

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

**IMPACTO DA INTENSIDADE DE PASTEJO NA PRODUTIVIDADE DA SOJA
EM INTEGRAÇÃO COM BOVINOS DE CORTE**

LUIS AUGUSTO MARTINS CAETANO
Engenheiro Agrônomo/UFRGS

Dissertação apresentada como um dos requisitos à obtenção do Grau de
Mestre em Zootecnia
Área de Concentração Plantas Forrageiras

Porto Alegre (RS), Brasil.
Março, 2017

CIP - Catalogação na Publicação

Caetano, Luis Augusto Martins
IMPACTO DA INTENSIDADE DE PASTEJO NA
PRODUTIVIDADE DA SOJA EM INTEGRAÇÃO COM BOVINOS DE
CORTE / Luis Augusto Martins Caetano. -- 2017.
85 f.

Orientador: Paulo César de Faccio Carvalho.
Coorientador: Christian Bredemeier.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do
Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Programa
de Pós-Graduação em Zootecnia, Porto Alegre, BR-RS,
2017.

1. Intensidade de pastejo. 2. Produtividade da
soja. 3. Componentes de rendimento. 4. Plasticidade
fenotípica. 5. Análises de cluster e discriminante.
I. Carvalho, Paulo César de Faccio, orient. II.
Bredemeier, Christian, coorient. III. Título.

LUIS AUGUSTO MARTINS CAETANO
Engenheiro Agrônomo

DISSERTAÇÃO

Submetida como parte dos requisitos
para obtenção do Grau de

MESTRE EM ZOOTECNIA

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

Aprovada em: 30.03.2017
Pela Banca Examinadora



CHRISTIAN BREDEMEIER
Coorientador

Homologado em: 12.05.2012
Por




PAULO CÉSAR DE FACCIO CARVALHO
Coordenador do Programa de
Pós-Graduação em Zootecnia



JAMIR LUIS SILVA DA SILVA
EMBRAPA

ALVADI ANTONIO BALBINOT JUNIOR
EMBRAPA



IVANOR ANGINONI
Dep de Sojos/ UFRGS



CARLOS ALBERTO BISSANI
Diretor da Faculdade de Agronomia

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus familiares, em especial minha irmã “Marta Caetano” e meu cunhado “Paulo Bobik”, pelas horas de conversas e ao apoio na execução desse trabalho. Aos meus pais “Conceição e Jose Luiz Caetano” pelos ensinamentos e ao apoio incondicional.

Ao amigo Paulo, “Paulo Carvalho”, por ter acreditado em mim e a todo aprendizado adquirido ao longo de 4 anos no GPEP, somado a inúmeros que virão.

Ao Christian Bredemeier, meu primeiro orientador, obrigado pela confiança e parceira que se iniciou com esse trabalho e que perdure por anos.

À Taise Kunrath e Raquel Barro pelo acolhimento desde o início.

À professora Carolina Bremm e aos doutores Armindo Barth e Taise Kunrath obrigado pela paciência e disponibilidade de tempo, imprescindível na construção deste trabalho.

Aos queridos Raquel Barro, William Filho, Pedro Nunes e Gleice Menezes, obrigado pelos anos de convivência nas idas e vindas de Tupã. Deixaram saudades.

Em especial aos colegas e amigos Radael Marinho, Ricardo Gonçalves, Gleice Menezes, Jennifer Mayara (UEPG) e Alessandra Bianchin (UFSM) pelo apoio na execução das extensas atividades a campo.

Aos bolsistas Ana Carla D., Alice B., Thainá F., Débora R., Catarine B., Raissa B., Gustavo., Gustavo., Vinicius M., Augusto W., Lucas T., Rodrigo L., Guilherme, Felipe C., Sylvio M., Cesar R., agradeço pela dedicação no desenvolvimento das atividades na garagem, contando soja.

Aos demais colegas de GPEP, Paulinho Cardoso V., Cleist Nunes (*in memoriam*), Rubens C., Jean S., Jean M., Olivier B., Ian M., Marcelo W., Julio A., Jonatas C., Alejandra M., Caity P., Fernanda M., Dani M., Anderson S., Gentil N., Jeferson E., Francisco M., Angel Z. e Thiago B., pelos dias de convivência e aprendizado.

Às queridas Andrisa Z. e Cristiane W. pelas palavras de incentivo.

A Universidade Federal do Rio Grande do Sul pela oportunidade de realizar a graduação e o mestrado, ensino público, gratuito e de qualidade. Em especial a todos os professores e funcionários da Faculdade de Agronomia pelo aprendizado e a amizade ao longo de minha vivência nesta casa.

Aos doutores, Alvadi A. Balbinot Jr., Jamir L. S. da Silva e Ibanor Anghinoni pelo aceite em participar de minha banca examinadora.

À CAPES pela concessão de bolsa de estudo durante o desenvolvimento desse trabalho.

Ao Francisco e a todos os funcionários da Fazenda do Espinilho, pela parceira ao longo desses inúmeros anos na execução das atividades. À família Soldeira (a Carmen, o Valmir e o Mateus) pela acolhida em Tupã nesses anos, em especial a cerveja gelada e o chimarrão nos finais de tarde, depois de um dia escaldante. Ao Glênio Soldeira e ao Bernardo da agropecuária Guajuvira pela parceria na condução da fase lavoura no experimento.
Aos finais de tarde de Tupã, inesquecíveis.

MUITO OBRIGADO!

Impacto da intensidade de pastejo na produtividade da soja em integração com bovinos de corte¹

Autor: Luis Augusto Martins Caetano
Orientador: Paulo César de Faccio Carvalho
Co-orientador: Christian Bredemeier

Resumo - A intensidade de pastejo pode ser reconhecida como primordial na formação do potencial produtivo da lavoura em sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA). Neste estudo, objetivamos entender como diferentes intensidades de pastejo definem a produtividade da soja em SIPA. O trabalho está inserido em um protocolo experimental de longa duração iniciado em 2001, no estado do Rio Grande do Sul, Brasil. Os tratamentos são definidos durante a fase pastagem, arranjados em um delineamento de blocos completamente casualizados com três repetições em diferentes intensidades de pastejo por novilhos em pasto misto de azevém anual e aveia: pastejo intenso (P10), pastejo moderado (P20), pastejo moderado-leve (P30), pastejo leve (P40) e ausência de pastejo (SP) e ausência de pastejo (SP). A soja foi semeada após a saída dos animais e os dados coletados durante a safra 2015/16. A inserção do animal não afetou a produtividade da soja ($P=0,0570$). Análises de cluster e discriminante foram utilizadas no estudo da variação na produtividade. O cluster hierárquico agrupou valores de produtividade em três grupos, alta (CA), intermediária (CI) e baixa (CB), baseado em suas similaridades. Os atributos químicos não foram limitantes da produtividade. O residual da pastagem exerceu papel central na construção do potencial produtivo ($P<0,001$). A maior população de plantas foi encontrada no CB ($P<0,001$), com número inferior de legumes por área, frente aos demais clusters ($P<0,001$). A plasticidade fenotípica da soja explica a compensação pela modificação da arquitetura do estande de plantas nos clusters CA e CI, resultando na maior formação de legumes por planta ($P<0,05$). Pela análise de cluster observou-se que o P10 não apresenta valores de alta produtividade ao contrário do SP que não possui valores de produtividade baixa. Quase metade dos valores observado no P40 são mais produtividade enquanto, o P20 e P30 tendem a apresentar maior homogeneidade na distribuição entre os clusters. A análise discriminante definiu parâmetros que mais explicam a variação entre os clusters. Através da função stepwise encontramos cinco variáveis (residual da pastagem, fósforo, altura final - R8, nós por ramos, legumes por área) que explicam a maioria da variação. O modelo para prever a produtividade da soja, a partir das variáveis explicativas avaliadas a campo selecionadas pela análise discriminante, demonstrou a acurácia na predição da produtividade espacial, em sistemas integrados de produção agropecuária com diferentes intensidades de pastejo, sob plantio direto na palha.

Palavras-chave: intensidade de pastejo, produtividade da soja, componentes de rendimento, plasticidade fenotípica, análises de cluster e discriminante.

¹ Dissertação de Mestrado em Zootecnia – Plantas Forrageiras, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil (83p.), Março, 2017.

Impact of grazing intensity on soybean yield integrated with beef cattle¹

Author: Luis Augusto Martins Caetano
Advisor: Paulo César de Faccio Carvalho
Co-advisor: Christian Bredemeier

Abstract – Grazing intensity can be considered essential to the potential productivity of crops in integrated crop-livestock systems (ICLS). In this study, we aimed to understand how different grazing intensities define the subsequent productivity of soybeans in ICLS. The work forms part of a long-term experimental protocol dating from 2001 in Rio Grande do Sul state, Brazil. Treatments were defined during the pasture phase, arranged in a completely randomized block design with three replicates under different grazing intensities by steers on Italian ryegrass and black oat mixed pastures: intense grazing (G10), moderate grazing (G20), moderate-light grazing (G30), light grazing (P40), and an ungrazed control (UG). Soybean was planted after exit of the animals and data were collected during the 2015/16 season. The integration of animals did not affect soybean productivity ($P=0.0570$). Cluster and discrimination analyses were used to study variation in productivity. The cluster hierarchy returned three groups of productivity values: high (HC), intermediate (IC), and low (LC), based on their similarities. Chemical attributes were not limiting to productivity. Pasture residue played a central role in the determination of potential productivity ($P<0.001$). The greatest plant population was found in the LC ($P<0.001$), while more pods per plant were found in the HC and IC ($P<0.001$). This result is explained by the phenotypic plasticity of soybean, which allows it to compensate for lower plant population by modifying plant stand architecture. The cluster analysis revealed that G10 did not present high productivity values, as opposed to UG, which did not contain low productivity values. Nearly half of the values observed in G40 were more productive, while G20 and G30 tended to produce greater homogeneity in the distribution among clusters. A discrimination analysis defined the parameters that explain the greatest part of the variation among clusters. Using a stepwise function, we found five variables (pasture residue, phosphorus, final plant height at R8, nodes per branch, and pods per area) that explained most of the variation. The model to predict soybean productivity, using the explanatory field variables selected by the discrimination analysis, demonstrated accuracy in the prediction of spatial productivity in ICLS with different grazing intensities under no-till.

Keywords: soybean yield, grazing intensity, yield component, phenotypic plasticity, cluster and discrimination analysis.

¹ Master of Science dissertation in Forage Science, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil, (83p.), March, 2017.

SUMÁRIO

1	CAPÍTULO I.....	10
1.1	INTRODUÇÃO.....	11
1.2	HIPÓTESES.....	12
1.3	OBJETIVOS.....	12
1.4	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	12
1.4.1	Sistemas integrados de produção agropecuária – do macro ao micro.....	12
1.4.2	O animal impondo heterogeneidade e o sue reflexo nos sistemas produtivos.....	16
1.4.3	O sistema atuando como promotor da estabilidade produtiva.....	18
1.4.4	A soja em sistemas integrados.....	20
2	CAPÍTULO II.....	23
	Impacto da intensidade de pastejo na produtividade da soja em integração corte.....	24
2.1	Introdução.....	26
2.2	Material e Métodos.....	29
2.2.1	Características locais, delineamento experimental e tratamentos.....	29
2.2.2	Manejo da lavoura.....	32
2.2.3	Procedimentos amostrais.....	33
2.2.3.1	Coletas de solo e resíduo.....	33
2.2.3.2	Avaliações no crescimento/desenvolvimento.....	34
2.2.3.3	Produtividade e componentes do rendimento.....	34
2.2.3.4	Arquitetura de plantas.....	35
2.2.4	Análise estatística.....	35
2.3	Resultados.....	37
2.3.1	Produtividade da produtividade pelo <i>clustering</i>	37
2.3.2	Análise de variância entre os clusters para as variáveis analisadas.....	39
2.3.3	Seleção dos parâmetros de variação da produtividade de soja usando a análise discriminante.....	40
2.4	Discussão.....	41
2.4.1	Análise de <i>cluster</i>	42
2.4.1.1	Resíduo da pastagem e atributos do solo.....	42
2.4.1.2	Atributos da planta.....	46
2.4.1.3	Produtividade.....	50
2.4.2	Análise discriminante.....	51
2.4.3	Modelo para predição da produtividade.....	52
2.5	Conclusão.....	54
2.6	Referências bibliográficas.....	55
3	CAPÍTULO III.....	72
3.1	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	73
4	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	75
5	VITA.....	83

RELAÇÃO DE TABELAS**CAPÍTULO II Impacto da intensidade de pastejo na produtividade da soja em integração com bovinos de corte**

Tabela 1	Manejo fitossanitário da lavoura durante o período experimental, com o uso de herbicidas, inseticidas e fungicidas.....	29
Tabela 2	Estatística descritiva para análise de cluster em diferentes níveis de produtividade e intensidades de pastejo em sistema soja-bovinos de corte em semeadura direta.....	33
Tabela 3	Análise de variância para o residual da pastagem, atributos de solo e lavoura, em relação aos três clusters de produtividade em sistema soja-bovinos de corte em semeadura direta.....	35

RELAÇÃO DE FIGURAS

CAPÍTULO I

- Figura 1 Funções metabólica, imunológica e produtiva de (a) um agroecossistema convencional com a função produtiva baseada em insumos externos (fertilizantes e defensivos químicos) ao qual as funções imunológica e metabólica não suportam o funcionamento do sistema; (b) agroecossistema sustentável com efeito benéfico das funções, formando um sistema mais estável e resiliente..... 17
- Figura 2 Modelo conceitual das variáveis envolvidas na construção do potencial produtivo em sistemas integrado de produção agropecuária sob semeadura direta 20

CAPÍTULO II Impacto da intensidade de pastejo na produtividade da soja em integração com bovinos de corte

- Figura 1 Localização do protocolo experimental, no Planalto Médio do Rio Grande do Sul (a); vista geral da área experimental arranjada em blocos casualizados, composto de três repetições por tratamento (altura do pasto) mais duas áreas sem pastejo entre blocos (b); esquema que demonstra a localização espacial das parcelas dentro de cada potreiro (c); representação esquemática da parcela, formada pelo conjunto de dezesseis subparcelas agrupadas em quatro unidades amostrais (d); croqui da subparcela, composta por quatro linhas de semeadura de soja em dois metros (e)..... 26
- Figura 2 Acumulado semanal de precipitação (mm) e a média semanal da temperatura do ar (°C) durante o período experimental..... 28
- Figura 3 Dispersão dos pontos da produtividade de soja para as diferentes intensidades de pastejo (P10, P20, P30, P40) e as áreas sem pastejo (SP), dentro dos blocos (1,2 e 3) com duas parcelas amostrais por repetição (A e B), em sistema integrado soja-bovinos de corte em semeadura direta..... 32
- Figura 4 Dendograma criado pela análise de clustering hierárquico aplicando o método de ligação de Ward, mostrando três clusters de produtividade (baixo, intermediário e alto), para diferentes intensidades de pastejo em sistema integrado soja-bovinos de corte em semeadura direta..... 33
- Figura 5 Representação gráfica da dispersão de escores de variáveis canônicas, para três clusters de produtividade (baixo,

intermediário e alto) e seus centroides, obtida através de análise discriminante e método “stepwise” para seleção de parâmetros, que melhor explicam a variação da produtividade para diferentes intensidades de pastejo em sistema soja-bovinos de corte em semeadura direta..... 37

