determined the effects of tillage on the soil microbial biomass carbon, and tilling with an offset disc or chisel is reported to cause less soil disturbance than that of the commonly used by moldboard plough (CONANT et al., 2007; LIU et al., 2016). McCarthy et al. (2008) postulate that the protection arises from spatial and kinetic constraints imposed on the ability of microbial exoenzymes to access and degrade the organic matter and on the delivery of hydrolysis products that can be assimilated by the microbes.

Biologically active C and N fractions, including microbial biomass and carbon and nitrogen mineralization are important for understanding nutrient dynamics, which can, in short-term, affect nutrient immobilization during rapid microbial growth and activity, as well as long-term storage and subsequent slow release of nutrients (FRANZLUEBBERS; STUEDEMANN, 2008). The objective

of this paper was to determine short-term changes in soil organic matter and total nitrogen, soil physical and biological properties as influenced by tillage method during pasture termination and transition to cropping on a Coastal Plain site in North Carolina.

8.2 Material and methods

As previously described (Item 3.2 Goldsboro Experiment), before starting the grain crops cultivation (2016 harvest), the following pastures termination treatments were applied in cool season (CS) with tall fescue and warm season (WS) with mix of native species. Soil management systems was: (i) no tillage (NT) with herbicide application (ii) disk tillage (DT) and (iii) plow tillage (PT).

Soil samples were initially collected in February 2016, before termination methods, from each block in two pseudo-replicates and three block by depth increment 0-6, 6-12, 12-20, and 20-30 cm, (24 soil samples). After the termination of pasture, in April 2016, (approximately 25 days after the termination methods), 144 soil samples were collected in each block in eight sites, which served as pseudo-replicates by depth increment (0-5, 5-10, 10-20, and 20-30 cm). Soil was dried at 55 °C for 3 days and homogenized by passing through a sieve with 4.75-mm openings.

The bulk density was calculated by mass of soil dry and volume of coring device (FRANZLUEBBERS; BROCK, 2007; FRANZLUEBBERS; HANEY; HONS, 1999). The incubation method was used to determine the flush of CO₂, soil microbial biomass C and potential C mineralization (FRANZLUEBBERS; HANEY; HONS, 1999). The method consists of weight 50 g soil samples dry and sieve through 4.75 mm, placing on 60 mL glass jars, wetting to 50% to 60% water-filled pore space, and placing them in a 1 L canning jar along with 10 mL of 1 mol L⁻¹ NaOH to trap CO₂ and a vial of water to maintain humidity.

Samples were incubated at 25 ± 1 °C for 24 days, and alkali traps were replaced at 3, 10 and 24 days of incubation and CO₂-C determined by titration with 1 mol L⁻¹ HCl in the presence of excess BaCl₂ to a phenolphthalein endpoint. At 10th day, one of the subsamples was removed from the incubation jar, fumigated with CHCl₃ under vacuum, vapors removed at 24 h, placed into a

separate canning jar along with vials of alkali and water, and incubated at 25 ± 1 °C for 10 days.

Soil microbial biomass C was calculated as the quantity of CO₂-C evolved following fumigation (10 day after fumigation) divided by an efficiency factor calculated with 0.41 (FRANZLUEBBERS et al., 1999; VORONEY; PAUL, 1984).

$$\text{SMBC} = (\text{mg CO}_2\text{-C kg}^{-1}\text{ soil})_{\text{fumigated}} / k_c \quad (\text{Equation 17})$$

where $k_c = 0.41$. potential C mineralization was the CO₂-C respired during 24 days, while the flush of CO₂-C following rewetting was considered from the first 3 days only.

Samples was dried at 55 °C for 72 h, weighed, ground to a fine powder in ball mill, and analyzed for C and N concentration on a Leco Tru-Mac CN dry combustion analyzer.

Data was analyzed for CS and for WS, three termination methods, NT, DT and PT, four depth and three blocks. For initial condition and soil texture was comparted the WS x CS, and the data after tillage management methods was comparted the NT x DT x PT, both by F test and Tukey ($p \leq 0.05$). Regression analysis was performed used the Sigma Plot 11.0 ($p \leq 0.01$).

8.3 Results and discussion

Initial condition of soil, after animal grazing showed difference ($p \leq 0.05$) between CS and WS only for bulk density for 0-6 and 12-20 cm soil layers, and potential C mineralization for 0-5 cm soil layer (Table 7). Smaller bulk density in WS can be effect of root systems of a mix of native species. Species of plant can influence the soil bacterial community on their rhizosphere, (SMALLA et al., 2001), as occurred in CS for potential C mineralization. In addition, crop-livestock systems with moderate grazing can change soil bacterial community structure and significantly increased bacterial diversity, as compared with no-grazing (ZHOU et al., 2010).

Different plants can put quantity and varied quality of soil residue, which has a direct impact on the organic matter, bringing impact on the physical, chemical and biological attributes of the soil. Warm season, compose for native species, can improve more the soil, and this occur because of greater plant

diversity, that provide more biological diversity, important for conservationist systems.

Table 7. Initial condition of soil⁽¹⁾ physics and biological attributes (February, 2016), before the termination pasture in crop-livestock systems in southeastern USA

Soil attributes Season	Soil depth (cm)				
	0-6	6-12	12-20	20-30	0-30
Bulk density (g/cm ³)					
CS	1.42 **	1.62	1.71**	1.73	1.62
WS	1.33	1.54	1.62	1.66	1.54
Flush of CO ₂ (mg kg ⁻¹ soil)					
CS	273	106	554	33	117
WS	273	119	61	37	123
Potential C mineralization (mg kg ⁻¹ soil)					
CS	339 **	105	50	29	131
WS	294	100	43	28	116
Soil Microbial Biomass C (mg kg ⁻¹ soil)					
CS	1303	635	335	210	621
WS	1092	515	228	191	507
Total N (mg N/g soil)					
CS	1.21	0.70	0.45	0.35	0.68
WS	1.21	0.77	0.45	0.29	0.68
Total C (mg C/g soil)					
CS	15.01	8.04	5.44	4.44	8.23
WS	16.02	9.39	5.81	3.94	8.79
Sand content (g/g)					
CS	0.63	0.63	0.61	0.60	0.61
WS	0.59	0.59	0.56	0.52	0.56
Clay content (g/g)					
CS	0.16	0.18	0.20	0.22	0.19
WS	0.16	0.17	0.20	0.25	0.20

⁽¹⁾*Typic Hapludults* **: significant ($p \leq 0.05$). CS: cool-season. WS: warm-season

Difference in clay and sand content ($p \leq 0.05$) was observed only in 20-30 cm layer (Figure 29) between areas with CS and WS. The CS is higher in sand and lower in clay content, in relation to WS. In addition, both areas decrease sand and increase clay with soil depth. This difference was pre-determined due to the need for greater adaptation of tall fescue in more clay content soils. Management systems can have altered the soil composition because the inversion of profile.

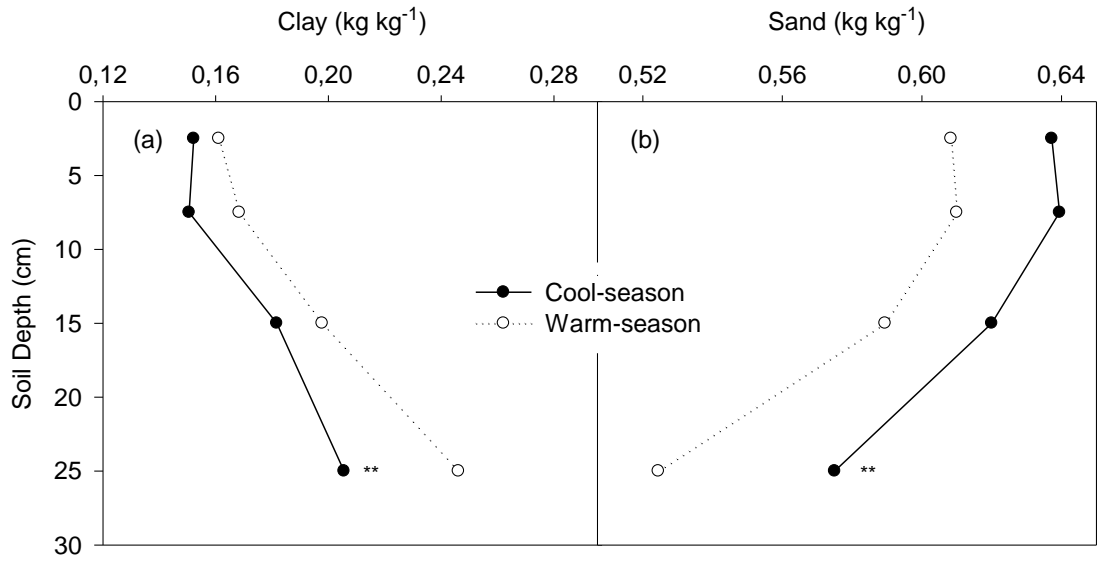


Figure 29. Clay (a) and sand (b) concentration of soil⁽¹⁾ in cool-season and warm-season area in crop-livestock systems in southeastern USA. ⁽¹⁾ *Typic Hapludults* ** Significant at $p \leq 0.05$.

Initially, soil bulk density was low at the soil surface and increased with depth, and was affected by termination methods only in WS (Figure 30). Plow tillage (PT) resulted in reduction ($p \leq 0.05$) in bulk density at 5-10 and 10-20 cm, in relation no tillage (NT) and disk tillage (DT).