Figura 6 Gráfico de dispersão com pontos para a produtividade real (A) e a produtividade predita (B), calculada pela função “prediction express” do software estatístico JMP, utilizando cinco variáveis independentes (legumes por área, altura final – R8, resíduo do pasto, fósforo, nós por ramos)..... 44

LISTA DE ABREVIATURAS

Al	alumínio
CA	<i>cluster</i> alto
Ca	cálcio
CB	<i>cluster</i> baixo
CI	<i>cluster</i> intermediário
cmol _c dm ⁻³	centimol de carga por decímetro cúbico
cm	centímetro
CTC	capacidade de troca de cátions
e.g.	<i>exempli gratia</i>
et al.	<i>et alii</i>
FAO	Food and Agriculture Organization
FEPAGRO	Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária
g	grama
ha	hectare
i.a.	ingrediente ativo
K	potássio
KCl	cloreto de potássio
km	quilometro
L	litro
m	metro
m ²	metro quadrado
Mg	magnésio
mg dm ⁻³	miligrama por decímetro cúbico
Mg ha ⁻¹	megagrama por hectare
ml	mililitro
mm	milímetro
MO	matéria orgânica
MS	matéria seca
n ^o	número
N	nitrogênio
P	fósforo
P10	pastejo intensivo
P20	pastejo moderado
P30	pastejo moderado-leve
P40	pastejo leve
pH	potencial hidrogênionico
SIPA	Sistemas Integrados de Produção Agropecuária
SP	sem pastejo

CAPÍTULO I

1.1 INTRODUÇÃO

A utilização de sistemas agrícolas que combinam produção vegetal e animal pela humanidade datam de 8 – 10 milênios atrás (RUSSELLE et al., 2007). Estes sistemas permitiam o uso de animais em terras não aráveis onde, além da vegetação natural como fonte de alimento, os forneciam resíduos das culturas agrícolas, com o intuito de produzir carne, leite e produtos associados a subsistência familiar. Em contrapartida, coletavam-se os dejetos animais visando a utilização como adubo na construção da fertilidade dos solos agricultáveis (SCHIERE et al., 2002; RUSSELLE et al., 2007; MORAINÉ et al., 2016).

Hoje, cerca de um bilhão de pessoas sofrem de desnutrição crônica ao mesmo tempo em que nossos sistemas agrícolas degradam simultaneamente o solo, a água, a biodiversidade e o clima em uma escala global (FOLEY et al., 2011). Estima-se que a produção global de alimentos precisa ser incrementada em 70% até 2050, como consequência do aumento de 40% da população mundial (BRUINSMA, 2009; WU & MA, 2015). Combinando culturas agrícolas e pecuária na mesma área, o qual caracterizado por sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA) tem a capacidade de melhorar a sustentabilidade da atividade agropecuária (BONAUDO et al., 2013) no médio-longo prazo. Dessa forma, a FAO (2010) destaca que a utilização de SIPA como forma de desenvolvimento sustentável, torna principalmente produtores de pequena e média escala, atores na intensificação produtiva contribuindo para a maior segurança alimentar e nutricional bem como na melhoria da qualidade ambiental no planeta.

A intensificação na produção agrícola é gerida pela necessidade de atender à crescente demanda global por alimentos (STAVI et al., 2016). Os SIPA constituem-se em estratégia impar para a segurança alimentar em um futuro próximo, visto que dois terços da população rural global já utilizam sob esses sistemas (HERRERO, 2010). Como prática produtiva, os SIPA responsabilizam-se por cerca de 50% da produção total mundial de cereais e a maior parte do alimento consumido pelos pobres: 41% do milho, 86% do arroz, 66% do sorgo e 74% da produção de milheto. Há indicações de que 90% no incremento da produção global de alimentos estará vinculado a intensificação dos sistemas produtivos e os 10% sobressalentes resumem-se ao aumento na área produtiva, principalmente em regiões em desenvolvimento como África Subsaariana e América Latina (FAO, 2010).

A dinâmica de conciliar sistemas agrícolas com a produção animal resulta em uma maior complexidade do manejo. Porém o sinergismo criado pela interação entre os elementos envolvidos permite incrementar a resiliência e a sustentabilidade ao mesmo tempo que desempenham suas múltiplas funções ecossistêmicas (SANDERSON et al., 2013), atribuindo novas características ao solo (MORAES et al., 2014a), que incrementam a estabilidade produtiva das culturas graníferas (SCHIERE et al., 2002). O bom manejo da pastagem, representado por intensidades de pastejo moderadas, causa efeitos positivos sobre o sistema, aumentando a biodiversidade do solo, que condiciona à melhoria nos processos de ciclagem e mineralização de nutrientes (CARVALHO et al., 2010), bem como permite manter cobertura permanente ao solo

(FRANZLUEBBERS et al., 2011) sustentando a qualidade do solo a longo prazo (SULC & TRACY, 2007; LEMAIRE et al., 2014).

As oportunidades de uso dos SIPA no sul do Brasil estão durante o período de entressafra das culturas estivais de grãos, podendo transformar áreas ociosas sem cultivo de inverno em pastagens como alternativa à pecuária sulina. Estudos nesta região tem mostrado que diferentes intensidades de utilização das pastagens pelos animais durante o inverno, não reduzem a produtividade dos cultivos de soja, milho e feijão comum em sucessão no verão, se igualando a áreas não pastejadas (NICOLOSO et al., 2006; FLORES et al., 2007; LOPES et al., 2009; CARVALHO et al., 2010; MORAES et al., 2014a; KUNRATH et al., 2015).

1.2 HIPOTESE

A intensidade de pastejo em sistemas integrados de produção agropecuária influencia na produtividade da lavoura de soja.

1.3 OBJETIVO

O objetivo central desse estudo é entender como diferentes intensidades de pastejo definem a produtividade da lavoura de soja em sistema integrado soja – bovinos de corte.

1.4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.4.1 Sistemas integrados de produção agropecuária – do macro ao micro

A prática de integrar agricultura e pecuária é muito antiga como conceito tecnológico, evidenciando que a domesticação de plantas e animais tiveram início no período neolítico, quando nossos ancestrais se converteram de caçadores e coletores (prática dos povos nômades) a aldeões (CARVALHO et al., 2010). Atualmente, os SIPA estão entre as práticas mais importantes no uso da terra a nível global, recobrando uma área aproximada de 25 milhões de km², incluindo a maior parte das terras cultivadas e 30-40% das áreas com pastagens (BELL & MOORE, 2012).

Mudanças climáticas acrescidas da redução na disponibilidade global dos recursos naturais (áreas agricultáveis e reservas minerais), destinados a produção de alimento e ao aumento contínuo da população humana (concomitante a este, o incremento no consumo de alimentos), exercem pressão sem precedentes sobre os sistemas agrícolas. A busca por unidades produtivas que fazem uso de práticas agrícolas sustentáveis, com utilização moderada dos recursos naturais e promoção de melhorias ambientais, é grande atrativo para a expansão em um futuro próximo, habilitando a produção agropecuária integrada a esse novo conceito produtivo (FOLEY et al., 2011; WU & MA, 2015; STAVI et al., 2016).

Os sistemas integrados de produção agropecuária envolvem interações planejadas, permitindo a exploração de cultivos agrícolas e a

produção animal na mesma área de forma concomitante ou sequencial (sucessão) em escala espacial, bem como, em áreas distintas sendo implementado em escala espaço-temporal (rotação; MORAINÉ et al., 2014, 2016). Tais sistemas buscam explorar sinergismos entre os componentes, favorecendo o surgimento de novas funcionalidade ao sistema (propriedades emergentes), fruto de interações dos compartimentos solo-planta-animal-atmosfera (FAO, 2010; MORAES et al., 2014a; MARTIN et al., 2016). Porém, um conjunto de fatores dificultam a incorporação dessa ferramenta como prática produtiva, a nível tanto de território como de estabelecimentos agropecuários, em vista da inserção de grande complexidade de manejo e gerenciamento numa escala de sistema (PEYRAUD et al., 2014). Entretanto, tão importante quanto os anteriores, está o consenso entre produtores e técnicos de que os animais são os responsáveis pela formação de impedimentos físicos no solo (“lenda do casco”), embora diversos trabalhos já comprovam que, ao adotar o bom manejo, os efeitos são positivos ao sistema em uma escala mais ampla (ANGHINONI et al., 2013).

Animais em pastejo conduzidos em intensidade moderada, se credenciam como agentes aptos a sustentar a produtividade dos sistemas agropecuários a longo prazo, ao mesmo tempo que estimulam o desempenho de serviços ecossistêmicos, estratégicos para a preservação e melhoria dos recursos naturais, permitindo a manutenção das funções do solo, o que torna essa temática atrativa a pesquisas em um âmbito global (STAVI et al., 2016). A inserção do componente animal em ambientes pastoris com alternância à cultivos agrícolas, acrescido do correto manejo do sistema como um todo, geram uma gama de benefícios em função do sinergismo entre os atores, dentre eles: (i) a redução na necessidade de utilizar defensivos agrícolas, visando o controle de plantas daninhas, insetos ou doenças (SULC & TRACY, 2007; SCHUSTER et al., 2016); (ii) a manutenção de cobertura permanente sobre solo, com papel estratégico no controle das erosões hídrica e eólica (SANTOS et al., 2013) incluindo, a melhoria nas propriedades físicas do solo (densidade e porosidade) e a manutenção da umidade no solo (incremento na disponibilidade de água aos cultivos; CARVALHO et al., 2010; MARTINS et al., 2016a); (iii) a melhoria na qualidade química dos solos proporcionado pelo acúmulo de carbono (C) e nitrogênio (N) orgânico e, pela rapidez nos processos de ciclagem e na taxa de mineralização dos nutrientes (FRANZLUEBBERS et a., 2000; ASSMANN et al., 2014;) bem como, chave na eficiência de utilização dos nutrientes, reduzindo as perdas no sistema (WILKINS, 2008); (iv) o estímulo à formação de vida selvagem e a proteção da biodiversidade (SULC & FRANZLUEBBERS, 2014) permitindo que, agentes de controle biológico desempenhem serviços de regulação ecossistêmicas (ALTIERI, 1999); (v) o controle e a mitigação de gases de efeito estufa (BULLER et al., 2015); (vi) o incremento na produtividade dos cultivos agrícolas (MORAES et al., 2014a); (vii) a melhoria nos processos produtivo, criando estabilidade e reduzindo riscos (MORAES et al., 2014b).

Schiere et al. (2002) descrevem quatro modos de sistemas agrícolas que englobam lavoura e pecuária ou que os integram: (i) *Agricultura expansiva*, ocorre em locais com abundância de terras disponíveis, tão logo, a escassez de terras ou a fertilidade do solo é substituída pela migração ou expansão para outras regiões (e.g. engloba de pecuária nômade a agricultura itinerante); (ii)

Agricultura com baixo uso de insumos externos, onde a escassez de terras não pode ser superada pela migração (e.g. alimentação estabulada baseada em resíduos de culturas, coleta de fezes durante o pastejo); (iii) *Agricultura com alto uso de insumos externos*, com elevado fluxo de insumos, semelhante ao período da Revolução Verde onde, a demanda externa de alimentos determinava o uso de insumos, gerando grandes distúrbios ao meio ambiente (e.g. fazendas de produção animal especializadas (leite, carne), pastagens fertilizadas em terras aráveis, plantações industriais (variedades de alta produtividade) e produção em estufas); (iv) *Nova agricultura conservacionista*, modo produtivo intermediário aos dois anteriores, buscando metas produtivas o mais próximo possível dos recursos básicos do ambiente (e.g., fazenda especializadas, ecológicas e com cultivos múltiplos além de produção animal com pastagens baseada em leguminosas).

Na década passada, a grande disponibilidade de fertilizantes e defensivos agrícolas a preços relativamente baixos somado à valorização dos produtos agropecuários frente ao mercado, alavancou a produtividade dos sistemas agrícolas, tornando-os especializados (WILKINS, 2008). Como consequência dessa intensificação, os sistemas produtivos que adotavam sistemas integrados de produção agropecuária diminuíram fortemente em muitos países ou regiões, separando os componentes agrícolas e pecuários (SULC & TRACY, 2007; LEMAIRE et al., 2014; PEYRAUD et al., 2014). A implantação de medidas imediatistas, alavancadas pelas crenças da agricultura de insumos (alto aporte de fertilizantes e uso intensivo de defensivos químicos), buscando contornar os desafios produtivos, aceleraram o processo de degradação do ambiente. Hoje, somos guiados a buscar iniciativas produtivas, que prezem pela segurança alimentar e a sustentabilidade do ambiente, com estratégias que reduzam a pegada ambiental da agricultura (“footprint”), visando diminuir os impactos negativos dos sistemas agrícolas (FOLEY et al., 2011; LEMAIRE et al., 2014; WU & MA, 2015).

A Revolução Verde foi um marco produtivo da agricultura em vista do grandioso incremento na produção agrícola, atrelado ao fato da inserção tecnológica dentro das propriedades, acarretando em impactos negativos como, a alta dependência por externalidades (TILMAN et al., 2002; FRANZLUEBBERS et al., 2011). Sucedendo a II Guerra Mundial, a nova política agrícola capitalista, estimulou a redução do número de unidades produtivas onde, em contrapartida foi determinante ao aumento na extensão territorial dessas, fortalecendo a matriz produtiva para no máximo duas commodities, regidas pela demanda do mercado (SULC & TRACY, 2007; HENDRICKSON et al., 2008).

Os SIPA estão em declínio na Europa (RYSCHAWY et al., 2012). A especialização de territórios e a intensificação de sistemas produtivos tem sido determinante para as mudanças no uso da terra (WILKINS, 2008; REGAN et al., 2015). Após décadas de transformações nos sistemas agrícolas, a especialização produtiva a nível de fazenda e/ou território, pode ser um empecilho para a reintrodução de animais nesses ambientes, dificultado por razões políticas, organizacionais, sociais e econômicas (PEYRAUD et al., 2014). Na Austrália ocorre o mesmo fenômeno. Nos últimos 20 anos, a proporção de terras destinada aos cultivos agrícolas apresenta incremento, ocupando áreas utilizadas para produção animal (BELL & MOORE, 2012). Os fatores decisivos

para a redução dos sistemas produtivos integrados (formandos basicamente por ovelhas e trigo), são definidos por particularidades como: o aumento no preço do grão e o declínio no preço da lã; as condições climáticas favoráveis a culturas agrícolas; o desenvolvimento de novas variedades de culturas graníferas e estratégias de manejo; e a expansão das áreas agrícolas na zona chuvosa no sul da Austrália (NIE et al., 2016).

A metade do século passado foi um divisor para na transformação da agricultura americana (SULC & FRANZLUEBBERS, 2014). No Meio-Oeste, vinculado ao fato da especialização dos sistemas produtivos, a agricultura e a pecuária tornaram-se operacionalmente e funcionalmente separadas. Os sistemas que desenvolveram a pecuária como principal atividade, deslocaram-se para região Oeste do país. Desde 1945, no Meio-Oeste americano, onde está localizado o Cinturão do Milho (“U.S. Corn Belt”), o número de bovinos reduziu 45% enquanto os sistemas agrícolas baseado em milho e soja elevaram-se, ocupando 85% da área cultivada. As culturas de grãos são produzidas extensivamente em rotações simples ou em curto espaço de tempo, envolvendo poucas espécies de cereais e leguminosas (SULC & TRACY, 2007). Nos Pampas da Argentina, a integração de sistemas com agricultura e pecuária são ocasionais, onde a proporção de uso da terra para com essas atividades é bastante distinta (PEYRAUD et al., 2014). Nos últimos 20 anos, ocorreu uma rápida expansão e intensificação da atividade agrícola, com incremento de 45% na área cultivada (GAVIER-PIZARRO et al., 2012). Calcula-se que 8 milhões de hectares de pastagens naturais foram convertidos em cultivos agrícolas, prevalecendo a soja como a principal cultura comercial, o que se repete nas demais regiões produtivas em clima temperado da América do Sul (PEYRAUD et al., 2014).

O Brasil tem emergido como grande produtor agrícola no cenário mundial (SILVA et al., 2017). No país, os SIPA são usualmente denominados como integração lavoura-pecuária (ILP), correspondendo a associação produção animal (e.g., bovinocultura de corte ou leite, ovinocultura, caprinocultura) com cultivos agrícolas (e.g., a soja, o milho, o arroz, dentre outros), geralmente a nível de fazenda, com interações planejadas em escala espaço-temporal (ANGHINONI et al., 2013). Sistemas integrados de produção agropecuária tem sido adotado em diversas regiões do país, com características intrínsecas a cada local (SALTON et al., 2014). Este fato tem motivado uma gama de pesquisadores a desenvolver ciência nesses ambientes, buscando estudar os impactos dos sistemas integrados com enfoques: produtivo - sucessão/rotação de culturas e recuperação de áreas degradadas; ambiental - mitigação de gases de efeito estufa (CARVALHO et al., 2014; BULLER et al., 2015), serviços ecossistêmicos (ASSMANN et al., 2014; SALTON et al., 2014); e econômico - diversificação produtiva (DE OLIVEIRA et al., 2013; NUNES et al., 2014).

Na temática de sistemas integrados, podemos destacar alguns trabalhos por região, tais como: Buller et al. (2015), Carvalho et al. (2014), Gil et al. (2016), Latawiec et al. (2014), Maia et al. (2013), Pocard-chapuis et al. (2014), Salton et al. (2014), Silva et al. (2017) demonstram resultados de trabalhos científicos direcionados à região Centro-Norte do país, englobando os biomas Amazônia, Cerrado e Pantanal, estratégicos na produção agropecuária nacional; Andrieu & Nogueira (2010), Nunes et al. (2014) são resultados de

trabalhos científicos desenvolvidos na região semiárida brasileira, predominada pela Caatinga; Anghinoni et al. (2013), Assmann et al., 2014; Balbinot Junior et al. (2009), Borghi et al. (2013), Carvalho et al. (2010), Cassol (2003), Conte et al. (2011), Flores et al. (2007), Franchini et al. (2014), Kunrath et al. (2014, 2015), Martins et al. (2014a, 2014b, 2016), Moraes et al. (2014a, 2014b), Nicoloso et al. (2006), Pariz et al. (2017) ilustram resultados de pesquisa em sistemas integrados no bioma Mata-Atlântica, englobando grande parte das regiões Sul e Sudeste.

O país detém cerca de 117 milhões de hectares com pastagens cultivadas sendo, a gramínea do gênero *Brachiaria* spp., responsável por 70% do recobrimento total (LEMAIRE et al., 2014). Há aproximadamente 80 milhões de hectare com pastagens em algum nível de degradação (BORGHI et al., 2013), como consequência, da adoção de práticas agropecuárias imediatistas (extensivas e extrativistas) e do baixo comprometimento com a sustentabilidade dos sistemas produtivos, por parte dos agricultores (ANGHINONI et al., 2013). Essa peculiaridade, sustenta a implantação de sistemas integrados como iniciativa de incorporar lavouras sobre áreas suscetíveis, oportunizando a melhoria na qualidade e elevando o potencial produtivo dos sistemas pastoris subsequentemente formados, decorrente do incremento na fertilidade do solo promovida pela inserção da lavoura (CASSOL, 2003).

No subtropico brasileiro, a pesquisa em ambientes integrados é centrada sobre duas conjunturas bastante distintas: (i) sob a óptica agrícola, o animal é inserido como forma de diversificação nas propriedades, alimentando-se dos restos culturais (e.g., rebrote da cultura do arroz) ou implantado em pastagens anuais (e.g., pastagens hibernais consorciadas com aveia e azevém), alternadas em sucessão ou rotação com o cultivo de grãos, mantendo cobertura permanente ao solo; (ii) no contexto da produção animal, a introdução do componente agrícola (em sua maioria por lavouras anuais de verão como milho, soja e feijão) busca a reforma de pastagens com algum nível de degradação (melhoria principalmente nos atributos químico e físico do solo) além do, rápido retorno econômico e diversificação de renda proporcionado pela comercialização dos cereais (MORAES et al., 2002; ANGHINONI et al., 2013).

Em levantamento realizado pela Rede de Fomento ILPF (2016) para a safra 2015/16, estimou-se que no estado gaúcho aproximadamente 20% da área agrícola (1,5 milhões de hectares) adotam os SIPA inseridos junto a matriz produtiva. No entanto, estes vêm sendo praticados por décadas no Rio Grande do Sul, classicamente pela alternância de lavouras de arroz irrigado com pastagens em ambientes de terras baixas ou, sob características de sucessão/rotação entre lavouras de milho e soja com pastagens hibernais no planalto compostas basicamente por aveia preta e/ou azevém anual, destinadas a recria e terminação de animais (MORAES et al., 2002).

1.4.2 O animal impondo heterogeneidade e o seu reflexo nos sistemas produtivos

O arranjo espacial de plantas, nutrientes e animais, geralmente forma padrões na natureza onde os processos ecológicos estão estreitamente relacionados com as diferenças espaciais da distribuição desses elementos, os quais são dependentes de fatores bióticos e abióticos (LIN et al., 2010). A

heterogeneidade espacial induzida pelos animais em pastejo pode ser um componente crucial para o manejo sustentável dos ecossistemas (SALTON & CARVALHO, 2007; NUNES, 2016). Quando em pastejo, os animais não consomem uniformemente a forragem ao longo do ambiente, de mesmo modo que a distribuição do esterco e da urina não ocorre de forma homogênea, o que os torna principais atores na construção de ambientes heterogêneos (FRANZLUEBBERS et al., 2000).

A herbivoria promove a formação de manchas ou “patches” que podem ser distinguidas posicionalmente, estruturalmente e funcionalmente dentro da paisagem, diferindo da circunvizinhança pelo seu padrão (e.g., altura, densidade ou coloração; CADENASSO et al., 2003; SALTON & CARVALHO, 2007). A heterogeneidade em ambientes pastoris, que se vislumbra através de plantas com diferentes características (manchas), é reflexo da: (i) formação de dosséis não homogêneos decorrentes do processo de rejeição e/ou pastejo de plantas pelos animais, que são caracterizados pela intensidade de pastejo, topografia da área, disponibilidade ou qualidade de forragem e presença de excreções; (ii) alteração nos atributos físicos do solo, como fruto do pisoteio dos animais (determinada pela taxa de lotação animal), cobertura parcial do solo (pastagem ou resíduo vegetal), teor de umidade e textura do solo e do tempo de pastejo; (iii) existência de locais com maior fertilidade, resultado da deposição de esterco e/ou urina bem como, acúmulo de material senescente, estimulando a atividade biológica do solo (SALTON & CARVALHO, 2007).

A presença do animal *per se* altera os padrões de distribuição dos nutrientes no solo, em consequência da deposição concentrada nas excreções. Os animais coletam o alimento em uma vasta área, o digerem parcialmente, utilizam pequena proporção dos nutrientes e excretam o restante, agrupando os nutrientes *in situ* e formando manchas com melhor fertilidade, determinando os processos que ocorrem no solo (e.g., aumento da atividade biológica e a na taxa de reciclagem de nutrientes; WHITEHEAD, 2000; SALTON & CARVALHO, 2007). Esta distribuição espacial do esterco e da urina, a longo prazo, alteram as condições locais do solo, tendo efeito positivo sobre a biomassa microbiana (o acúmulo de nutrientes eleva a respiração basal dos microrganismos no solo, acelerando o processo de mineralização de nutrientes), a ciclagem de nutriente (retornando através das excreções dos animais) e a densidade do solo (FRANZLUEBBERS et al., 2000).

Em trabalho realizado no sul do Brasil, Nunes (2016) estudou a criação da heterogeneidade pelos animais, avaliando a influência de diferentes intensidades de pastejo na distribuição espacial das alturas de pastos mistos de aveia-preta e azevém anual. Esse autor verificou que a heterogeneidade espacial da vegetação aumenta com a diminuição da intensidade de pastejo. Neste estudo, o pastejo intenso proporcionou a criação de um dossel excessivamente pastejado, homogêneo e com inúmeros pontos de solo descoberto, enquanto a intensidade moderada a leve favoreceram a criação de dosséis heterogêneos e com maior participação de alturas que maximizam a ingestão de matéria seca pelos animais, conforme as alturas estabelecidas por Silva (2013) e Mezzalira et al. (2014) para maximização do bocado.

Silva et.al. (2014) em trabalho realizado no mesmo protocolo experimental que Nunes (2016), objetivou o entendimento das interações entre

a presença ou ausência de dejetos, sobre a cultura da soja em sucessão, tendo mapeado o acúmulo de fezes durante um ciclo de pastejo no inverno (125 dias de pastejo). Os autores mostraram que, as concentrações de fósforo (P) e potássio (K), nutrientes com maior demanda em quantidade pela cultura da soja, foram maiores na presença de esterco, tanto no solo quanto em plantas de soja, ao final do período de florescimento. A presença de esterco impulsionou a produtividade, havendo um incremento de 23% no rendimento de grãos (3,94 Mg ha⁻¹ e 3,23 Mg ha⁻¹) respectivamente, para pontos com e sem a presença de esterco) e 20% no principal componente do rendimento - número de legumes por planta (42,7 e 35,6 legumes respectivamente), evidenciando que as transformações proporcionadas pelo animal, são determinantes para o incremento na produtividade do sistema (SILVA et al., 2014). Porém, os autores confirmaram que dez anos após o início do protocolo experimental, não houveram diferenças entre as intensidades de pastejo quanto a produtividade da soja, sendo corroborados por outros trabalhos com a mesma tendência.

1.4.3 A integração atuando como promotora da estabilidade produtiva

A presença de animais em pastejo dentro de um sistema integrado, o diferencia de outros sistemas produtivos visto que o animal atua como um acelerador nos processos (mineralização e ciclagem de nutrientes), beneficiando as culturas subsequentes (WHITEHEAD, 2000; DORAN, 2002). Integrando lavoura com pecuária, resulta melhorias nos ciclos biogeoquímicos e fluxos ambientais que ocorrem no solo, em escala espaço-temporal (DUMONT et al., 2013). Ao maximizar as interações sinérgicas entre os componentes, além de reduzir e/ou otimizar o uso de insumos externos, possibilita elevar a flexibilidade em períodos de crise e reduzir riscos potenciais, incrementando estabilidade econômica, sendo estratégicos a sustentabilidade dos sistemas produtivo a longo prazo (FRANZLUEBBERS et al., 2011; LEMAIRE et al., 2014).

A presença de animais em SIPA, permite a estes desempenhar três funções chaves (Figura 1), atuando simultaneamente na manutenção da integridade funcional e a sustentabilidade do meio ambiente (THOMPSON & NARDONE, 1999). O pastejo permite manejar as funções metabólicas (i) e imunológicas (ii) buscando melhorar o desempenho da função produtiva (iii), com o mínimo de recursos externos (MORAINE et al., 2014). A função metabólica é responsável pelo fluxo de energia no ecossistema, onde as interações bióticas e abióticas aceleram a degradação dos resíduos vegetal e animal, mineralizando nutrientes no sistema (BONAUDO et al., 2013). A função imunológica mantém o bem-estar do sistema, tornando-o mais resistente a perturbações do meio externo, regulando populações e nutrindo o bom funcionamento no controle natural de pragas e doenças (BONAUDO et al., 2013). A função produção é caracterizado pela quantidade de produção primária (e.g., grãos, carne e leite) e secundária (e.g., excremento animal e restos culturais), como consequência do somatório das funções anteriores (BONAUDO et al., 2013). Em posse dessas informações, salientamos que a diversificação dos componentes no sistema, com o intuito de aumentar a interação entre eles, torna-se imprescindível a manutenção da funcionalidade do sistema a longo prazo (TILMAN et al., 2001; PRETTY, 2008; LEMAIRE et al., 2014).