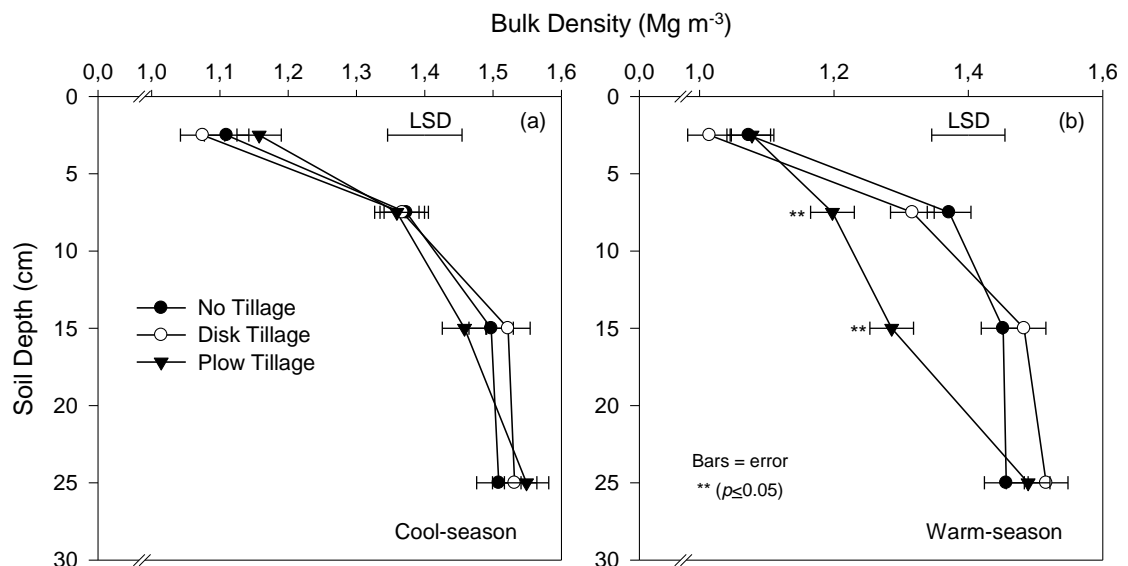


Figure 30. Depth distribution of soil⁽¹⁾ bulk density in cool-season (a) and warm-season (b) area as affected by different pasture termination in crop-livestock systems in southeastern USA. ⁽¹⁾ *Typic Hapludults*. ** Significant at $p \leq 0.05$.

Alteration in the first layer of soil, but probable the NT system was not affected by cattle grazing in a sandy soil. Variation in the depth distribution pattern was similar to that reported for long-term pasture in northern Georgia (FRANZLUEBBERS et al., 1999; FRANZLUEBBERS; STUEDEMANN, 2008).

Pasture termination methods altered total C and N in CS and WS at 0-5 cm layer, and WS at 10-20 cm (Figure 31). In the 0-5 cm soil depth, PT was low in relation to NT and DT, but this result was opposite at 10-20 cm layer with higher total C and N in PT in relation NT and DT.

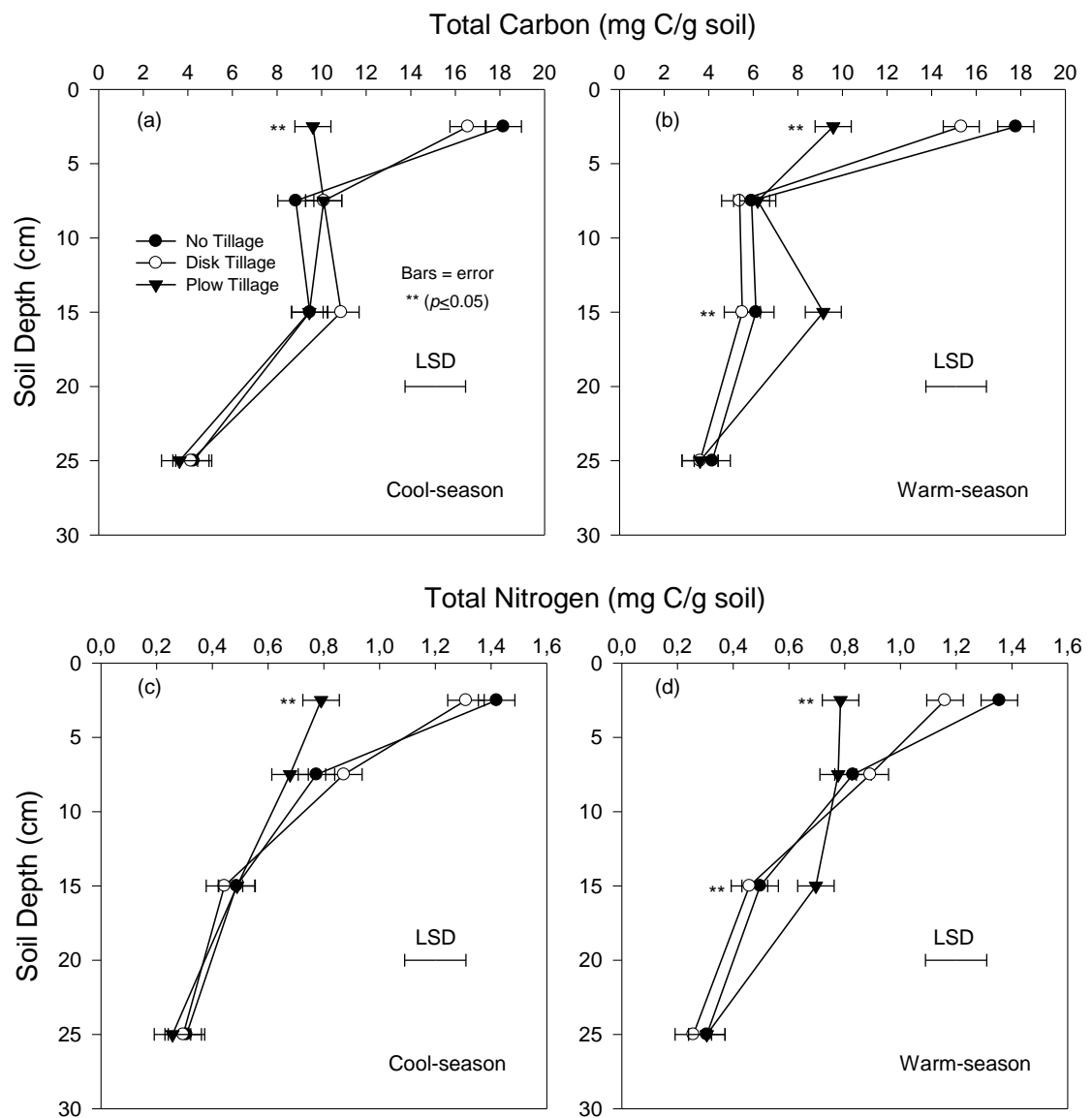


Figure 31. Soil⁽¹⁾ depth distribution of total organic C (a,b) and N (c,d) of soil⁽¹⁾ in cool-season (a,c) and warm-season (b,d) area as affected by different pasture termination in crop-livestock systems in southeastern USA. ⁽¹⁾ *Typic Hapludults*. ** Significant at $p \leq 0.05$.

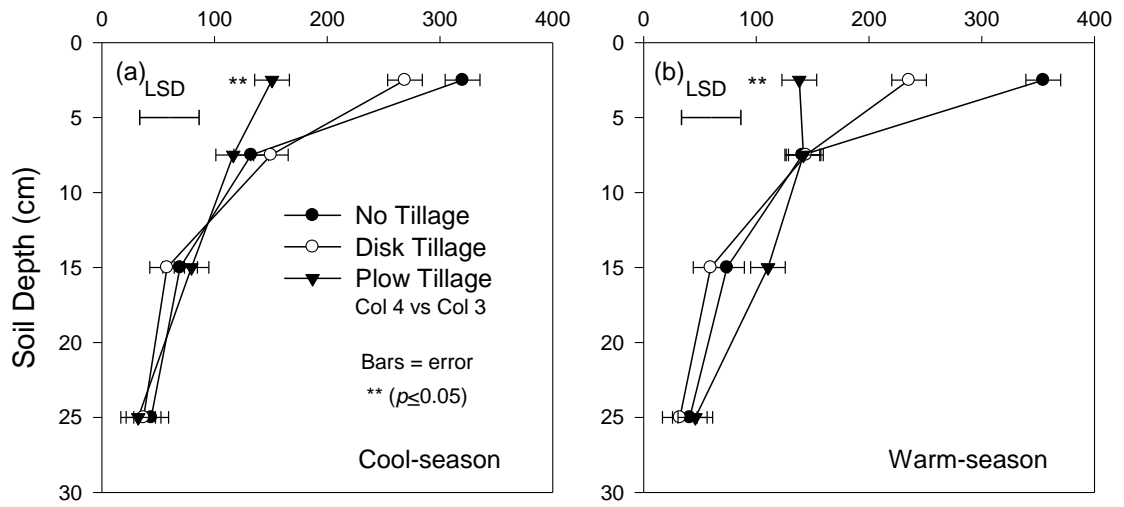
In natural pasture soils, more than 40% of soil organic matter can be protected inside of microaggregates, which justify the rapid initial reduction in organic matter when these systems are altered, as in PT management. Depth distribution of total organic C and N reflects the predominantly surface input of organic matter from senescent grass and dung deposited by cattle grazing in the perennial pastures (FRANZLUEBBERS; STUEDEMANN, 2008), and can be altered by disking or plowing. Pasture systems with less soil disturbance can accumulate organic matter at the surface and be slowly decomposed than incorporated residues, because the reduced contact with the soil increases drying and rewetting processes and reduces interactions with soil fauna and microbes (FRANZLUEBBERS; STUEDEMANN, 2008).

Increment in total C and N in 10-20 cm soil layer can be result of deposition of organic matter by plowing. Franzluebbers and Stuedemann (2015) suggested that NT system was the most effective to preserve the biologically active soil C and N fractions, following pasture termination.