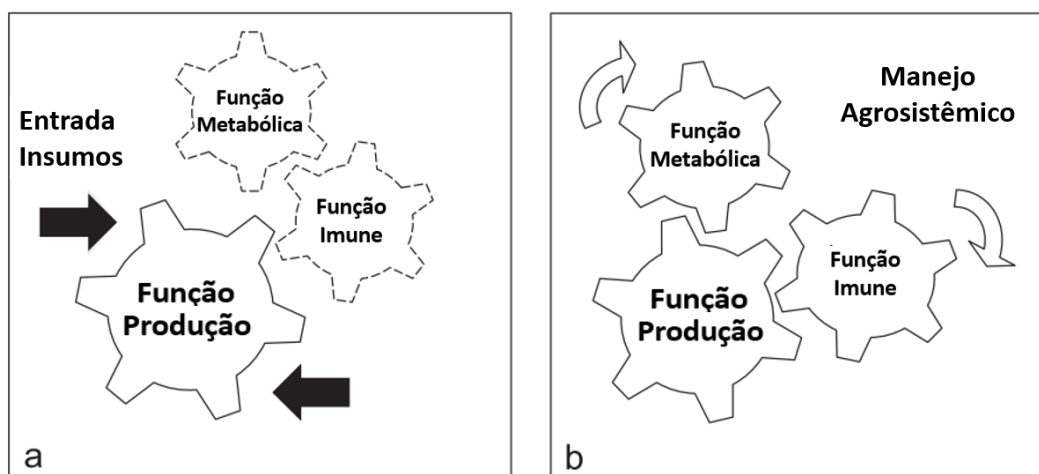


Figura 1. Funções metabólica, imunológica e produtiva de (a) um agroecossistema convencional com a função produtiva baseada em insumos externos (fertilizantes e defensivos químicos) ao qual as funções imunológica e metabólica não suportam o funcionamento do sistema; (b) agroecossistema sustentável com efeito benéfico das funções, formando um sistema mais estável e resiliente (BONAUDO et al., 2013).

Quando tratamos de sistemas agrícolas sustentáveis, devemos adotar conceitos de resiliência (capacidade de o sistema amortecer choques e/ou estresses) e persistência (capacidade do sistema se sustentar por longos períodos) para melhor os entender (PRETTY, 2008). De uma maneira geral, sistemas pastoris intercalados com lavouras, desempenham papel estratégico na redução do "footprint" produtivo das culturas graníferas em sucessão ou rotação, somado à manutenção do potencial produtivo da lavoura (estabilidade dos sistemas agrícolas), na escala temporal (SCHIERE et al., 2002; STAVI et al., 2016). Como efeitos positivos, a inserção do componente animal, em alternância a cultura de grãos, destacam-se: (i) a melhoria na utilização dos nutrientes, sob a óptica de um sistema (ASSMANN et al., 2003; WILKINS, 2008), oportunizado pela constante reciclagem de nutrientes em profundidade pelas plantas e alocação na superfície, imobilizado de maneira temporária no resíduo (MORAINE et al., 2016; PARIZ et al., 2017); (ii) liberação gradativa de nutrientes à lavoura, durante o ciclo produtivo, pelo processo de mineralização de nutrientes contidos no residual da pastagem (ASSMANN et al., 2014) e na excreta dos animais (WHITEHEAD, 2000); (iii) o incremento na qualidade do solo pelo acúmulo de matéria orgânica, minimizando os efeitos da acidez potencial sobre a cultura da grãos (MARTINS et al., 2014b); (iv) a melhoria na capacidade de retenção e disponibilidade de água à lavoura (SARTOR et al., 2012); e (v) o controle cultural de plantas daninhas, insetos e doenças (WILKINS, 2008; NIE et al., 2016; SCHUSTER et al., 2016).

Implementando sistemas pastoris bem manejados, por consequência, teremos incremento no ganho de peso vivo por unidade, elevando a produtividade do componente animal (LATAWIEC et al., 2014). Conforme exposto anteriormente, é conhecido que o pastejo não tem efeito negativo sobre a produtividade dos cultivos agrícolas em sucessão/rotação quando comparado a áreas não-pastejadas (CICEK et al., 2014). No Sul do Brasil, um compilado de

vinte e três trabalhos conduzidos em sistemas integrados, com dados derivados dos cultivos de milho, trigo, feijão e soja, seguiram essa tendência, justificando o uso do componente animal a nível de propriedade, como forma de diversificação produtiva (MORAES et al., 2014a). Portanto, os SIPA, por serem versáteis, estão atrelados ao desempenho positivo na geração de renda a propriedade rural (incremento na margem líquida do sistema produtivo), além de estar menos suscetível às flutuações do mercado quanto a aquisição de insumos externo (SUJATHA & BHAT, 2015) como, na comercialização dos produtos agrícolas e pecuários (e.g., grãos, carne, leite, lã) (BELL & MOORE, 2012).

1.4.4 A soja em sistemas integrados.

A soja, pertencente à família Leguminosae (Faboideae), tem como centro de origem à Ásia (COSTA & MANICA, 1996). Acredita-se que o primórdio dos cultivos seja na China, consolidado pelos seguintes fatos: (i) os ancestrais selvagens às cultivares de soja modernas são originários daquele país; (ii) ao conservar os primeiros registros históricos sobre a cultura (a primeiro catalogação escrita da planta de soja, data de 2838 AC, contido no livro “Pen Ts’ao Kong Um”, descrevendo as plantas da China ao Imperador Sheng-Nung); (iii) durante escavações em locais históricos, sementes de soja carbonizadas foram encontradas em artefatos desenterrados com idade estimada de 2600 anos (PROBST & JUDD, 1973; QIU & CHANG, 2010).

Na primeira metade do século XX, a China triunfava como maior produtor e exportador da cultura, porém, a partir da década de 50, a América tornou-se o maior produtor dessa oleaginosa tendo os Estados Unidos, o Brasil e a Argentina respectivamente, como os três maiores produtores do grão (QIU & CHANG, 2010). No Brasil, a soja foi introduzida pela Bahia em 1882, mas começou a ser cultivada em escala comercial por agricultores em 1924, na região noroeste do Rio Grande do Sul próximo a Santa Rosa, fazendo do estado pioneiro na produção da cultura (COSTA & MANICA, 1996; BONATO & BONATO, 2002). O aumento na produtividade do país (superior a 50% na última década) e a expansão na área cultivada, são decorrentes da adaptação de cultivares às condições climáticas brasileiras (alterações tanto no fotoperíodo e quanto na soma térmica para cada local de cultivo) bem como, na melhoria das condições químicas dos solos brasileiros, o que permitiu a expansão para novas fronteiras agrícolas (BONATO & BONATO, 2002; MUNDSTOCK & THOMAS, 2005).

Conforme levantamento da CONAB (2016), a área agrícola brasileira para o último exercício corresponde a 58,7 milhões de hectares, sendo a soja cultivada em mais da metade do total (aproximadamente 32 milhões de hectares). A produção estimada é de 99 milhões de toneladas de grãos, estratégico o que gera excedentes destinados a comercialização no mercado externo. No período de 2014 até abril de 2016, o Brasil exportou 157,7 milhões de toneladas de grãos, gerando uma liquidez de US\$ 68,5 bilhões de dólares americanos, tendo a China como maior importador de grãos (CONAB, 2016).

A Região Sul detém cerca de 35% na produção nacional, tendo os estados do Paraná e Rio Grande do Sul, respectivamente, como o segundo e terceiro com maior produção de grãos (CONAB, 2016). No último levantamento agrícola para a região, área territorial total utilizada com culturas hibernais e

estivais, somou cerca de 19 milhões de hectares. A quase totalidade dos cultivos de verão é composta pelo milho, a soja e o arroz, com área equivalente a 16,7 milhões de hectares (CONAB, 2016). A aveia branca, canola, centeio, trigo e triticale, cultivos de inverno, são responsáveis pela parte restante da área agrícola (MORAES et al., 2014a; CONAB, 2016). No estado do Rio Grande do Sul, as áreas cultivadas com cereais ou leguminosas de inverno e verão, para a safra 2016/17, são respectivamente 1058 e 7354 hectares. Dentre essas, o trigo recobrando 765 mil hectares (83% da área cultivada no inverno) e a soja 5,5 milhões de hectares (69% da área cultivada no verão), emergindo como principais culturas dentro de cada período (CONAB, 2016).

A área cultivada com culturas agrícolas no estado durante o inverno equivale a 1/7 das áreas com culturas de estação estival, restando 6,3 milhões de hectares que permanecem em pousio ou com culturas de coberturas (CONAB, 2016). Embora, haja paradigmas que barram a adoção de sistemas integrados no Estado, não há justificativas num contexto socioeconômico para permanência dessas áreas em pousio por um longo período do ano, portanto a introdução do animal além de opção para a diversificação produtiva (incremento de renda aos estabelecimentos agrícolas), possibilita o incremento de uma gama de benefícios aos sistemas produtivos (MORAES et al., 2014a).

O potencial produtivo de uma lavoura agrícola é expresso pela interação entre genótipo e ambiente (THOMAS & COSTA, 2010). O rendimento da soja é definido por componentes primários - rendimento de grãos = plantas/m² x legumes/planta x grãos/legumes x peso do grão (MUNDSTOCK & THOMAS, 2005), bem como componentes secundários que englobam características fisiológicas, morfológicas e anatômicas (e.g., número de ramos, número de nós) que causam efeito sobre os componentes primários (PIRES et al., 2005; THOMAS & COSTA, 2010).

O número de plantas representa o componente com maior possibilidade de controle humano, unicamente determinado pelas características da sementeira. O número de legumes por planta, trata-se do componente mais representativo para a construção de grandes rendimentos, atribuindo extensa plasticidade fenotípica às plantas de soja, com total dependência do número de flores fixadas no início do período reprodutivo. O número de grãos por legume apresenta baixa variação a nível de lavoura por ser uma característica genética, com a possibilidade de legumes com 1, 2, 3 ou raramente 4 grãos, dependendo da variedade escolhida. O peso de grãos é intrínseco a cada cultivar estando sujeito a variações ambientais e no manejo adotado (MUNDSTOCK & THOMAS, 2005; THOMAS & COSTA, 2010).

Na Figura 2, é proposto o modelo conceitual onde mostra a complexidade que engloba um SIPA, bem como a percepção de que a definição do processo produtivo na lavoura é dependente da fase pastagem. A intensidade de pastejo exerce papel central ao bom funcionamento do sistema produtivo integrado. Esta, expressa pela carga animal (quilogramas de peso vivo por área) define a altura de manejo da pastagem, afetando o consumo de forragem, tendo efeito direto na produtividade animal (CARVALHO et al., 2010; KUNRATH et al., 2014).

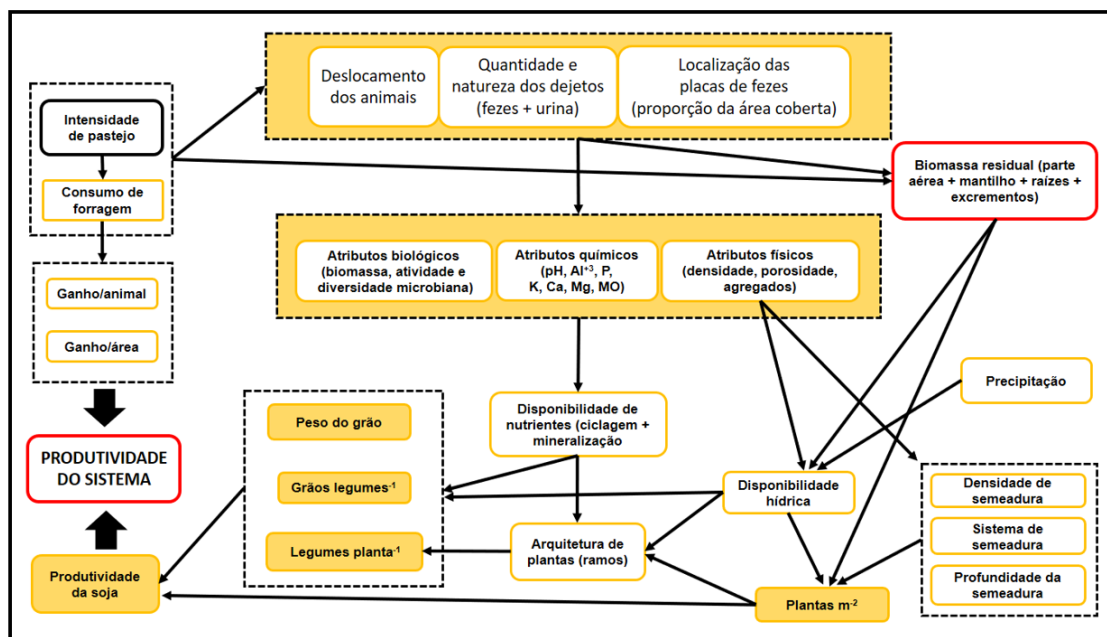


Figura 2. Modelo conceitual das variáveis envolvidas na construção do potencial produtivo em sistemas integrados de produção agropecuária sob semeadura direta (Adaptado de Cassol, 2003 e Kunrath, 2011).

O acúmulo de biomassa residual, desempenha função estratégica na imobilização temporária de nutrientes (SILVA et al., 2014), no aporte de matéria orgânica ao solo (ASSMANN et al., 2014b), na proteção do solo contra o processo erosivo (BARSOTTI et al., 2013), bem como na inibição da emergência de plântulas de espécies indesejáveis (SCHUSTER et al., 2016). Diferentes intensidades de pastejo afetam o hábito de deslocamento espaço-temporal dos animais para a captura de alimento, determinando a frequência, o volume e a área de recobrimento dos dejetos (SALTON & CARVALHO, 2007). A intensidade de pastejo decorrente da pressão exercida pelo “casco”, resulta em impactos sobre a compactação superficial do solo gerando efeitos nos atributos físicos do solo, com a elevação da densidade e a resistência a penetração no solo além de, reduções da porosidade e da taxa de infiltração do solo (LATAWIEC et al., 2014). A formação de zonas de consumo diferenciado pelos animais (NUNES, 2016) e a distribuição aleatorizada das excreções (FRANZLUEBBERS et al., 2000; SILVA et al., 2014) evidenciam o surgimento de heterogeneidade nas áreas pastejadas. A presença de esterco incrementa a atividade microbiana (MORAES et al., 2014a) acelerando os processos de ciclagem (CARVALHO et al., 2010) e mineralização dos nutrientes (FRANZLUEBBERS et al., 2000), fruto da baixa relação C:N das excreções (esterco 20:1 e urina 3,9:1; WHITEHEAD, 2000). O resíduo do pasto tem função chave na construção do rendimento da lavoura, atuando diretamente na emergência das plantas de soja (SANTOS et al., 2013), na disponibilidade de água para as culturas e (STAVI et al., 2016) e na liberação gradativa de nutrientes (ASSMANN, 2013). A presença de animais em pastoreio em sistema integrado afeta positivamente os componentes do rendimento tendo efeito direto na produtividade da soja (SILVA et al., 2014).

CAPÍTULO II
**Impacto da intensidade de pastejo na produtividade da soja em integração com
bovinos de corte¹**

¹Artigo elaborado conforme as normas da revista Agricultural Systems.

Impacto da intensidade de pastejo na produtividade da soja em integração com bovinos de corte

Resumo

A intensidade de pastejo é central na construção da produtividade da soja em sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA). Neste estudo, objetivou-se entender como diferentes intensidades de pastejo definem a produtividade da lavoura de soja em sistema integrado soja – bovinos de corte. O trabalho está inserido em um protocolo experimental de longa duração iniciado em 2001, região fisiográfica do Planalto Médio no Rio Grande do Sul, Brasil. Os tratamentos foram definidos durante a fase pastagem, arranjados em um delineamento de blocos completamente casualizados com três repetições e consistiram de diferentes intensidades de pastejo por bovinos em pasto misto de azevém anual (*Lolium multiflorum* Lam.) e aveia-preta (*Avena strigosa* Schreb.): pastejo intenso (P10), pastejo moderado (P20), pastejo moderado-leve (P30), pastejo leve (P40) e ausência de pastejo (SP). A soja foi semeada após a saída dos animais e os dados foram coletados durante a safra 2015/16. A inserção do animal não afetou ($P=0,0570$) a produtividade da soja entre as intensidades de pastejo. Análises de *cluster* e discriminante foram utilizadas para estudar a variação na produtividade. O *cluster* hierárquico agrupou valores de rendimento da soja em três grupos produtivos (alto (CA), intermediário (CI) e baixo (CB)) baseado em suas similaridades. Os atributos químicos não foram limitantes da produtividade e o residual da pastagem exerceu papel central na construção desta ($P<0,001$). O *cluster* baixo apresentou população de plantas superior

($P < 0,001$). A plasticidade fenotípica atuou de maneira compensatória, de forma direta na arquitetura das plantas, para os *cluster* CA e CI, formando mais ($P = 0,0034$) ramos. O número maior ($P < 0,001$) de nós das ramificações favoreceu a maior ($P < 0,001$) formação de nós na planta, elevando o número de racemos produtivos. A altura final superior ($P < 0,001$) somada as estruturas laterais permitiram o maior ($P = 0,0012$) acúmulo de biomassa seca na parte aérea, tendo efeito direto na formação do maior ($P < 0,001$) número de legumes por planta e legumes por área para o *cluster* CA. A semelhança no acúmulo de reservas na parte aérea permitiu aos *clusters* CA e CI obter elevado ($P < 0,001$) número de grãos por legume. A superioridade no número de legumes por área para o CA, permite maior ($P < 0,001$) produção de grãos área, com efeito direto na produtividade ($P < 0,001$). Os parâmetros selecionados pela função “*stepwise*” na análise discriminante mostraram-se eficiente, onde cinco variáveis explicam 66% da variação produtiva dentro dos *clusters*.

Palavras-chave: intensidade de pastejo, produtividade da soja, componentes de rendimento, plasticidade fenotípica análises de cluster e discriminante.

2.1 Introdução

Sistemas que combinam produção vegetal e animal datam de 8 – 10 milênios (RUSSELLE et al., 2007). Atualmente, os sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA) estão entre os elementos mais importantes no uso da terra a nível global, recobrando área próxima a 25 milhões de km², incluindo maior parte das terras cultivadas e 30-40% das áreas com pastagens (BELL & MOORE, 2012).

Cerca de um bilhão de pessoas sofrem com desnutrição crônica ao mesmo tempo que os sistemas agrícolas estão em simultânea degradação da terra, da água, da biodiversidade e do clima em escala global (FOLEY et al., 2011). Estima-se que a produção global de alimento precisa ser incrementada 70% até 2050, como consequência do aumento em 40% na população mundial (BRUINSMA, 2009; WU & MA, 2015). Conforme indicações, 90% no incremento da produção global de alimentos, estará vinculado a intensificação dos sistemas produtivos sendo, os 10% sobressalentes resumidos ao aumento da área produtiva, principalmente nas regiões em desenvolvimento como África Subsaariana e América Latina (FAO, 2010). Esta instituição destaca que a utilização de SIPA como forma de desenvolvimento sustentável, torna produtores de pequena e média escala os principais atores na intensificação produtiva, contribuindo para o aumento na segurança alimentar e nutricional bem como na melhoria da qualidade ambiental no planeta. Dois terços da população rural global já vivem sobre esses sistemas, sendo responsável por 50% da produção mundial de cereais e a maioria dos alimentos básicos consumidos pelos pobres (HERRERO, 2010).

A presença do animal, per se, torna o ambiente extremamente dinâmico. A intensidade de utilização das plantas forrageiras ao longo de um ciclo de pastejo é determinante na construção do ambiente pastoril, formando estrutura heterogênea no dossel (NUNES, 2016). O animal modifica padrões de distribuição dos nutrientes no solo, resultando na deposição concentrada das excreções, formando zonas com fertilidade melhorada (SALTON & WHITEHEAD, 2000; CARVALHO, 2007). A distribuição espacial de esterco e urina alteram positivamente as condições locais do solo (FRANZLUEBBERS et al., 2000). Excreções são promotoras de incremento local na concentração de nutrientes (fósforo e potássio), tanto no solo como na planta, além de impulsionar a produtividade através de incremento nos componentes de rendimento da soja (SILVA et al., 2014). De uma maneira geral, os sistemas integrados desempenham papel estratégico na redução do "footprint" agrícola, em sucessão ou em rotação, somado a manutenção e incremento do potencial produtivo na lavoura (resiliência e estabilidade dos sistemas agrícolas) em escala temporal (MORAES et al., 2014; SCHIERE et al., 2002; STAVI et al., 2016). Como efeito positivo da inserção do componente animal temos: a melhoria na utilização dos nutrientes sob a óptica de sistema (ASSMANN et al., 2003; WILKINS, 2008), oportunizado pela constante reciclagem de nutrientes, em profundidade, pelas plantas e imobilização de maneira temporária sob a superfície do solo na forma de resíduo (MORAINE et al., 2016; PARIZ et al., 2017); e liberação mais rápida de nutrientes à lavoura durante o ciclo produtivo, pela mineralização dos resíduos da pastagem (ASSMANN et al., 2017) e na excreta dos animais (WHITEHEAD, 2000). Além disso, há incremento na

qualidade do solo pelo acúmulo de compostos orgânicos, minimizando os efeitos da acidez potencial sobre a cultura granífera (ASSMANN et al., 2014; FRANCHINI et al., 2014); melhoria na capacidade de retenção e disponibilidade de água aos cultivos (SARTOR et al., 2012); controle cultural de plantas indesejáveis, insetos e doenças (WILKINS, 2008; NIE et al., 2016; SCHUSTER et al., 2016).

A área agrícola brasileira corresponde aproximadamente a 58,7 milhões de hectares, sendo a soja cultivada em mais da metade desse total, próximo a 32 milhões de hectares (CONAB, 2016). No Rio Grande do Sul a soja é bastante expressiva, ocupando cerca de 70% dos 7,35 milhões de hectares cultivadas no verão. Deste total, apenas o equivalente a 1/7 é cultivado com cereais de inverno e o restante (cerca de 6,3 milhões de hectares) permanece em pousio ou com plantas de cobertura ao longo do inverno (CONAB, 2016). Embora, haja paradigmas que barrem a adoção de sistemas integrados no Estado, a permanência dessas áreas em pousio por um longo período do ano não é justificada num contexto socioeconômico (ANGHINONI et al., 2013; DE OLIVEIRA et al., 2013)

Moraes et al. (2014a) apresentou resultados de estudos que destacam o incremento na produtividade de diversos sistemas agrícolas com a introdução do animal. Somado a estes, diversos trabalhos já realizados no mesmo protocolo experimental do presente estudo, mostram que a intensidade de pastejo não reduz a produtividade da soja (CASSOL, 2003; FLORES, 2004; CONTE, 2007; FLORES et al., 2007; LOPES, 2008; DE OLIVEIRA et al., 2013; SILVA et al., 2014; KUNRATH et al., 2015; CECAGNO et al., 2016). O objetivo desse estudo

é entender como diferentes intensidades de pastejo definem a produtividade da lavoura de soja em sistema integrado soja –bovinos de corte sobre a hipótese de que a intensidade de pastejo em sistemas integrados de produção agropecuária influencia na produtividade da lavoura de soja.

2.2 Material e Métodos

2.2.1 Características locais, delineamento experimental e tratamentos

O estudo foi conduzido em um protocolo experimental de longa duração, localizado na Fazenda do Espinilho (Figura 1a), pertencente a Agropecuária Cerro Coroado (latitude 29° 03' 10" S, longitude 53° 50' 44" W e altitude de 465 m), no município de São Miguel das Missões, região fisiográfica do Planalto Médio no Rio Grande do Sul, Brasil. A área experimental possui 22 hectares, que vem sendo manejada desde 1993 sob semeadura direta. A partir de 2001 foi inserida a pecuária de corte, nos moldes de sistemas integrados. O protocolo experimental é composto por pastagens mistas de aveia preta (*Avena strigosa* Schreb.) e azevém anual (*Lolium multiflorum* Lam.), com novilhos de 10 – 12 meses em pastejo, durante o período hiberno-primaveril e a cultura da soja no verão em sucessão sob semeadura direta na palha.

O solo é classificado como Latossolo Vermelho distroférico profundo, bem drenado e com textura argilosa (0,54 kg kg⁻¹ argila, 0,17 kg kg⁻¹ silte e 0,29 kg kg⁻¹ areia para a camada 0-20 cm; CASSOL, 2003; KUNRATH et al., 2014). No geral, os atributos químicos na área experimental após 15 anos de integração, para a camada de solo 0-10 cm (amostras coletadas em 10 de dezembro de 2015) foram: pH em H₂O = 4,57, fósforo = 5,65 mg dm⁻³ (Mehlich

1), potássio (K) = 148 mg dm⁻³ (Mehlich 1), Al⁺³ trocável = 1,4 cmol_c dm⁻³ (extraído por KCl 1mol L⁻¹), matéria orgânica do solo (MO) = 38 g kg⁻¹. O clima, conforme classificação proposta por Köppen, é subtropical úmido (Cfa).

Os tratamentos foram definidos durante a fase pastagem, arranjados em um delineamento de blocos completamente casualizados com três repetições e consistiram de diferentes intensidades de pastejo por bovinos em pasto misto de azevém anual e aveia-preta: pastejo intenso com 10 cm de altura da pastagem (P10), pastejo moderado com 20 cm (P20), pastejo moderado-leve com 30 cm (P30), pastejo leve com 40 cm (P40), acrescido de áreas com ausência de pastejo (SP). A área experimental é dividida em doze parcelas pastejadas (potreiros), variando de 0,8 a 3,6 hectares conforme o tratamento aplicado, mais duas parcelas com exclusão de pastejo representativo a áreas em pousio (Figura 1b

A pastagem foi semeada em abril de 2015 sendo, a aveia preta cultivar BRS 139 em linha (45 kg ha⁻¹ de sementes) com sobressemeadura de azevém anual a lanço (30 kg ha⁻¹ de sementes) no intuito de uniformizar a área experimental. Foi utilizada uma adubação nitrogenada de 200 kg de ureia (90 kg ha⁻¹ de N) dividida em duas aplicações (metade trinta dias e o restante quarenta e cinco dias após a semeadura do pasto). Não foram realizadas adubações potássica e fosfatada na fase pastagem. A entrada dos animais na pastagem, foi na primeira quinzena de junho, quando o acúmulo de matéria seca (MS) estava em torno de 1500 kg ha⁻¹, se estendendo até 29 de outubro, totalizando 143 dias de pastejo.

O método do pastoreio adotado é o contínuo. Cada unidade experimental pastejada, manteve três animais permanente com adição de animais-reguladores conforme necessidade (técnica da lotação variável “*put-and-take*”; MOTT & LUCAS, 1952), buscando manter a altura do pasto próximo à proposta. O controle da altura da pastagem foi realizado a cada quinze dias, utilizando o método do bastão graduado (“*Sward stick*”; BARTHAM, 1985). As alturas reais de manejo do pasto para o 15º ciclo de pastejo, antecedendo o período de avaliação, foram 12, 21, 29, 35 e 46 cm, respectivamente para aos tratamentos P10, P20, P30, P40 e SP, demonstrado por Nunes (2016).

Para o presente estudo, foram alocadas duas áreas amostrais (parcelas A e B) espacialmente distantes entre si (Figura 1c) dentro de cada potreiro, com 58 m² cada. A alocação da parcela restringiu-se às entrelinhas de tráfego do pulverizador, a áreas sem reaplicação de calcário (ver MARTINS et al., 2014b) e a pontos amostrais para o estudo de indicadores biológicos no solo. Ao todo, foram avaliadas vinte e oito parcelas na área experimental, implantadas após a semeadura da soja, no estágio cotiledonar (VC; FEHR & CAVINESS, 1977). Cada parcela foi dividida em dezesseis unidades amostrais agrupadas em quatro subparcelas (Figura 1d) com avaliações fixas, totalizando quatrocentos e quarenta e oito unidades amostrais. A unidade amostral foi composta por quatro linhas de semeadura com dois metros lineares, tendo área de 3,6 m² cada (Figura 1e).

Visto que, não houveram diferenças de produtividade na lavoura soja entre os tratamentos para 15º ciclo de lavoura, corroborando com trabalhos em anos anteriores, decidimos utilizar uma nova proposta de tratamentos. Para isso,

definimos três *clusters*, com alto (CA), intermediário (CI) e baixo (CB) rendimento de grãos, independentemente dos tratamentos originais (alturas de pastejo).

Durante o ciclo produtivo, houve o acompanhamento das variáveis climáticas através de estação meteorológica no local do experimento. A Figura 2 traz o acumulo semanal das precipitações e a média semanal da temperatura, durante o ciclo da soja. As normais climatológicas mensais da precipitação para o município de Santiago, próximo a região (atrelado ao período 1961-1990), são de 177, 111, 162, 171, 167 e 194 mm para os meses de novembro a abril (FEPAGRO, 2011). O acumulado para o ciclo da soja foi de 1380 mm, decorrente de elevadas precipitações na fase inicial do ciclo.

2.2.2 Manejo da lavoura

Após o encerramento da fase pastagem, dia 18 de novembro, a área foi dessecada. A semeadura da soja ocorreu na sequência, dia 24 de novembro, com o uso da cultivar Vtop RR (Syngenta seeds; grupo de maturação: 5,9), de hábito indeterminado, na densidade de 38 sementes m⁻² e espaçamento entre linhas de 0,45 m. O sistema de semeadura foi equipado com disco de corte para abertura das linhas e disco duplo para distribuição das sementes. Utilizou-se tratamento fitossanitário com inseticida, acrescido de 2,5 ml de inoculante (*Bradyrhizobium japonicum*) por kg de sementes, 32 g i.a. ha⁻¹ de carboxina, 32 g i.a. ha⁻¹ de tiram, 43 g ha⁻¹ de cobalto e 4 g ha⁻¹ de molibdênio, respectivamente, fungicidas e fertilizantes líquido. Não foram utilizadas adubações potássica e fosfatada na lavoura de soja para a safra 2015/16.