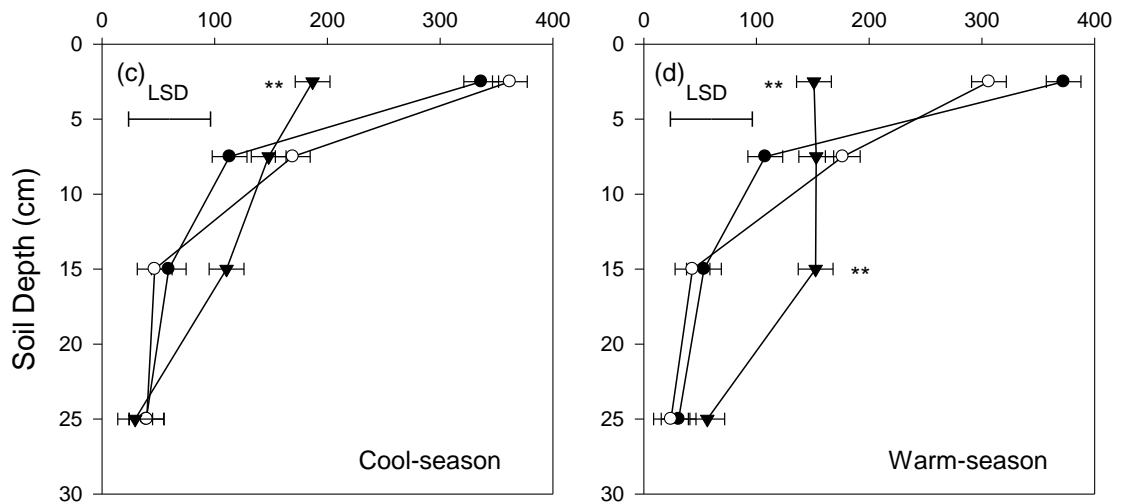
Gregory et al. (2016) studied grasslands that changed to arable (59 years before) and bare fallow (49 years before) and showed losses, in such periods, total organic C and N were 65 and 61% under arable and 78 and 74% under fallow, respectively, in the upper 15 cm, when compared with the grass land soil, whereas at 0.3–0.6 m depth losses under arable and fallow methods were 41 and 22% and 52 and 35%, respectively. Compared to conventional tillage, no-tillage and minimum tillage could significantly improve the soil organic C content, and the tillage under CT easily exacerbate C-rich macroaggregates in soils broken down due to the increase of tillage intensity, then forming many small aggregates with relatively low organic carbon content and free organic matter particles (ZHU et al., 2014).

Flush of CO₂, potential C mineralization and soil microbial biomass C decrease in PT, in relation the DT and NT (CS) and NT (WS), at 0-5 cm soil layer (Figure 32). The effect was opposite (10-20 cm soil layer), where PT management has more potential C mineralization and soil microbial biomass C (WS), in relation with NT and DT. In fact, these results indicate a small difference between NT and DT management.

Flush of CO₂-C (mg kg⁻¹ soil)



Potential C Mineralization (mg kg⁻¹ soil)



Soil Microbial Biomass C (mg kg⁻¹ soil)

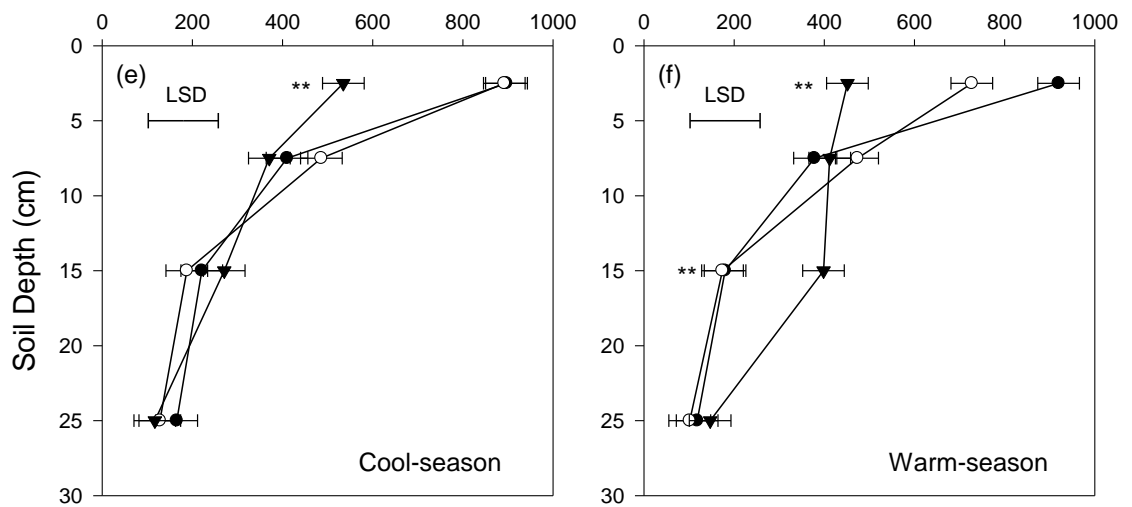


Figure 32. Soil⁽¹⁾ depth distribution of flush of CO₂ (a,b), potential C mineralization (c,d) and soil microbial biomass C (e,f) in cool-season (a, c, e) and warm-season (b, d, f) area as affected by different pasture termination in crop-livestock systems in southeastern USA. ⁽¹⁾*Typic Hapludults*. ** Significant at $p \leq 0.05$.

Greater C mineralizable suggests that less disturbed systems led to accumulation of potentially mineralizable C substrates, and was the best predictor of crop productivity (HURISSO et al., 2016). Results with more total C, flush of CO₂, C mineralizable and soil microbial biomass C under pastures could be due to a greater overall rate of photosynthetic activity resulting in greater C inputs throughout the year, because of the growth capabilities of perennial species (FRANZLUEBBERS; STUEDEMANN, 2008). Disk management no has effect in accelerating the decomposition and increasing biological properties. Crop systems reduce the plant residue inputs and the incorporation of stubble increase microbial oxidation of total C in the topsoil of arable system (GREGORY et al., 2016). A decrease in soil microbial biomass C can result in mineralization of nutrients, where an increase in microbial biomass may lead to immobilization of nutrients (MCGILL et al., 1986).

In general, the stratification ratio showed the difference between NT and DT with PT (Figure 33).

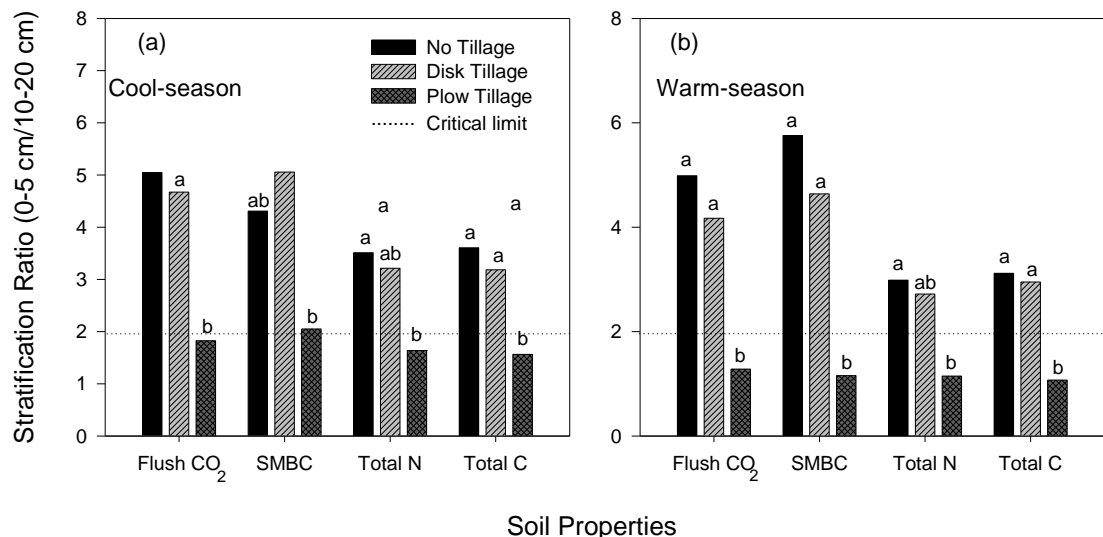


Figure 33. Stratification ratio of the flush of CO₂, microbial biomass C, total organic C, total N, of soil⁽¹⁾ in cool-season (a) and warm-season (b) on crop-livestock systems in southeastern USA. ⁽¹⁾ *Typic Hapludults*. ** Significant at $p \leq 0.05$.

Stratification ratio are similar for biological properties, total C and total N, confirming the strong relation to reduction of stratification ratio in PT. Franzluebbers (2002) suggested that the stratification ratio could be used as diagnostic tool to identify land management strategies for restoring critical soil functions, from a diverse region. In addition, stratification ratio < 2 in PT can be interpreted as an indicator of a disturbed soil condition with severe aggregate breakdown. Franzluebbers (2007) showed that PT cause deterioration of surface-soil biological potential, but enhanced soil biological at depths of 3-20 cm. In fact, PT have effect in 0-5 cm, but DT management has no effects on soil biology, total C and total N indicating that this management can surely be used.

Relations occur for flush of CO_2 with potential C mineralization ($r^2=0.92$), microbial biomass C ($r^2=0.94$), total C ($r^2=0.92$) and N ($r^2=0.90$) (Figure 34).