O manejo fitossanitário da lavoura é exposto na Tabela 1. Quarenta e cinco dias após a semeadura da soja, realizou-se a aplicação de herbicida pós-emergente, inseticida e a primeira aplicação preventiva de fungicida. No total, foram realizadas cinco aplicações de fungicidas (7/1, 19/1, 2/2, 18/2 e 4/3). Inseticidas foram aplicados ao longo do ciclo produtivo conforme, necessidade no controle de insetos pragas.

2.2.3 Procedimentos amostrais

2.2.3.1 Coletas de solo e resíduo

Foram realizadas amostragens de solo dentro de cada subparcela, visando analisar a variabilidade nos atributos químicos (e.g., P, K, pH em H₂O, Al³⁺ trocável e MO). As amostras foram coletadas com pá de corte em cinco repetições, na camada de 0 – 10 cm, formando uma amostra composta após homogeneização. As coletas realizaram-se posteriormente à semeadura da soja, durante a implementação do experimento, sendo encaminhadas ao Laboratório de Análises de Solos do Instituto Rio-Grandense do Arroz (IRGA), para análise.

O resíduo da pastagem foi coletado 15 dias após a semeadura da soja, no mesmo período da amostragem de solo. Utilizou-se um quadrado metálico de 0,5 m x 0,5 m (0,25 m²), retirando-se todo o resíduo sobre a superfície do solo, em cinco pontos nas extremidades de cada parcela. O material foi desidratado em estufa de ar forçado a 60°C, até atingir peso constante e pesado. O valor da parcela foi representado pela média das observações e transformado para quilogramas de matéria seca por hectare (kg MS ha⁻¹).

2.2.3.2 Avaliações no crescimento/desenvolvimento

Na soja, as avaliações foram realizadas em três estádios fenológicos distintos, sendo uma no estágio de sétimo nó (V7) e outras duas, no florescimento e na maturação de colheita (R3 e R8), conforme escala fenológica desenvolvida por Fehr & Caviness (1977). A avaliação do estande inicial de plantas foi realizada no estágio de sétimo nó, quarenta e cinco dias após a semeadura da cultura. Contou-se, o número de plantas em 1,5m linear nas quatro linhas de semeadura (2,7m²), que formam cada subparcela. O acúmulo de biomassa de soja na parte aérea foi realizado ao final do florescimento (estádio fenológico R3). Quatro amostras foram coletadas por parcela, na interseção (+) das subparcela que formam a unidade amostral (Figura 1d), buscando gerar o mínimo distúrbio na área amostral. As amostras cortadas em duas linhas de semeadura por 0,5 m (0,45 m²), foram desidratadas em estufa de ar forçado a 60°C até atingir peso constante, pesadas e a massa calculada. A altura final de plantas foi mensurada no estágio fenológico R8, com o uso de bastão graduado em cinco pontos aleatórios por subparcela.

2.2.3.3 *Produtividade e componentes do rendimento de grãos*

A soja foi colhida no dia 12 de abril, em plena maturação de colheita (estádio fenológico R8). O corte de plantas para as avaliações de produtividade e componentes primários do rendimento foram nas quatro linhas de semeadura da subparcela ao longo de 1,5 m linear (2,7 m²), contando-se o número final de plantas, anteriormente ao corte. Após, dez plantas aleatórias foram manualmente separadas para determinação dos componentes primários do

rendimento e o restante armazenado em sacarias, individualmente para todas as subparcelas avaliadas. A massa de grãos limpo das plantas separadas para a determinação dos componentes de rendimento e das plantas restante em cada subparcela, após a trilha, foram pesadas e ajustadas individualmente ao conteúdo de 130 g kg^{-1} de umidade. Os componentes primários avaliados foram: número de plantas por área (m^2), número de legumes por planta, legumes por área (m^2), número de grãos por legumes, grãos por área (m^2) e peso de grãos (g).

2.2.3.4 Arquitetura de plantas

Tomando as dez plantas coletadas para determinação dos componentes do rendimento como representantes de cada subparcela, foi avaliada a estrutura da planta, individualmente, totalizando 4800 plantas amostradas. Com o uso de uma régua graduada, foi mensurado o comprimento da haste principal a partir do primeiro nó (cotiledonar) até o ápice, contando-se o número de nós. Para as ramificações laterais, foram contabilizados o número de ramificações por planta e o número total de nós.

2.2.4 Análise estatística

Para o estudo das diferenças entre os tratamentos, os resultados foram submetidos a análise de variância (ANOVA), tendo como efeitos fixo tratamento e bloco, e o efeito aleatório restrito a parcela (considerado o valor médio das quatro unidades amostrais). As significâncias foram testadas ao nível de 5% ($P < 0,05$) e as médias comparadas usando-se o teste Tukey, pelo programa

estatístico JMP v.13.1.0 (SAS INSTITUTE INC., 2017). O modelo matemático para a ANOVA das variáveis estudadas é representado por: $Y_{ij} = \mu + T_i + \beta_j + (T\beta)_{ij} + \varepsilon_{ij}$, em que Y_{ij} representa a variável dependente; μ é a média de todas as observações; T = alturas de manejo do pasto ($i = 1,2,3,4,5$); β = blocos ($j = 1,2,3$); $(T\beta)_{ij}$ representa o efeito da interação entre tratamentos e blocos; ε_{ij} corresponde ao erro experimental residual.

Quanto a formação dos grupos de produtividade, foram utilizados os valores referente às unidades amostrais. Um dendograma foi renderizado utilizando o software de estatística JMP v.13.1.0 (SAS INSTITUTE INC., 2017), onde os dados de rendimento, foram agrupados em três clusters com níveis de produtividade (baixa (CB), intermediária (CI) e alta (CA)). Uma ANOVA foi realizada tendo o *cluster* como efeito fixo, a nível de 5% ($P < 0,05$) e as médias foram comparadas pelo teste Tukey. As relações entre os parâmetros avaliados foram por meio da correlação de Pearson, com mesmo nível de significância.

Uma análise multivariada discriminante, foi categorizada para *clusters* de produtividade. Com essa ferramenta analítica, identificou-se as variáveis que melhor explicam a produtividade, dentre estes (*cluster* como efeito fixo no modelo). Os parâmetros utilizados foram: residual da pastagem, pH em H₂O, P Mehlich1, K Mehlich1, Matéria Orgânica, Ca, Mg e Al trocáveis, CTC efetiva, CTC pH 7,0, saturação por Al, saturação por bases, altura final – R8, legumes por área, biomassa de parte aérea, número de ramos por plantas, número de nós na haste principal e nos ramos. As variáveis que compõem diretamente a produtividade (população inicial e final de plantas, legumes por plantas, grãos por legumes e peso de mil grãos) não foram adicionadas. Com uso da ferramenta

de seleção de variáveis “*stepwise*”, foram identificados os parâmetros significativos ($P < 0,05$). Na sequência, as variáveis foram inseridas no modelo para gerar a equação de predição da produtividade de soja.

2.3. Resultados

A produtividade de soja não foi afetada ($P = 0,0570$) pela inserção do animal no SIPA, independente das intensidades de pastejo. As médias gerais foram de 3.090, 3.370, 3.270, 3.730 e 3.650 kg ha⁻¹ com coeficiente de variação de 8, 17, 19, 12 e 7% para os tratamentos P10, P20, P30, P40 e SP, respectivamente. Na Figura 3, visualizamos a distribuição dos valores de produtividade da soja por parcela avaliada, organizado ao nível de tratamento, que compõem os *clusters*.

2.3.1 Produtividade da soja pelo clustering

A análise de *cluster* seguiu um caminho convincente, distinguindo claramente duas vias, uma de baixa produtividade de forma isolada e outra com valores de intermediário a alto (Figura 4). As médias, os valores mínimos e máximos e as proporções de cada *cluster* dentro de cada intensidade de pastejo são encontrados na Tabela 2.

Intensidades de pastejo com maior carga animal (moderada-leve, moderada e alta), representam 86% dos valores de produtividade do CB. Na alta intensidade de pastejo, dezenove de vinte e quatro observações (79%) são valores de baixa produtividade. Outra percepção pertinente é que neste cluster não são observados valores das parcelas sem pastejo, estando estas

associadas apenas aos *clusters* com potencial produtivo superior. A variação das observações de produtividade de grãos que compõem o grupo, ficou entre 2.400 kg ha⁻¹ e 3.200 kg ha⁻¹.

A partir da classificação de rendimentos intermediários, podemos observar que 58% dos valores contidos no *cluster* são formados pelas intensidades de pastejo moderada a leve intensidades de pastejo (P20, P30 e P40). Do restante, onze valores de produtividade (30% do percentual) são referentes a área não pastejada tão logo, 2/3 das dezesseis das observações na ausência dos animais. A amplitude produtiva para o cluster ficou entre 3.300 kg ha⁻¹ e 3.800 kg ha⁻¹ sendo em média 609 kg ha⁻¹ mais produtivos ($P < 0,001$) que o cluster agrupados com valores de produtividades inferior.

O rendimento de soja referente as áreas de leve intensidade e com ausência de pastejo representaram 64% das observações mais produtivas. O restante (36%) destina-se exclusivamente as intensidades de pastejo moderada e moderada-leve (P20 e P30). Quase metade das observações no pastejo leve (P40) são valores de alta produtividade estando o restante distribuídos entre os dois *clusters* restantes. Entretanto, uma observação importante do nosso estudo é que não há neste *cluster* valores de observações sob pastejo intenso. A produtividade de soja oscilou entre 3.800 kg ha⁻¹ e 4.400 kg ha⁻¹, sendo em média 1.200 kg ha⁻¹ mais produtivos ($P < 0,001$) que o CA e 590 kg ha⁻¹ superior ($P < 0,001$) ao CI.

2.3.2 Análise de variância entre os clusters para as variáveis analisadas

Com exceção do pH, os demais atributos químicos relacionados a acidez não apresentaram variação expressiva dentre os *clusters* (Tabela 3). Observou-se superioridade ($P=0,0444$) no pH para o CB em relação ao CI. O acúmulo no resíduo da pastagem foi inferior ($P<0,001$) no *cluster* CI. O magnésio trocável (Mg) apresentou diferença, com superioridade ($P=0,0345$) no CB em comparação ao CA. Os níveis de concentração dos nutrientes fósforo (P) e potássio (K) disponíveis foram superiores ($P<0,0001$) nos *clusters* intermediário e alto. O resíduo teve correlação negativa com as concentrações de Mg trocável ($r = -0,37$; $P<0,0001$) sendo contrário para o K disponível ($r = 0,36$; $P<0,0001$).

A correlação entre resíduo e estande de plantas, inicial ($r = -0,53$; $P<0,0001$) e final ($r = -0,51$; $P<0,0001$) foi negativa sendo, o CB com superioridade ($P<0,0001$) aos demais. Tanto o CA como o CI expressaram maior plasticidade fenotípica, sendo superiores ($P=0,0034$) na formação de ramificações, para as plantas no CB, com elevação à medida que aumentou o resíduo da pastagem ($r= 0,25$; $P=0,0080$) e reduziu o número de plantas ($r = -0,36$; $P<0,0001$). O número de ramificações tem efeito positivo sobre o número de nós nos ramos ($r= 0,77$; $P<0,0001$) e no número total de nós por planta ($r= 0,76$; $P<0,0001$), sendo esta dependente também do número nós na haste principal ($r= 0,25$; $P=0,0104$). Tanto para o número de nós na haste principal quanto para os ramos laterais, o CI e o CA foram superiores ($P<0,0001$) ao CB. O número de nós por planta foi determinante para formação de legumes por planta ($r= 0,71$; $P<0,0001$).

A altura final de plantas (estádio R8) teve relação positiva com o número de nós na haste principal ($r= 0,37$; $P<0,001$), onde houve diferença ($P<0,0001$) entre os *clusters*, sendo a estatura no CA superior. As alturas finais, relacionam-se positivamente com o comprimento dos entrenós na haste principal ($r= 0,81$; $P<0,001$), com maior comprimento ($P=0,0004$) para as plantas no CA. A biomassa seca na parte aérea foi superior ($P=0,0012$) nos *clusters* CA e CI. Esta, apresentou correlação com a altura final ($r= 0,56$; $P<0,001$), sendo importante na formação do número de legumes por planta ($r= 0,36$; $P<0,0002$) e número de grãos por legumes ($r= 0,27$; $P<0,001$). A altura de plantas foi afetada positivamente pelo resíduo da pastagem ($r= 0,27$; $P=0,0042$) e os teores de P ($r= 0,29$; $P=0,0027$) e K ($r= 0,42$; $P<0,0001$) disponíveis.

O CA apresentou maior ($P<0,001$) número de legumes por planta e legumes por área que os demais, logo o CI também foi superior ($P<0,001$) ao CB. Os *clusters* alto e intermediário foram superiores ($P<0,001$) ao CB quanto ao número de grãos por legume, entretanto, o CA é superior ($P<0,001$) aos demais no número de grãos por área e na produtividade da lavoura de soja. A inserção do animal não teve efeito ($P= 0.9245$) sobre o peso de mil grãos.

2.3.3 Seleção dos parâmetros de variação da produtividade de soja usando análise discriminante

Na Figura 5 visualizamos a distribuição dos *clusters*, com as variáveis significativas à formação da produtividade de soja sobre sistemas integrados. Em ordem de importância foram: (i) o número de legumes por área ($P<0,0001$); (ii) a altura final de plantas ($P<0,0001$); (iii) a quantidade de resíduo do pasto

($P < 0,0001$); (iv) o teor de P disponível ($P = 0,0004$); e (v) o número de nós por planta ($P = 0,0026$). A variável mais significativa, número de legumes por área, explica 29% ($R^2 = 0,29$) da variação no rendimento da soja entre os *clusters*. A medida que são adicionados os demais parâmetros ao modelo, através da ferramenta “*stepwise*”, os coeficientes de determinação passam a ser 0,45, 0,56, 0,63 e 0,66, onde ao todo os cinco parâmetros significativos explicam 66% na variação no rendimento entre os *clusters*. A equação gerada para predição da produtividade de soja foi: $- 2072 + (0,053 * \text{resíduo da pastagem (kg MS ha}^{-1}\text{)}) + (31,32 * \text{P disponível (mg dm}^{-3}\text{)}) + (53,83 * \text{altura final-R8 (cm)}) + (1,3 * \text{grãos por área (n}^\circ \text{ m}^{-2}\text{)}) + (28,5 * \text{nós por planta (n}^\circ \text{ planta}^{-1}\text{)})$.

2.4. Discussão

A normal climática quanto precipitação anual (período de 1961 – 1990) para a região é de 1934 mm (FEPAGRO,2011). A precipitação acumulada durante o ciclo da soja somou 1385 mm (70%) entre os meses de novembro e início de abril (Figura 2), em 140 dias de ciclo da lavoura. No entanto, 46% desse volume (634 mm) foi acumulado apenas no mês de dezembro, início do desenvolvimento da lavoura. Dependendo das características de cada cultivar, o requerimento hídrico da cultura fica entre 450 – 700 mm, bem distribuídos durante seu ciclo de desenvolvimento (DOGAN et al., 2007). O período de maior demanda hídrica é durante o florescimento e o enchimento de grãos mantendo-se até o seu final (MECKEL et al., 1984; MUNDSTOCK & THOMAS, 2005). Sob condições de pastejo intensivo, há redução da disponibilidade hídrica, principalmente nas camadas superficiais do solo, devido à menor quantidade de

resíduo remanescente da pastagem, elevando a temperatura no solo e decorrente dessa a evaporação da água (MARTINS et al., 2016a).

2.4.1 Análise de cluster

A forma analítica utilizada no protocolo experimental não foi sensível para detectar o efeito das intensidades de pastejo sobre a produtividade da soja. O agrupamento por *clusters* permitiu abranger a visão sobre a resposta produtiva da lavoura. Técnicas de análises multivariadas, como análises de *clusters*, ajudaram a entender as relações de causa-efeito em um conjunto de variáveis, grande e complexas. A análise de *cluster* reconheceu padrões e agrupou os valores de produtividade em classes com base na similaridade e diferenças para outras classes. O *cluster* hierárquico, utilizou o método de Ward para calcular a distância entre os indivíduos, para formar grupo com a mínimo variância interna.

2.4.1.1 Resíduo do pasto e atributos do solo

Passados 30 dias do final do ciclo de pastejo e após a semeadura da soja, o resíduo coletado foi significativo ($P < 0,0001$) entre os tratamentos sendo 1304, 2628, 3723, 4826 e 6333 kg MS ha⁻¹ para P10, P20, P30, P40 e SP, respectivamente. Quanto maior a intensidade menor quantidade de resíduo depositado sobre o solo. A diferença abrupta no residual para os *clusters* CA e CI (110 e 74% respectivamente) em relação ao CB, foi importante na formação da similaridade nos parâmetros químicos e com distinção na formação da produtividade da lavoura de soja entre os *clusters*, com correlação positiva ($r = 0,53$; $P < 0,001$).

A decomposição do resíduo da pastagem e dejetos dos animais, libera diversos compostos orgânicos ao solo que, devido a sua grande afinidade, ligam-se ao alumínio tóxico estabilizando a acidez (SÁ et al., 2009). Quando animais são introduzidos em SIPA, a ciclagem de nutrientes é alterada em função do componente animal e seus dejetos (ASSMANN, 2013). Há um estímulo para aumentar a reciclagem de nutrientes pelas plantas seguido de seu retorno a superfície pelo processo de mineralização, elevando a concentração de cátions básicos no solo tendo acréscimo no pH (Ca e Mg; MARTINS et al., 2016b), visto que o Al trocável encontra-se temporariamente indisponível na solução do solo (BESSHO & BELL, 1992).

O aumento da intensidade no uso do pasto decorrente de carga animal, gera efeitos negativos à produção de pasto e ao resíduo. O remanescente da pastagem somado à produção de dejetos (esterco e/ou urina), acelera a atividade microbiana no solo, intensificando os fluxos de matéria e energia (CARVALHO et al., 2010). O maior número de animais por área nas intensidades de pastejo mais elevadas (P10, P20 e P30), incrementam a ciclagem de nutrientes tendo como resposta a elevação nos níveis de cátions básicos, sendo o magnésio no CB superior ao CA, tendo como resposta a elevação do pH.

Embora as concentrações de Al trocável não apresentem diferenças entre os *clusters* ($P= 0,0844$), há uma tendência de superioridade no CI. Como já relatado, 40% dos valores deste *cluster* são oriundos de áreas sem pastejo no inverno (Tabela 2). A ausência de animais na pastagem torna-as mais ácidas ($P=0,0194$) com concentrações de Al trocável de 1,23 e 2,37 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, para áreas com e sem animais respectivamente. Os demais atributos químicos

apresentaram tendência semelhante aos valores discutidos por Martins et al. (2014a, 2014b, 2016b), em avaliações anteriores no mesmo experimento, onde destacam que a acidificação do solo a longo prazo não afeta a produtividade de grãos, o que explica a semelhança dos valores entre os *clusters*.

O pastejo modifica a dinâmica dos nutrientes no solo, intensificando a taxa de ciclagem de nutrientes, as frações da matéria orgânica do solo (lábil ou recalcitrante), e o tempo de sua liberação no solo (ASSMANN et al., 2017). A inserção do animal acelera a mineralização e a aumenta a ciclagem dos nutrientes (FRANZLUEBBERS et al., 2000). Assmann (2013) aponta que os teores de lignina, tanto no pasto como nas fezes, são definidores da taxa de decomposição dos resíduos. O menor conteúdo de lignina no resíduo da pastagem para os tratamentos moderado e moderado-leve (23%) em relação aos demais, resulta em mais rápida liberação de nutrientes à lavoura em sucessão (ASSMANN, 2013). Como a coleta do resíduo do pasto foi realizada 35 dias após a saída dos animais da pastagem, identificamos que, para as intensidades de pastejo moderada e moderada-leve, a fração decomposta foi 38% e 30% respectivamente, dos valores obtidos por Nunes (2016) na saída dos animais no mesmo experimento. Em pastagens sem a presença de animais ou sob pastejo leve, com maior aporte de resíduo vegetal no sistema, há a imobilização temporária dos nutrientes no solo pelos microrganismos para a decomposição dos resíduos, resultando na liberação gradativa dos nutrientes às culturas em um sistema consolidado de plantio direto.

Sistemas conservacionistas, a longo prazo alteram a dinâmica do fósforo no solo, pelo aumento na concentração de formas orgânicas (fósforo

moderadamente lábil ou lábil), acumulados apenas nas camadas mais superficiais, de 0 – 10 cm (RHEINHEIMER et al., 2000; CARVALHO et al., 2010). Em solos argilosos, como está inserido o protocolo experimental, há um aumento potencial da complexação junto aos colóides, pelo processo de adsorção (SOUZA, 2008). O fósforo é pouco influenciado pela inserção do animal, em grande parte devido a sua baixa mobilidade no solo (COSTA et al., 2014). Nos *clusters*, os resultados foram confirmados por Souza (2008) em trabalho na mesma área experimental, pois à medida que aumenta o resíduo da pastagem, as concentrações são mais elevadas decorrentes da maior ciclagem de P pela pastagem, estando em formas menos adsorvidas pelos colóides do solo e mais disponíveis as plantas. Embora os valores de fósforo nos *clusters* de produtividade intermediária e alta serem superiores, o nível crítico para o CI e o CB é o mesmo (médio), sendo alto para o CA (CQFS-RS/SC, 2016).

O padrão de distribuição do K é semelhante ao padrão do resíduo da pastagem. Com manejo mais intensivo do pastejo (intensidades moderadas a alta), o elevado número de animais por unidade de área caracteriza grandes perdas desse elemento decorrente do maior consumo de forragem. Visto que, grande parte desse elemento retorna ao sistema via dejetos (principalmente urina), exposto a perdas por erosão superficial e lixiviação devido a sua mobilidade (HAYNES & WILLIAMS, 1999; FERREIRA et al., 2009). Embora haja diferença no nível de potássio entre os *clusters*, o teor de K disponível é alto para todos as unidades amostrais (CQFS-RS/SC, 2016) tão logo, as diferenças na produtividade da soja não se relacionam com a dinâmica e a disponibilidade deste elemento no solo.

2.4.1.2 Atributos da planta

A cobertura remanescente do ciclo de pastejo exerce papel ímpar no desenvolvimento inicial da lavoura. O estande de plantas no *cluster* de menor produtividade foi superior, contrário ao acúmulo no resíduo sobre a superfície. Sob integração, a manutenção permanente de resíduo recobrando o solo é reflexo da eficiência na utilização da pastagem durante o ciclo de pastejo, sendo crucial em um sistema de plantio direto. Logo, a espessura da camada residual pode afetar a germinação e o desenvolvimento inicial das culturas em sucessão, tais como a soja (SANTOS et al., 2013). Schuster et al. (2016) avaliando o efeito na manutenção da cobertura vegetal morta sobre a emergência de plântulas de espécies indesejáveis observou redução no número de plântulas à medida que aumentou o resíduo, onde está forma uma barreira física.

Os valores encontrados para a população final contrastam a estudos anteriores na mesma área experimental onde estes relatam menores estandes de plantas para a maior intensidade de pastejo (CASSOL, 2003; FLORES, 2004; CONTE, 2007; FLORES et al., 2007; KUNRATH et al., 2015). O sistema de semeadura utilizado para os anos avaliados, dotava de haste sulcadora tipo facão para distribuição do adubo e disco duplo para sementes. Este permitia maior mobilização superficial do solo, rompendo camadas compactadas e melhorando a plantabilidade, inclusive em zonas com maior acúmulo de resíduo vegetal. Sistemas de semeadura, como o utilizado na implantação do 15º ciclo produtivo da soja, substituíram o facão sulcador por disco de corte corrugado, o que permite reduzir os distúrbios no solo durante a semeadura. Porém, o não revolvimento dificulta a germinação quando em camada do resíduo é muito

espessa. No entanto, a população para todos os *cluster* é adequada, onde Thomas et al. (2010a) destacam que a população indicada para a cultura é de 30 plantas m⁻², com variações de 20%, sem alterar o rendimento final. Indo nesse caminho, os valores também são superiores ao recomendado pela empresa Syngenta seeds, com população de 24 - 28 plantas m⁻² para a cultivar, o que nos permite presumir que a população não foi restritiva na produtividade de soja.

Embora inferior a população de plantas nos *clusters* intermediários e alto, o efeito invertido é claro quanto a arquitetura de plantas. A imprecisão da semeadura imposta à lavoura pelo sistema mecânico de distribuição de sementes, quanto aos espaçamentos falhos ou múltiplos, somado a densidade de plantas por área, são superadas pela capacidade compensatória da planta. A soja é considerada uma espécie com grande plasticidade fenotípica, permitindo adaptação as variações ambientais sem alterar o rendimento (THOMAS et al., 2010b).

O hábito de desenvolvimento indeterminado permite à planta estender o crescimento vegetativo até final do florescimento (MUNDSTOCK & THOMAS, 2005). As diferenças na altura final do dossel, entre os *clusters* CA e CB, são explicados pela menor disponibilidade de nutrientes (7,1 e 4,7 mg dm⁻³ de P disponível, 182 e 126 mgdm⁻³ de K disponível para CA e CB respectivamente em ambos) além da restrição hídrica durante o mês de janeiro, tendo guiado a redução no número final de nós da haste principal para o *cluster* CB. O nó, formado na inserção do pecíolo de cada folha trifoliolada primária com o caule, possui uma gema axilar meristemática, que pode ficar dormente bem como originar novas estruturas vegetativas (ramos) ou reprodutivas (flores > legumes

> grãos), dotando plasticidade as plantas de soja (MUNDSTOCK & THOMAS, 2005).

A compensação pela menor população de plantas é expressa classicamente pelo número superior de ramos, contribuindo para o incremento de biomassa por planta (COX et al., 2010). Desse modo, a maior formação de ramos laterais para o CA e o CI possibilitou superioridade no potencial de estruturas reprodutivas, por fatores já abordados anteriormente. Cada ramo lateral tem estrutura similar à do caule, o que permite gerar novos ramos, em especial folhas e racemos florais (CARPENTER & BOARD, 1997; MUNDSTOCK & THOMAS, 2005). A soja tem a habilidade de abortamento natural das flores (40-80%) como ajuste ao potencial de crescimento, em condições ambientais mais drásticas, como restrição hídrica e nutricional (THOMAS & COSTA, 2010). O período de florescimento da soja iniciou a partir da metade de janeiro, durante uma estiagem. O uso de cultivar com hábito de crescimento indeterminado somado a ocorrência de precipitações no final deste mês (Figura 2), conferiram capacidade às plantas para a recuperação do estresse, buscando manter número final de flores férteis aceitável. O comportamento indeterminado permite à planta apresentar racemos florais terminais à medida que continuam a desenvolver nós, a alongar o caule e a incrementar a altura até o final do florescimento (MUNDSTOCK & THOMAS, 2005).

A fixação do maior número de flores por racemo (tipo de inflorescência), forma o número potencial de legumes por planta, sendo este o componente mais maleável na composição do rendimento de grãos (MUNDSTOCK & THOMAS, 2005; COX et al., 2010). Durante o mês de fevereiro, o acumulado pluviométrico

foi 77 mm, o que o faz inferior à normal climatológica (170 mm; FEPAGRO, 2011). A restrição hídrica no florescimento, favoreceu ao maior número de legumes por planta para os clusters CA e CI. O resíduo desempenhou papel chave para a superioridade de legumes por planta nestes, visto que camadas de cobertura do solo reduzem a evapotranspiração permitindo a manutenção da umidade no solo (MARTINS et al., 2016a), reduzindo efeitos negativos às plantas gerado pelo estresse hídrico.

O número de legumes por planta diferiu entre os tratamentos ($P=0,0023$) sendo 36, 37, 36, 41 e 44 legumes para P10, P20, P30, P40 e SP, respectivamente. Embora haja similaridade entre o CA e o CI quanto a arquitetura de plantas, o menor número de legumes por planta para o CI refletiu-se ao maior percentual de valores relacionados a intensidades de pastejo moderado-leve, moderado e alta (53% ao total, Tabela 2). Mesmo que o CB se diferencie dos demais clusters na população final de plantas, a compensação ao menor número de legumes por planta não foi suficiente para a formação de número semelhante de legumes por área, para igualar-se ao *cluster* CI.