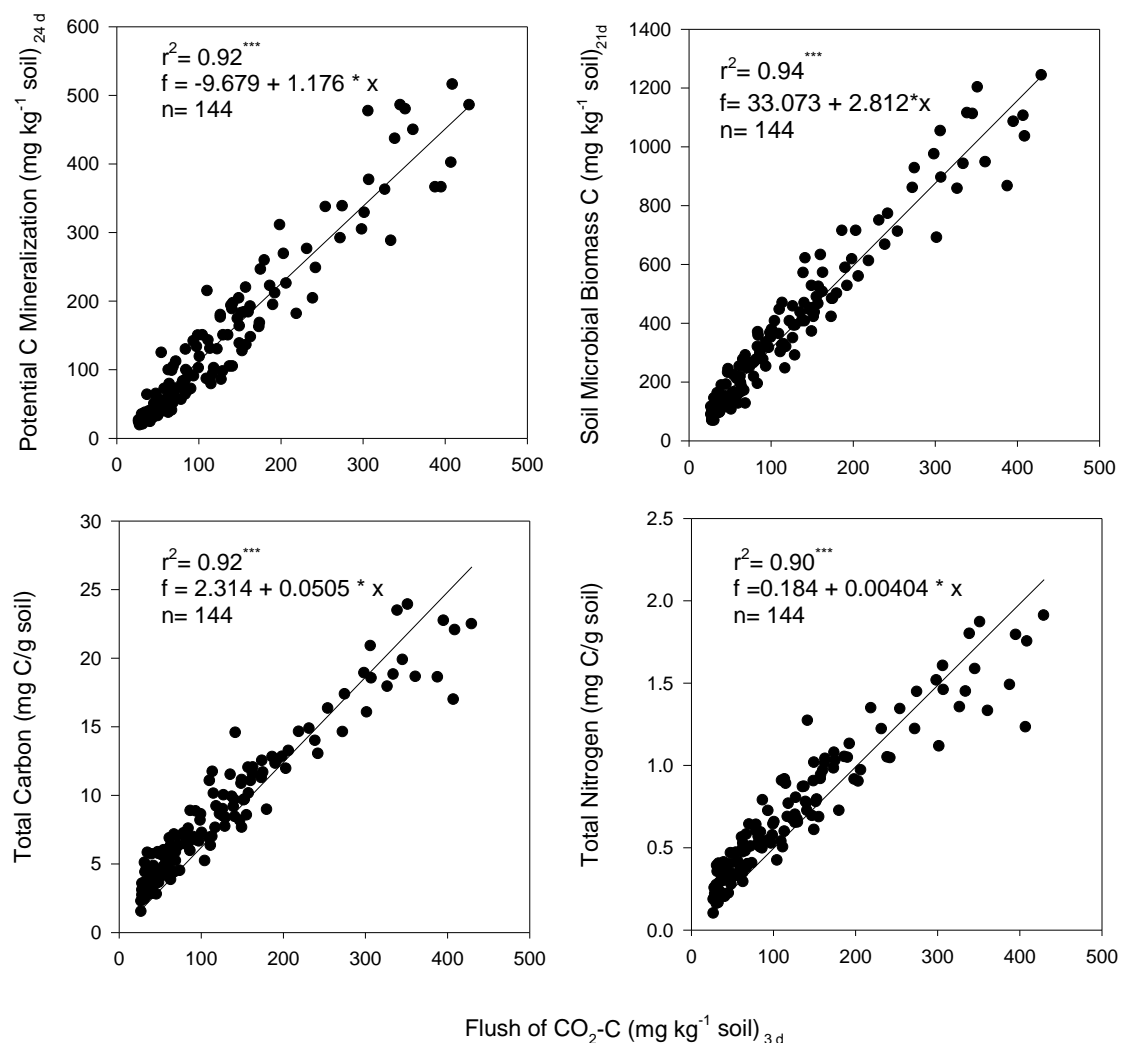


Figure 34. Relationship of the flush of CO_2 following rewetting of dried soil⁽¹⁾ to potential C mineralization, soil microbial biomass C, total soil organic C, total soil

N on crop-livestock systems in southeastern USA. ⁽¹⁾ *Typic Hapludults*. ** Significant at $p \leq 0.05$.

The results of this study suggest that the flush of CO₂-C could be considered a more rapid and reliable indicator of potential soil biological activity, as the results of (FRANZLUEBBERS, 2007).

8.4 Conclusions

The initial soil attributes are similar between the cool-season and warm-season crops with small differences in bulk density and potential carbon mineralization.

Occur rapid degradation of organic matter and nitrogen in plow tillage, and this affects CO₂ flush, potential carbon mineralization and soil microbial biomass carbon in the surface layer (0-5 cm), and improve in the subsurface layer (10-20 cm), in both, cool and warm seasons.

No tillage and disk tillage do not affect, in short-term, the soil organic carbon and nitrogen and soil biological activity.

Stratification ratio of soil biological properties, organic matter and nitrogen on soil indicates decrease soil quality in plow tillage in relation of no tillage and disk tillage.

Flush of CO₂ can be used for estimation of soil microbial biomass carbon, total carbon and total nitrogen.

9 CONCLUSÕES

O manejo moderado do pasto (30 cm de altura) no sistema soja-bovinos de corte em condições subtropicais apresenta equilíbrio no contexto dos atributos físicos e hídricos do solo e de planta. O manejo do pasto a 20 cm de altura situa-se em faixa intermediária entre o manejo do pasto intenso (10 cm) e moderado (30 cm). Considerando que o manejo do pasto intenso e leve (40 cm) e sem pastejo apresentam desequilíbrio entre os atributos analisados no contínuo solo-planta-água-animal, pode-se considerar o pastejo moderado (20 e 30 cm) como o de maior potencial para a sustentabilidade do sistema integrado soja-bovinos de corte.

Em relação aos métodos de rescisão da pastagem em clima temperado, o preparo do solo com grade aradora reduz os teores de C e nitrogênio na camada superficial (0-5cm) e aumenta em camada subsuperficial (10-20cm), em comparação com a grade disco e o plantio direto. Essas alterações potencializam a mineralização do C, aumento da biomassa microbiana, taxa de estratificação e o fluxo de gás carbônico, indicando redução da qualidade do solo. O fluxo de gás carbônico apresenta alto potencial de uso para estimar a biomassa microbiana do solo, assim como os teores de matéria orgânica e nitrogênio no solo.

10 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise isolada de fatores em sistemas integrados de produção agropecuária pode não fornecer subsídios suficientes para conclusões definitivas à cerca de sua sustentabilidade. Mesmo que no pastejo intenso (10 cm), a produtividade da soja não tenha sido afetada (Apêndice 1), ocorreu redução da matéria orgânica do solo, redução da infiltração e retenção de água, alterações no desenvolvimento das plantas e aumento da temperatura do solo.

A produção de carne nos sistemas de pastejo mais intensos apresentam maior produtividade (peso vivo kg/ha), que descesse com o aumento da altura de manejo do pasto (Apêndice 1). No entanto, a análise conjunta dos dados no sistema solo-planta-animal-água-animal pode contribuir de forma mais significativa para a avaliação da sustentabilidade agrícola (Apêndice 2). O ponto de equilíbrio entre a maioria dos parâmetros estudados foi atingido pelo sistema com manejo a 30 cm de altura.

O pastejo a 20 e 40 cm são manejos alternativos que estão no limiar, podendo no limite inferior ter problemas quanto à qualidade físico-hídrica do solo, e o pasto mantido no limite superior cm pode não significar a máxima exploração da agropecuária. A ausência de animais no manejo sem pastejo não gera renda com produção de carne, que é importante para superar possíveis variações ambientais e econômicas no cultivo de grãos.

Estudos são ainda necessários para entender melhor os mecanismos que permitem a recuperação do solo frente à compactação e como atua a matéria orgânica e a macroporosidade na capacidade de resistência a compactação e resiliência do solo. Falta, ainda, entender qual a capacidade de suporte de carga dos solos, que pode contribuir na determinação da altura ideal do pasto.

Quantificar a perda de solo por escoamento superficial pode ajudar no entendimento do efeito da redução da infiltração de água no solo, devido ao manejo do pasto. Se realizado considerando as diferentes declividades que ocorrem na região, pode contribuir para justificar os constantes focos de erosão observados na região Noroeste do Rio Grande do Sul, onde se localiza o experimento.

Estudos com equipamentos mais precisos e com maior quantidade de dados são necessários para avaliar a temperatura do solo. Estudar o impacto das severas alterações da temperatura do solo, observados nesta tese, na microbiota do solo e na decomposição da matéria orgânica do solo, pode ajudar a entender a dinâmica da decomposição da matéria orgânica no solo.

Estudos em ambiente controlado, analisando os parâmetros de fluorescência da clorofila e temperatura da folha em função do estresse hídrico e compactação, são necessários para entender melhor o impacto do manejo no desenvolvimento das plantas.

Os estudos em regiões de clima temperado com diferentes sistemas de manejo do solo devem ser focados em entender quais são os efeitos a médio (meses) e longo (anos) prazo do uso de preparo com arado de disco, na microbiota do solo, na matéria orgânica e no nitrogênio do solo.

Novos estudos em diferentes ambientes e solos são necessários para possibilitar o uso do Fluxo de CO₂ como indicador de qualidade do solo em regiões de clima temperado.

11 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABUEL-NAGA, H. M. et al. Thermal conductivity of soft Bangkok clay from laboratory and field measurements. **Engineering Geology**, Madison, v. 105, p. 211–219, 2009.

AGOSTINI, M. D. L. A. et al. Crop residue grazing and tillage systems effects on soil physical properties and corn (*Zea mays* L.) performance. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, Temuco, v. 12, n. 2, p. 271–282, 2012.

AJAYI A. S.; CHOKOR J. U.; ARULEBA J.O. Impact of cattle grazing on soil hydrologic properties and cowpea (*Vigna urguiculata*, L.) yield on a Nigeria alfisol. **Agricultural Science Research Journals**, Kingdom, v. 1, n. 10, p. 277–283, 2011.

ANDRADE, J. G. DE et al. Perdas de água por evaporação em milho com semeadura convencional e direta para diferentes níveis de cobertura morta. Resultados experimentais. **Revista Ciências Técnicas Agropecuárias**, La Habana, v. 20, n. 2, p. 60–64, 2011.

ANGELOPOULOS, K.; DICHIO, B.; XILOYANNIS, C. Inhibition of photosynthesis in olive trees (*Olea europaea* L.) during water stress and rewatering. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 47, n. 301, p. 1093–1100, 1996.

ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. de F.; COSTA, S. E. V. G. de A. Abordagem sistêmica do solo em sistemas integrados de produção agrícola e pecuária no subtropical brasileiro. In: ARAÚJO, A. P.; AVELAR, B. J. R. (Eds.). **Tópicos de Ciência do Solo**. Viçosa: UFV, 2013. p. 221- 278.

ARAÚJO, P. H. C. **Eventos climáticos extremos: os efeitos dos fenômenos el Niña e la Niña sobre a produtividade agrícola das regiões Nordeste e Sul do Brasil**. 2012. 45 f. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Economia Rural, Programa de Pós-Graduação em Economia Aplicada, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.

ARAÚJO-JUNIOR, C. F. et al. Sistema poroso e capacidade de retenção de água em Latossolo submetido a diferentes manejos de plantas invasoras em uma lavoura cafeeira. **Planta Daninha**, Campinas, v. 29, n. 3, p. 499–513, 2011.

ARTHUR, E. et al. Soil resistance and resilience to mechanical stresses for three differently managed sandy loam soils. **Geoderma**, Amsterdam, v. 173–174, p. 50–60, 2012.

ASRAR, G.; FUCHS, M.; KANEMASU, E. T.; HATFIELD, J. Estimating absorbed photosynthetic radiation and leaf area index from spectral reflectance in wheat, **Agronomy Journal**, Madison, v. 76, p. 300-306, 1984.

ASSMANN, J. M. et al. Carbon and nitrogen cycling in an integrated soybean-beef cattle production system under different grazing intensities. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 50, n. 10, p. 967–978, 2015.

BAKER, N. R. Chlorophyll fluorescence: a probe of photosynthesis in vivo. **Annual review of plant biology**, Palo Alto, v. 59, p. 89–113, 2008.

BAKER, N. R. Light-use efficiency and photoinhibition of photosynthesis in plants under environmental stress. In: SMITH, J. A. C.; GRIFFITHS, H. (Eds.). **Water deficits plant responses from cell to community**. Oxford: Bios Scientific Publisher, 1993. p. 221-235.

BAVER, L. D. **Soil Physics**. 3rd ed. New York: Wiley, 1956.

BAVOSO, M. A. et al. Resiliência física de dois Latossolos Vermelhos sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 6, p. 1892–1904, 2012.

BERLINER, P.; OOSTERHUIS, D. M.; GREEN, G. C. Evaluation of the infrared thermometer as a crop water stress detector. **Agriculture and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 31, p. 219-230, 1984.

BERNARDO, S; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. Ed. Atualizada e Ampliada, Viçosa: UFV, 2006. 625 p.

BIRCHAM, J.S. **Herbage growth and utilization under continuous stocking management**. 1981. 384 p. Thesis (Doctorate) - University of Edinburgh, Computer Science, Edinburgh, 1981.

BLANCO-CANQUI, H.; LAL, R. Soil resilience and conservation. In: BLANCO, H.; LAL, R. (Eds.). **Principles of soil conservation and management**. New York: Springer, 2010. p. 425–447.

BLISS, N. B. et al. Distribution of soil organic carbon in the conterminous United States. In: HARTEMINK, A. E.; McSWEENEY, K. (Eds.). **Soil Carbon**. Madison, 2014. 85-93 p.

BOLHÀR-NORDENKAMPF, H. R. et al. Chlorophyll fluorescence as a probe of the photosynthetic competence of leaves in the field: A review of current instrumentation. **Functional Ecology**, London, v. 3, n. 4, p. 497–514, 1989.

BONETTI, J. de A. et al. Influência do sistema integrado de produção agropecuária no solo e na produtividade de soja e braquiária. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiania, v. 45, n. 1, p. 104–112, 2015.

BOWEN, G.D. Soil temperature, root growth, and plant function. In: WAISEL, Y.; ESHEL, A.; KAFKAFI, U. (Eds.). **Plant Roots: the Hidden Half**. New York: Marcel Dekker, 1991. p. 309–330.

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, 2006.

BRINDLEY, G. W., BROWN G. **Crystal structures of clay minerals and their X - ray identification**. 2 ed. London: Mineralogical Society, 1980. 495 p.

BUNCE, J. A. How do leaf hydraulics limit stomatal conductance at high water vapour pressure deficits? **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 29, n. 8, p. 1644–1650, 2006.

BUSARI, M. A. et al. Conservation tillage impacts on soil, crop and the environment. **International Soil and Water Conservation Research**, Amsterdam, v. 3, n. 2, p. 1–11, 2015.

BUSSE, M. D.; HUBBERT, K. R.; MOGHADDAS, E. E. Y. **Fuel Reduction Practices and Their Effects on Soil Quality**. Albany: United States Department of Agriculture, 2014. p. 157.

CALEGARI, A. Rotação de culturas e uso de plantas de cobertura. **Agroecologia**, Botucatu, v. 2, p. 14-19, 2002.

CAMARGO, F. A. O. et al. Nitrogênio orgânico no solo. In: SANTOS, G. A. de; SILVA, L. S. da; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Eds.) **Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2ª ed. Porto Alegre: Metropole, 2008. p. 87-99.

CAMPBELL, G. S.; NORMAN, J. M. **An Introduction to Environmental Physics**. New York: Springer, 1998. 286 p.

CARLESSO, R. et al. Runoff estimation in southern Brazil based on Smith's modified model and the Curve Number method. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 98, n. 6, p. 1020–1026, 2011.

CARMELA, S.; DECHEN, F.; MARIA, C. DE. SPD controla perdas de terra, água e nutrientes. **Visão Agrícola**, Piracicaba, v. 1, n. 9, p. 145–149, 2009.

CARPENTER-BOGGS, L. et al. Soil Nitrogen Mineralization Influenced by Crop Rotation and Nitrogen Fertilization. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 64, p. 2038–2045, 2000.

CARVALHO, P. C. de F. et al. Managing grazing animals to achieve nutrient cycling and soil improvement in no-till integrated systems. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Madison, v. 88, n. 2, p. 259–273, 2010.

CASSOL, L. C. **Relação solo-planta-animal num sistema de integração lavoura-pecuária em semeadura direta com calcário na superfície**. 2003. 157 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

CEMETRS – Conselho estadual de meteorologia do Rio Grande do Sul. Atlas Climático do Rio Grande do Sul. Disponível em:

http://www.cemet.rs.gov.br/upload/201308161444455_precipitacao.pdf. Acesso em: 24 jan. 2017.

CHAGAS, C. D. S. et al. Orientação das camadas de rochas meta pelíticas pobres na gênese de Latossolos sob cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 32, n. 5, p. 539–548, 1997.

CLEGG, C. D. Impact of cattle grazing and inorganic fertilizer additions to managed grasslands on the microbial community composition of soils. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 31, n. 1–2, p. 73–82, 2006.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Indicadores Agropecuários**. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1523&t=2>. Acessado em: 23 dez. 2016.

CONANT, R. T. et al. Impacts of periodic tillage on soil C stocks: A synthesis. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 95, p. 1–10, 2007.

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, 2011.

COSTA, S. E. G. de A. C. **Intervalo hídrico ótimo do solo e estado hídrico das plantas em sistema integrado de produção agrícola e pecuária no subtropical brasileiro**. 2014. 225 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

CQFS-RS/SC – Comissão de química e fertilidade do solo - RS/SC. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Porto Alegre: SBCS-NRS/EMBRAPA-CNPT, 2004. 400 p.

CURE, W. W.; FLAGLER, R. B.; HEAGLE, A. S. Correlations between canopy reflectance and leaf temperature in irrigated and droughted soybeans. **Remote Sensing of Environment**, Amsterdam, v. 29, n. 3, p. 273–280, 1989.

CURIEL-YUSTE, J. et al. Microbial soil respiration and its dependency on carbon inputs, soil temperature and moisture. **Global Change Biology**, Oxford, v. 13, n. 9, p. 2018–2035, 2007.

DEC, D.; DÖRNER, J.; HORN, R. Effect of Soil Management on their Thermal Properties. **Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal**, Valdivia, v. 9, n. 1, p. 26–39, 2009.

DEFELICE, M. S.; CARTER, P. R.; MITCHELL, S. B. Influence of Tillage on Corn and Soybean Yield in the United States and Canada. **Crop Management**, Madison, v. 16, n. 11, p. 1–14, 2006.

DEXTER, A. R. Soil physical quality: Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. **Geoderma**, Amsterdam, v. 120, p. 201–214, 2004.

DIDONÉ, E. J. et al. Impact of no-tillage agricultural systems on sediment yield in two large catchments in Southern Brazil. **Journal of Soils and Sediments**, Landsberg, v. 14, n. 7, p. 1287–1297, 2014.

DÖRNER, J. et al. Effect of land use change on Andosol's pore functions and their functional resilience after mechanical and hydraulic stresses. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 115, n. 116, p. 71–79, 2011.

DOURADO NETO, D. et al. Programa para confecção da curva de retenção de água no solo utilizando o modelo de Genuchten. **Engenharia Rural**, Santa Maria, v.1, p. 92-102, 1990.

DURANTE, P.; OYONARTE, C.; VALLADARES, F. Influence of land-use types and climatic variables on seasonal patterns of NDVI in Mediterranean Iberian ecosystems. **Applied Vegetation Science**, Baltimore, v. 12, n. 2, p. 177–185, 2009.

EEA - European Environment Agency. **Key environmental issues facing Europe**. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2009. Disponível em: <http://www.eea.europa.eu/publications/signals-2009>. Acessado em: 21 dez. 2016.

ELMHOLT, S. et al. Soil management effects on aggregate stability and biological binding. **Geoderma**, Amsterdam, v. 144, p. 455–467, 2008.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa CNPS, Documentos, 1, 1997. 212 p.

ENDALE, D. M. et al. No-till corn productivity in a southeastern United States Ultisol amended with poultry litter. **Agronomy Journal**, Madison, v. 100, n. 5, p. 1401–1408, 2008.

FAO - Food and Agriculture Organization. **An international consultation on integrated crop-livestock systems for development**: the way forward for sustainable production intensification. Roma: FAO, 2010. 65 p.

FAO - Food and Agriculture Organization. **Climate-Smart Agriculture Sourcebook**. New York: FAO, 2013. 545 p.

FAO - Food and Agriculture Organization. **The state of the world's land and water resources for food and agriculture**: managing systems at risk. New York: Earthscan, 2011. 281 p.

FERREIRA, M. M.; FERNANDES, B.; CURI, N. Influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de Latossolos da região sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 1, p. 515–524, 1999.

FRANZLUEBBERS, A. J. et al. Assessing biological soil quality with chloroform fumigation- incubation: Why subtract a control? **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 79, n. 4, p. 521–528, 1999.

FRANZLUEBBERS, A. J. et al. Determination of Microbial Biomass and Nitrogen Mineralization following Rewetting of Dried Soil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 60, p. 1133-1139, 1996.

FRANZLUEBBERS, A. J. Integrated crop-livestock systems in the southeastern USA. **Agronomy Journal**, Madison, v. 99, n. 2, p. 361–372, 2007.

FRANZLUEBBERS, A. J. Water infiltration and soil structure related to organic matter and its stratification with depth. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 66, n. 2, p. 197–205, 2002.

FRANZLUEBBERS, A. J.; BROCK, B. G. Surface soil responses to silage cropping intensity on a Typic Kanhapludult in the piedmont of North Carolina. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 93, n. 1, p. 126–137, 2007.

FRANZLUEBBERS, A. J.; HANEY, R. L.; HONS, F. M. Relationships of chloroform fumigation-incubation to soil organic matter pools. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 31, n. 3, p. 395–405, 1999.

FRANZLUEBBERS, A. J.; SCHOMBERG, H. H.; ENDALE, D. M. Surface-soil responses to paraplowing of long-term no-tillage cropland in the Southern Piedmont USA. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 96, n. 1–2, p. 303–315, 2007.

FRANZLUEBBERS, A. J.; STUEDEMANN, J. A. Crop and cattle production responses to tillage and cover crop management in an integrated crop-livestock system in the southeastern USA. **European Journal of Agronomy**, Oxford, v. 57, p. 62–70, 2014.

FRANZLUEBBERS, A. J.; STUEDEMANN, J. A. Does grazing of cover crops impact biologically active soil carbon and nitrogen fractions under inversion or no tillage management? **Journal of Soil and Water Conservation**, Madison, v. 70, n. 6, p. 365–373, 2015.

FRANZLUEBBERS, A. J.; STUEDEMANN, J. A. Early Response of Soil Organic Fractions to Tillage and Integrated Crop–Livestock Production. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 72, n. 3, p. 613–625, 2008.

FRANZLUEBBERS, A. J.; STUEDEMANN, J. A. Soil-profile distribution of organic C and N after 6 years of tillage and grazing management. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 64, n. 5, p. 558–566, 2013.

FRANZLUEBBERS, A. J.; STUEDEMANN, J. A.; FRANKLIN, D. H. Water infiltration and surface-soil structural properties as influenced by animal traffic in the Southern Piedmont USA. **Renewable Agriculture and Food Systems**, Cambridge, v. 27, n. 4, p. 256–265, 2012.

FREITAS, P. L.; LANDERS, J. N. The Transformation of agriculture in Brazil through development and adoption of zero tillage conservation agriculture.

International Soil and Water Conservation Research, Amsterdam, v. 2, n. 1, p. 35–46, 2014.

FUCHS, M. Infrared measurement of canopy temperature and detection of plant water stress. **Theoretical and Applied Climatology**, New York, v. 42, n. 4, p. 253–261, 1990.

GHIDIN, A. A. et al. Toposseqüências de Latossolos originados de rochas basálticas no Paraná II. - Relação entre mineralogia da fração argila e propriedades físicas dos solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 2, p. 307–319, 2006.

GONZALEZ-DUGO, V. et al. Using high-resolution hyperspectral and thermal airborne imagery to assess physiological condition in the context of wheat phenotyping. **Remote Sensing**, Basel, v. 7, n. 10, p. 13586–13605, 2015.

GOVAERTS, B.; VERHULST, N. **The normalized difference vegetation index (NDVI) Greenseeker (TM) handheld sensor**: toward the integrated evaluation of crop management. Part A-Concepts and case studies. México: CIMMYT, 2010. 13 p.

GREGORY, A. S. et al. Long-term management changes topsoil and subsoil organic carbon and nitrogen dynamics in a temperate agricultural system. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 67, n. 4, p. 421–430, 2016.

GREGORY, A. S. et al. Physical resilience of soil to field compaction and the interactions with plant growth and microbial community structure. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 58, n. 6, p. 1221–1232, 2007.

GRIFFITHS, B. S.; PHILIPPOT, L. Insights into the resistance and resilience of the soil microbial community. **FEMS Microbiology Reviews**, Amsterdam, v. 37, n. 2, p. 112–129, 2013.

GRISI, B. et al. Temperature effects on organic matter and microbial biomass dynamics in temperate and tropical soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 30, p. 1309–1315, 1998.

HÅKANSSON, I.; LIPIEC, J. A review of the usefulness of relative bulk density values in studies of soil structure and compaction. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 53, n. 2, p. 71–85, 2000.

HÅKANSSON, I.; REEDER, R. C. Subsoil compaction by vehicles with high axle load-extent, persistence and crop response. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 29, p. 277–304, 1994.

HATFIELD, J. L.; PRUEGER, J. H. Temperature extremes: Effect on plant growth and development. **Weather and Climate Extremes**, Amsterdam, v. 10, p. 4–10, 2015.

HAVAUX, M. Rapid photosynthetic adaptation to heat stress triggered in potato leaves by moderately elevated temperatures. **Plant, Cell & Environment**, Oxford, v. 16, n. 4, p. 461–467, 1993.

HAYNES, R. J. Labile organic matter as an indicator of organic matter quality in arable and pastoral soils in New Zealand. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 32, n. 2, p. 211–219, 2000.

HE, J. et al. Soil physical properties and infiltration after long-term no-tillage and ploughing on the Chinese Loess Plateau. **New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science**, Wellington, v. 37, n. 3, p. 157–166, 2009.

HERRICK, J. E.; WANDER, M. M. Relationships between soil organic carbon and soil quality in cropped and rangeland soils: The importance of distribution, composition and soil biological activity. In: LAL, R.; KIMBLE, J. M.; FOLLET, R. F.; STEWART, B. A. (Eds.). **Soil processes and carbon cycle: Advances in soil science**. Boca Raton: CRC Press, 1998. p. 405-426.

HILLEL, D. Soil dynamics: Stress, strain and strength. In: HILLEL, D. (Ed.) **Environmental soil physics**. New York, Academic Press, 1998. p. 341-382.

HURISSO, T. T. et al. Comparison of permanganate-oxidizable carbon and mineralizable carbon for assessment of organic matter stabilization and mineralization. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 80, n. 5, p. 1352–1364, 2016.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. <http://www.brasil.gov.br/economia-e-emprego/2015/10/rebanho-bovino-brasileiro-cresce-e-chega-a-212-3-milhoes-de-cabecas-de-gado>. 2015. Acessado em 30 de novembro de 2016.

INPE. Instituto de Pesquisa Econômica Espaciais. Disponível em: <http://www.inpe.br/>. Acessado em: 22 de dez. 2016.

JOHNSON, M. D.; LOWERY, B. Effect of Three Conservation Tillage Practices on Soil Temperature and Thermal Properties. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 49, n. 6, p. 1547-1552, 1985.

JONES, H.G. **Plants and microclimate: a quantitative approach to environmental plant physiology**. 3.ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2014. 428p

JONES, J. R. et al. Influence of soil, crop residue, and sensor orientations on NDVI readings. **Precision Agriculture**, Madison, v. 16, n. 6, p. 690–704, 2015.

JUNG, P. K.; SCOTT, H. D. Leaf water potential, stomatal resistance, and temperature relations in field-grown soybeans. **Agronomy Journal**, Madison, v. 72, p. 986–990, 1980.

KÄMPF, N.; CURI, N. Argilominerais em solos brasileiros. In: CURI, N. et al. (Eds.). **Tópicos em Ciência do Solo**, Viçosa: UFV, 2003. p.1-54.

KIRKHAM, M.B. **Principles of soil and plant water relations**. London: Elsevier Academic Press, 2005. 500 p.

KOSTIAKOV, A. N. **On the dynamics of the coefficient of water - percolation in soils and on the necessity for studying it from a dynamic point of view**

for purposes of ameliation. Transaction Congress, International Society for Soil Science, 6th, Part A, Moscou, 1932, p. 17-21.

KOTTEK, M. et al. World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 15, n. 3, p. 259–263, 2006.

KRANENBURG, K. F. aus. **The influence of spatially heterogeneous soil temperatures on plant structure and function.** 2007. 125 f. Dissertação (Mestrado) - Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät, Heinrich-Heine-Universität, Düsseldorf, 2007.

KRAUSE, G. H.; WEIS, E. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: The Basics. **Annual Review Plant Physiology**, Palo Alto, v. 42, p. 313–49, 1991.

KRAUSE, G. H.; WEIS, E. Chlorophyll fluorescence as a tool in plant physiology - II. Interpretation of fluorescence signals. **Photosynthesis Research**, New York, v. 5, n. 2, p. 139–157, 1984.

KUAN, H. L. et al. The biological and physical stability and resilience of a selection of Scottish soils to stresses. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 58, n. 3, p. 811–821, 2007.

KUTILEK, M.; NIELSEN, D.; REICHARDT, K. **Soil water retention curve, interpretation.** Trieste: Lecture Notes College on Soil Physics, International Centre for Theoretical Physics, 2007.

LANDERS, J. N. **Histórico, característica e benefícios do plantio direto.** Brasília: UNB, 2005. 109 p.

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, 2007.

LEBERT, M.; HORN, R. A method to predict the mechanical strength of agricultural soils. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 19, p. 275–286, 1991.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo.** 2. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2005. 329p.

LICHT, M. A.; AL-KAISI, M. Strip-tillage effect on seedbed soil temperature and other soil physical properties. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 80, p. 233–249, 2005.

LICHTENTHALER, HK, RINDERLE U. 1988. **The role of chlorophyll fluorescence in the detection of stress conditions in plants.** CRC Critical Reviews in Analytical Chemistry, 1998. p. 29–85.

LIEBIG, M. A. et al. Soil hydrological attributes of an integrated crop-livestock agroecosystem: increased adaptation through resistance to soil change. **Applied & environmental soil science**, New York, v. 2011, p. 1–6, 2011.

LIPPER, L. et al. Climate-smart agriculture for food security. **Nature Climate Change**, New York, v. 4, n. 12, p. 1068–1072, 2014.

LIU, F. et al. The effect of vapor pressure deficit on leaf area and water transport in flower stems of soil-less culture rose. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 81, p. 216–224, 2006.

LIU, H. et al. One-time strategic tillage does not cause major impacts on soil microbial properties in a no-till Calcisol. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 158, p. 91–99, 2016.

LOGAN, B. A.; ADAMS, W. W.; DEMMIG-ADAMS, B. Avoiding common pitfalls of chlorophyll fluorescence analysis under field conditions. **Functional Plant Biology**, Collingwood, v. 34, n. 9, p. 853–859, 2007.

LOVELL, R. D.; JARVIS, S. C. Effects of urine on soil microbial biomass, methanogenesis, nitrification and denitrification in grassland soils. **Plant and Soil**, Amsterdam, v. 186, p. 265–273, 1996.

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, 2008.

MARCHÃO, R. L. et al. Qualidade física de um Latossolo Vermelho sob sistemas de integração lavoura-pecuária no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 6, p. 873–882, 2007.

MARTINS, A. P. et al. (Ed.). **Integração soja-bovinos de corte no sul do Brasil**. Porto Alegre: Gráfica RJR, 2015. 104 p.

MATHIS, P.; PAILLOTIN, G. Primary process of photosynthesis. In: HATCH, M.D.; BOARDMAN, N. K. (Eds.). **The biochemistry of plants**. San Diego: Academic Press, 1981. p. 97-161.

MAXWELL, K.; JOHNSON, G. N. Chlorophyll fluorescence - a practical guide. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 51, n. 345, p. 659–668, 2000.

McCARTHY, J. F. et al. Protection of organic carbon in soil microaggregates via restructuring of aggregate porosity and filling of pores with accumulating organic matter. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, Oxford, v. 72, n. 19, p. 4725–4744, 2008.

McCARTY, G. W.; LYSSSENKO, N. N.; STARR, J. L. Short-term changes in soil carbon and nitrogen pools during tillage management transition. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 62, n. 6, p. 1564–1571, 1998.

McGILL, W. B. et al. Dynamics of soil microbial biomass and water-soluble organic c in breton L after 50 years of cropping to two rotations. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 66, n. 1, p. 1–19, 1986.

MILLER, P. C. Bioclimate, leaf temperature, and primary production in red mangrove canopies in south Florida. **Ecology**, Washington, v. 53, n. 1, p. 22–45, 1972.

MONEGAT, C. **Plantas de cobertura de solo: características e manejo em pequenas propriedades**. Chapecó, 1991. 337p.

MUELLER, J. P. et al. Development and Implementation of a Long-term Agricultural Systems Study: Challenges and Opportunities. **Horticulture Technology**, Piedmont, v. 12, n. 3, p. 362–368, 2002.

MUNKHOLM, L. J. et al. Aggregate strength and mechanical behaviour of a sandy loam soil under long-term fertilization treatments. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 53, n. 1, p. 129–137, 2002.

MURCHIE, E. H.; LAWSON, T. Chlorophyll fluorescence analysis: A guide to good practice and understanding some new applications. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 64, n. 13, p. 3983–3998, 2013.

NC CRONOS Database. **State Climate Office of North Carolina, Goldsboro, USA**. Disponível em: <http://climate.ncsu.edu/cronos>. Acessado em: 22 de dez. 2016.

NICOLOSO, R. D. S. et al. Balanço do carbono orgânico no solo sob integração lavoura-pecuária no sul do Brasil. **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 2425–2433, 2008.

NICOLOSO, R. S.; LANZANOVA, M. E.; LOVATO, T. Manejo das pastagens de inverno e potencial produtivo de sistemas de integração lavoura-pecuária no Estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 6, p. 1799–1805, 2006.

ONU – Organização das Nações Unidas. **World population prospects: key findings & advances tables**. New York: United Nation, 2015. p. 59.

PERDOK, U.; KROESBERGEN, B.; HOOGMOED, W. . Possibilities for modelling the effect of compression on mechanical and physical properties of various Dutch soil types. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 65, n. 1, p. 61–75, 2002.

PEZZOPANE, J.E.M.; REIS, G.G.; REIS, M.G.F.; COSTA, J.M.N.; CHAVES, J.H. Temperatura do solo no interior de um fragmento de floresta secundária semidecidual. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.10, n.1, p.1-8, 2002.

PIRES, L. F. et al. Soil porous system changes quantified by analyzing soil water retention curve modifications. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 100, p. 72–77, 2008.

PITTELKOW, C. M. et al. Productivity limits and potentials of the principles of conservation agriculture. **Nature**, New York, v. 517, p. 365–367, 2014.

PORTUGAL, A. F. **Resiliência da estrutura em Argissolo sob diferentes usos, na zona da mata de Minas Gerais**. 2005. 87 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2005.

QIU, N.; LU, C. Enhanced tolerance of photosynthesis against high temperature damage in salt-adapted halophyte (*Atriplex centralasiatica*) plants. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 26, n. 7, p. 1137–1145, 2003.

QUEIROZ, C. G. S.; GARCIA, Q. S.; LEMOS FILHO, J. P. Atividade fotossintética e peroxidação de lipídios de membrana em plantas de aroeira-do-sertão sob estresse hídrico e após reidratação. **Braslian Journal of Plant Physiology**, Amsterdam, v. 14, n. 1, p. 59–63, 2002.

RAHIMI, H.; PAZIRA, E.; TAJIK, F. Effect of soil organic matter, electrical conductivity and sodium adsorption ratio on tensile strength of aggregates. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 54, n. 3–4, p. 145–153, 2000.

RAWLS, W. J. et al. Effect of soil organic carbon on soil water retention. **Geoderma**, Amsterdam, v. 116, n. 1–2, p. 61–76, 2003.

REICH, P. B.; HINCKLEY, T. M. Influence of pre-dawn water potential and soil-to-leaf hydraulic conductance on maximum daily leaf diffusive conductance in two oak species. **Functional Ecology**, Amsterdam, v. 3, n. 6, p. 719–726, 1989.

REICHARDT, K.; TIM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: Conceitos, processos e aplicações**. 2ª ed. Barueri: Manole, 2012. 500 p.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade Dos Solos E Sustentabilidade De Sistemas Agrícolas. **Ciência & Ambiente**, Santa Maria, v. 27, p. 29–48, 2003.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. In: **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: UFV, 2007. p. 49–134.

RIBAS, G. G. et al. Temperatura do solo afetada pela irrigação e por diferentes coberturas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 35, n. 5, p. 817–828, 2015.

ROUSE, J.W. et al. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: **Earth resources technology satellite symposium**. Washington: Proceedings, NASA, 1973. p. 309-317.

RUIZ, H. A. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte + argila). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 2, p. 297–300, 2005.

SÁ, J. P. G. **Utilização Da Aveia Na Alimentação Animal**. IAPAR, 1995. p. 20 (Circular 87).

SANTI, A. L. et al. Análise de componentes principais de atributos químicos e físicos do solo limitantes a produtividade de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 9, p. 1346–1357, 2012.

SAWYER, J. et al. Concepts and rationale for regional nitrogen rate guidelines for corn. 2015. p. 27. **Iowa State University**. Disponível em: [t www.extension.iastate.edu/Publications/2015.pdf](http://www.extension.iastate.edu/Publications/2015.pdf). Acessado em: 20 dez. 2016.

SCHREIBER, U. et al. Chlorophyll fluorescence as a diagnostic tool: basics and some aspects of practical relevance. In: RAGHAVENDRA, A. S. **Photosynthesis: a comprehensive treatise**. Cambridge: Cambridge University Press, 1998. p. 320-336.

SETIYONO, T. D. et al. Simulation of soybean growth and yield in near-optimal growth conditions. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 119, n. 1, p. 161–174, 2010.

SEYBOLD, C. A.1; HERRICK, J. E.2; BREJDA, J. J. Soil resilience: a fundamental component of soil quality. **Soil Science**, Madison, v. 164, n. 4, p. 224–234, 1999.

SILVA, A. J. N. DA; CABEDA, M. S. V. Seção I - Física Do Solo Compactação E Compressibilidade Do Solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 2, p. 921–930, 2006.

SILVA, V. R. DA; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Variação na temperatura do solo em três sistemas de manejo na cultura do feijão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 3, p. 391–399, 2006.

SMALLA, K. et al. Bulk and rhizosphere soil bacterial communities studied by denaturing gradient gel electrophoresis: plant-dependent enrichment and seasonal shifts revealed bulk and rhizosphere soil bacterial communities studied by denaturing gradient gel electrophoresis. **Applied and environmental microbiology**, Washington, v. 67, n. 10, p. 4742–4751, 2001.

SOUZA, E. D. DE et al. Soil aggregation in a crop-livestock integration system under no-tillage. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 4, p. 1365–1374, 2010.

SOWINSKI, P. et al. Assimilate transport in maize (*Zea mays* L.) seedlings at vertical low temperature gradients in the root zone. **Journal of Experimental Botany**, v. 49, n. 321, p. 747–752, 1998.

STARR, G. et al. Determination of evapotranspiration and drainage in wild blueberries (*Vaccinium angustifolium*) using weighing lysimeters. **Small Fruits Review**, Amsterdam, v. 3, 2004. p. 273-283

STONE, J. A.; TAYLOR, H. M. Temperature and the Development of the Taproot and Lateral Roots of Four Indeterminate Soybean Cultivars. **Agronomy Journal**, v. 75, n. 4, p. 613, 1983.

STRECK, N. A.; SCHNEIDER, F. M. & BURIOL, G. A. Modificações físicas causadas pelo mulching. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 2, p. 131-142, 1994

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

THOMAS, A. L.; COSTA, J. A. Desenvolvimento da planta de soja e o potencial de rendimento de grãos. In: THOMAS, A. L.; COSTA, J. A. (Ed.). **Soja: manejo para alta produtividade de grãos**. Porto Alegre: Evangraf, 2010. p. 13-33.

TORMENA, C.; SILVA, A. Incorporação da densidade no ajuste de dois modelos à curva de retenção de água no solo. **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, v. 26, n. 1, p. 305–314, 2002.

TYAGI, S. K.; TRIPATHI, R. P. Effect of temperature on soybean germination. **Plant and Soil**, Amsterdam, v. 74, n. 2, p. 273–280, 1983.

VALBOA, G. et al. Long-term variations in soil organic matter under different tillage intensities. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 154, p. 126–135, 2015.

van GENUCHTEN, M. T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, n. 5, p. 891–898, 1980.

VEIGA, M.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Tillage systems and nutrient sources affecting soil cover, temperature and moisture in a clayey Oxisol under corn. **Revista Brasileira De Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 6, p. 2011–2020, 2010.

VERHULST, N. et al. The effect of tillage, crop rotation and residue management on maize and wheat growth and development evaluated with an optical sensor. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 120, n. 1, p. 58–67, 2011.

VORONEY, R. P.; PAUL, E. A. Determination of k_C and k_N in situ for calibration of the chloroform fumigation-incubation method. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 16, n. 1, p. 9–14, 1984.

WANG, F. et al. Correlation analysis of NDVI dynamics and hydro-meteorological variables in growth period for four land use types of a water scarce area. **Earth Science Informatics**, Berlin, v. 7, n. 3, p. 187–196, 2014.

WANG, W. J.; SMITH, C. J.; CHEN, D. Predicting Soil Nitrogen Mineralization Dynamics with a Modified Double Exponential Model. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 68, n. 4, p. 1256, 2004.

XAVIER, A. C.; VETTORAZZI, C. A. Monitoring leaf area index at watershed level through NDVI from Landsat-7/ETM+ data. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 61, n. 3, p. 243–252, 2004.

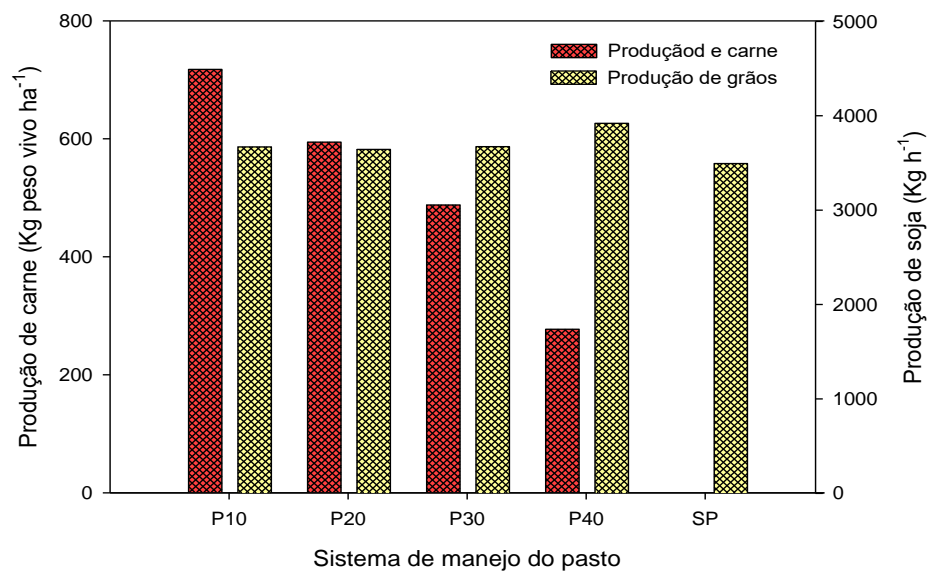
ZHA, Q. et al. Changes in the protective mechanism of photosystem II and molecular regulation in response to high temperature stress in grapevines. **Plant Physiology and Biochemistry**, Paris, v. 101, p. 43–53, 2016.

ZHANG, B.; HORN, R.; HALLETT, P. D. Mechanical resilience of degraded soil amended with organic matter. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 69, n. 3, p. 864–871, 2005.

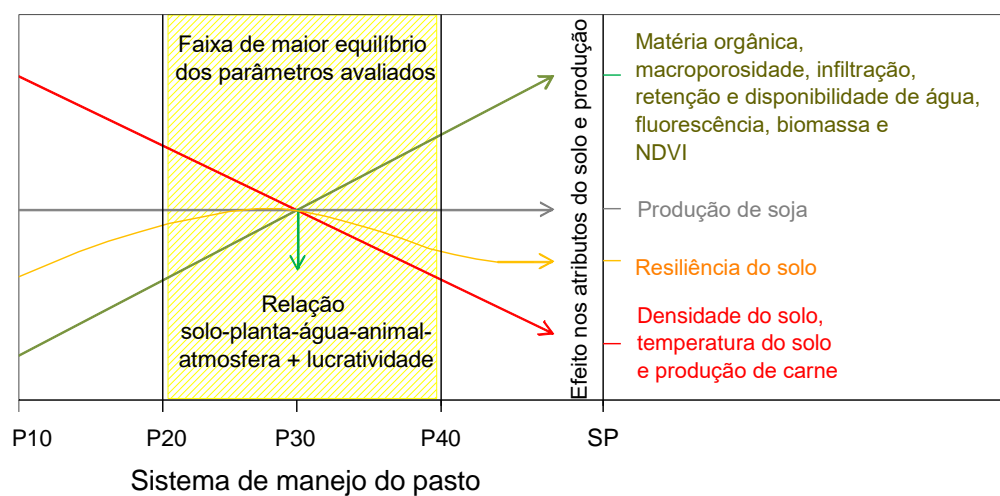
ZHOU, X. et al. Intermediate grazing intensities by sheep increase soil bacterial diversities in an Inner Mongolian steppe. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 46, n. 8, p. 817–824, 2010.

ZHU, L. et al. Effects of different tillage and straw return on soil organic carbon in a rice-wheat rotation system. **PLoS ONE**, San Francisco, v. 9, n. 2, p. 1–7, 2014.

12 APÊNDICE



Apêndice 1. Produtividade média de carne e soja em no sistema integrado soja-bovinos de corte em semeadura direta de longa duração.



Apêndice 2. Relação multidisciplinar entre sistemas de produção com solo-planta-água-animal-atmosfera + lucratividade no sistema integrado soja-bovinos de corte em semeadura direta.

13 RESUMO BIBLIOGRÁFICO

João de Andrade Bonetti, filho de Fernandes Bonetti e Mariana de Andrade Bonetti, nasceu em 11 de setembro de 1984 em Mundo Novo, Mato Grosso do Sul. Estudou o primeiro e segundo grau nas extintas escolas rurais Anita Garibaldi e Escola Agrícola de Juína, no estado do Mato Grosso. Neste mesmo estado concluiu o ensino médio na escola Dr. Guilherme de Freitas Abreu Lima e ingressou no ano de 2007 no curso de Agronomia da Universidade Federal do Mato Grosso, campus Sinop. Formou-se Engenheiro Agrônomo em 2011, e de dezembro de 2011 a julho de 2012 trabalhou no campo experimental avançado da BASF, na Fundação Rio Verde no município de Lucas do Rio Verde-MT. Em agosto de 2011 iniciou seus estudos de Mestrado em Produção Vegetal no Programa de Pós-graduação da Universidade Federal de Goiás. Em março de 2013 iniciou o Doutorado em Ciência do Solo na Universidade Federal do Rio grande do Sul. Casou-se com Patrícia Erika Matsushita em 2015. De janeiro de 2016 a janeiro de 2017 estudou parte do Doutorado na Universidade Estadual da Carolina do Norte, nos Estados Unidos da América.