Ao longo do período vegetativo, a planta desenvolve todo o seu aparato fotossintético (folhas), acumulando fotoassimilados e refletindo de forma direta na arquitetura desta (e.g., estatura da planta, número de caules e número de nós férteis). Nos *clusters* mais produtivos, a produção total de biomassa seca na parte aérea foi superior, em detrimento ao porte mais elevado e ao número maior de ramificações. Durante o enchimento de grãos, ocorre há a redistribuição de nutrientes para os grãos, como carboidratos e compostos nitrogenados, provenientes das folhas em senescência, ramos e caule. O maior acúmulo de

reservas na planta permite a formação de maior número de óvulos por legume. O reflexo disso é a superioridade no número de grãos por legume para os *clusters* CA e CI. Quanto ao CB, embora população mais elevada de plantas, novamente não é o suficiente para compensar o número de grãos por área, fazendo-o inferior aos demais, tão logo com menor potencial produtivo. O valor do peso de grão não variou pelo fato de ser uma característica específica a cada cultivar (THOMAS & COSTA, 2010a).

2.4.1.3 Produtividade

De maneira geral, convém destacar que as produtividades (79% das observações; Tabela 2) em áreas manejadas sobre alta intensidade seguiram forte tendência de desenvolver rendimento inferior, próximo a 3000 kg ha⁻¹, resultante de suas limitações produtivas. Quanto a distribuição da produtividade nas intensidades moderada e moderada-leve, tornam-se perceptível o equilíbrio, onde estas representam cerca de 40% nos valores observados em cada *clusters*. Áreas com baixa intensidade de pastejo apresentaram maior variabilidade produtiva na soja, com observação distribuídas em todos os *clusters* (CA=46%, CI=29% e CB=25%; Tabela 2), decorrente da maior heterogeneidade imposta pelo animal nesta intensidade de pastejo (Figura 3). A partir disso, observamos que as distribuições dos valores de produtividade apresentam indícios de semelhança ao resultado apresentados por Nunes (2016) ao estudar a distribuição das alturas do pasto ao longo do ciclo de pastejo no mesmo protocolo experimental, onde este destacou que a heterogeneidade espacial do pasto aumenta com a diminuição da intensidade de pastejo. Assim, podemos

afirmar que a heterogeneidade na fase pastagem reflete à fase lavoura em SIPA, tornando menos abruptas as variações dos rendimentos nas áreas sob alta intensidade de pastejo e sem a presença de animais no inverno, embora estejam caracterizados como extremos produtivos.

A introdução de animais em pastejo durante o inverno é uma alternativa eficiente na diversificação produtiva, barrado por paradigmas ligados a resistência de agricultores a inserção da integração em áreas de cultivos agrícolas (MARTINS et al., 2014b). Pelo baixo impacto ao rendimento da soja (mais de 50 % das observações com produtividade superior a 3300 kg ha⁻¹), as intensidades moderada e moderada-leve de pastejo em ambientes integrados, permite a maximização e a diversificação da renda agrícola (WESP, 2010).

2.4.2 Análise discriminante

A análise ajudou a identificar os parâmetros avaliados com maior influência sobre a produtividade onde, podemos confirmar com clareza a classificação dos *clusters* (Figura 5). A análise multivariada discriminante permitiu uma abordagem mais complexa das diferenças entre os *clusters*, avaliando sua performance em função das diferentes intensidades de pastejo.

Do total de valores utilizados, dezenove não foram classificados sendo sete entre o CI e CA e doze em o CI e CB, pela proximidade as extremidades entre os *clusters*. Nas áreas sombreadas onde ocorre a sobreposição dos *clusters*, pode ocorrer a não classificação de objetos entre dois grupos (HAIR et al., 2013). O sucesso de 66% no uso da função discriminante, indica que os atributos avaliados a campo e inseridos na análise, foram eficazes na

classificação dos valores de produtividade nas subparcelas dentre os *clusters*. Embora houvesse boa relação entre as variáveis selecionadas e a produtividade, a não explicação para toda a variação no rendimento é atribuído a parâmetros avaliados não significativos, bem como, atributos da lavoura não avaliados (e.g., interceptação luminosa, deficiência nutricional no tecido vegetal, infestações de insetos e ocorrência de doenças).

2.4.3 Modelo para predição de produtividade

O potencial produtivo de um sistema agrícola é expresso pela interação entre genótipo e ambiente (THOMAS & COSTA, 2010a). A produtividade da soja para ambientes homogêneos, pode ser estimada pelos componentes primários do rendimento, resumido pela equação: rendimento de grãos de soja = plantas m^{-2} * legumes planta $^{-1}$ * grãos legume $^{-1}$ * peso do grão (MUNDSTOCK & THOMAS, 2005). Porém, a introdução de animais altera a dinâmica na construção da produtividade em culturas agrícolas, pois o pastejo pode afetar a produtividade de maneira positiva (MORAES et al., 2014a). Componentes secundários que englobam características fisiológicas, morfológicas e anatômicas (e.g., número de ramos, número de nós, comprimento de entrenós) podem ser expresso, tendo efeito indireto sobre os componentes primários (PIRES et al., 2005; THOMAS & COSTA, 2010a). Em SIPA, a dinâmica que envolve a produtividade do componente agrícola é bastante complexa. A inserção do animal a longo prazo é promotora de variabilidade produtiva dentro da lavoura (Figuras 3).

Os padrões determinados pela análise de cluster (Figura 4) e a seleção das variáveis pela análise discriminante, conferem acurácia ao resultado. A equação de predição (Figura 6) atribui precisão na estimativa de produtividade, com alto coeficiente de determinação ($R^2 = 88$), testado a partir de dados reais oriundos das avaliações a campo na equação predita.

Percebemos que a seleção dos parâmetros utilizados na equação foi eficiente visto toda complexidade envolvida em sistemas integrados de produção agropecuária, com diferentes intensidades de pastejo, sob plantio direto. Esse modelo matemático pode representar o início de um trabalho de modelagem na predição do comportamento produtivo para escala espaço-temporal.

2.5. Conclusão

A presença do animal em pastejo não interfere na produtividade da soja, entretanto, a alta intensidade de pastejo reduz seu potencial produtivo. O resíduo remanescente da pastagem desempenha papel importante para alcançar altas produtividades. Os atributos químicos do solo não afetam a produtividade de soja em integração com a pecuária na fase consolidada do sistema. A plasticidade fenotípica atua de forma direta, sob baixa intensidade e ausência de pastejo, na compensação do menor estande de plantas pela expressão de maior número de estruturas laterais (ramos > nós > racemos > legumes > grãos). Mesmo que o estande de planta seja maior em pastejo intenso, o número final de legumes por planta não apresenta capacidade compensatória suficiente na formação de legumes por área, que é essencial para a formação da produtividade da soja em integração com bovinos de corte.

2.6. Referências bibliográficas

- Anghinoni, I., Carvalho, P.C. de F., Costa, S.E.V.G. de A., 2013. 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 Em Ciência Do Solo*. UFV, Viçosa, MG, pp. 325–380.
- Assmann, J.M., 2013. Ciclagem e estoque de nutrientes em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto de longa duração (Tese de Doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Assmann, J.M., Anghinoni, I., Martins, A.P., Costa, S.E.V.G. de A., Cecagno, D., Carlos, F.S., Carvalho, P.C. de F., 2014. Soil carbon and nitrogen stocks and fractions in a long-term integrated crop-livestock system under no-tillage in southern Brazil. *Agric. Ecosyst. Environ.* 190, 52–59. doi:10.1016/j.agee.2013.12.003
- Assmann, J.M., Martins, A.P., Anghinoni, I., Denardin, L.G. d. O., Nichel, G. de H., Costa, S.E.V.G. de A., Silva, R.A.P., Balerini, F., Carvalho, P.C. de F., Franzluebbbers, A.J., 2017. Phosphorus and potassium cycling in a long-term no-till integrated soybean-beef cattle production system under different grazing intensities in subtropics. *Nutr. Cycl. Agroecosystems*. doi: 10.1007/s10705-016-9818-6
- Assmann, T.S., Ronzelli Júnior, P., Moraes, A., Assmann, A. L., Koehler, H.S., Sandini, I., 2003. Rendimento de milho em área de integração lavoura-pecuária sob o sistema plantio direto, em presença e ausência de trevo branco, pastejo e nitrogênio. *Rev. Bras. Ciência do Solo* 27, 675–683. doi:10.1590/S0100-06832003000400012
- Barthram, G.T., 1985. Experimental techniques: the HFRO sward stick., in: *The Hill Farming Research Organization/Biennial Report*. HFRO. Penicuik, pp. 29–30.
- Bell, L.W., Moore, A.D., 2012. Integrated crop-livestock systems in Australian agriculture: Trends, drivers and implications. *Agric. Syst.* 111, 1–12. doi: 10.1016/j.agsy.2012.04.003
- Bessho, T., Bell, L.C., 1992. Soil solid and solution phase changes and mung bean response during amelioration of aluminium toxicity with organic matter. *Plant Soil* 140, 183–196. doi:10.1007/BF00010596
- Bruinsma, J., 2009. The resource outlook to 2050: by how much do land, water, and crop yields need to increase by 2050? in: *Expert Meeting on How to*

- Feed the World in 2050. FAO, Rome, Italy. doi:10.1111/j.13652230.2009.03481.x
- Carpenter, A.C., Board, J.E., 1997. Branch yield components controlling soybean yield stability across plant populations. *Crop Sci.* 37, 885–891. doi: 10.2135/cropsci1997.0011183X003700030031x
- Carvalho, P.C. de F., Anghinoni, I., Moraes, A., Souza, E.D., Sulc, R.M., Lang, C.R., Flores, J.P.C., Terra Lopes, M.L., Silva, J.L.S. da, Conte, O., Wesp, C. de L., Levien, R., Fontaneli, R.S., Bayer, C., 2010. Managing grazing animals to achieve nutrient cycling and soil improvement in no-till integrated systems. *Nutr. Cycl. Agroecosystems* 88, 259–273. doi:10.1007/s10705010-9360-x
- Cassol, L.C., 2003. Relações solo-planta-animal num sistema de integração (Tese de Doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Cecagno, D., Costa, S.E.V.G. de A., Anghinoni, I., Kunrath, T.R., Martins, A.P., Reichert, J.M., Gubiani, P.I., Balerini, F., Fink, J.R., Carvalho, P.C. de F., 2016. Least limiting water range and soybean yield in a long-term, no-till, integrated crop-livestock system under different grazing intensities. *Soil Tillage Res.* 156, 54–62. doi:10.1016/j.still.2015.10.005
- Companhia Nacional de Abastecimento, 2016. Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos. Monitoramento agrícola- Safra 2015/2016. doi:ISSN 2318-6852
- Conte, O., 2007. Atributos físicos de solo e demanda de tração em semeadura direta de soja, com diferentes pressões de pastejo em sistema de integração lavoura-pecuária (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Costa, S.E.V.G. de A., Souza, E.D., Anghinoni, I., Carvalho, P.C.F., Martins, A.P., Kunrath, T.R., Cecagno, D., Balerini, F., 2014. Impact of an integrated no-till crop-livestock system on phosphorus distribution, availability and stock. *Agric. Ecosyst. Environ.* 190, 43–51. doi:10.1016/j.agee.2013.12.001
- Cox, W.J., Cherney, J.H., Shields, E., 2010. Soybeans compensate at low seeding rates but not at high thinning rates. *Agron. J.* 102, 1238–1243. doi: 10.2134/agronj2010.0047
- CQFS-RS/SC - Comissão de Química e Fertilidade do Solo, 2016. Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina.

- De Oliveira, C.A.O., Bremm, C., Anghinoni, I., Moraes, A., Kunrath, T.R., Carvalho, P.C.F., 2013. Comparison of an integrated crop–livestock system with soybean only: Economic and production responses in southern Brazil. *Renew. Agric. Food Syst.* 29, 230–238. doi:10.1017/S1742170513000410
- Dogan, E., Kirnak, H., Copur, O., 2007. Deficit irrigations during soybean reproductive stages and CROPGRO-soybean simulations under semi-arid climatic conditions. *F. Crop. Res.* 103, 154–159. doi:10.1016/j.fcr.2007.05.009
- FAO, 2010. An international consultation on integrated crop-livestock systems for development The Way Forward for Sustainable Production Intensification. Rome, Italy, p. 64.
- Fehr, W.R., Caviness, C.E., 1977. Stages of soybean development. Ames, Iowa State University, USA.
- FEPAGRO, 2011. Atlas climático: Rio Grande do Sul. Fepagro, Porto Alegre.
- Ferreira, E.V. de O., Anghinoni, I., Carvalho, P.C. de F., Costa, S.E.V.G. de A., Cao, E.G., 2009. Concentração do potássio do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto submetido a intensidades de pastejo. *Rev. Bras. Ciência do Solo* 33, 1675–1684.
- Flores, J.P.C., 2004. Atributos de solo e rendimento de soja em um sistema de integração lavoura-pecuária com diferentes pressões de pastejo em plantio direto com aplicação de calcário na superfície (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Flores, J.P.C., Anghinoni, I., Cassol, L.C., De Faceio Carvalho, P.C., Dal Belo Leite, J.G., Fraga, T.I., 2007. Atributos físicos do solo e rendimento de soja em sistema plantio direto em integração lavoura pecuária com diferentes pressões de pastejo. *Rev. Bras. Cienc. do Solo* 31, 771–780. doi:10.1590/S0100-06832007000400017
- Foley, J.A., Ramankutty, N., Brauman, K.A., Cassidy, E.S., Gerber, J.S., Johnston, M., Mueller, N.D., O’Connell, C., Ray, D.K., West, P.C., Balzer, C., Bennett, E.M., Carpenter, S.R., Hill, J., Monfreda, C., Polasky, S., Rockström, J., Sheehan, J., Siebert, S., Tilman, D., Zaks, D.P.M., O’Connell, C., 2011. Solutions for a cultivated planet. *Nature* 478, 337–42. doi:10.1038/nature10452
- Franchini, J.C., Balbinot Junior, A.A., Sichieri, F.R., Debiasi, H., Conte, O., 2014. Yield of soybean, pasture and wood in integrated crop-livestock-forest

- system in Northwestern Paraná state, Brazil. *Rev. Cienc. Agron.* 45, 1006–1013. doi:10.1590/S1806-66902014000500016
- Franzluebbers, A.J., Stuedemann, J.A., Schomberg, H.H., 2000. Spatial distribution of soil carbon and nitrogen pools under grazed tall fescue. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64, 635–639.
- Hair, J.F., Black, W.C., Babin, B.J., Anderson, R.E., 2013. Multiple discriminant analyses, in: Hair Jr., J.F., Black, W.C., Babin, B.J., Anderson, R.E. (Eds.), *Multivariate Data Analysis*. Pearson, Harlow, UK, pp. 231–312. doi:10.1038/259433b0
- Haynes, R.J., Williams, P.H., 1999. Influence of stock camping behaviour on the soil microbiological and biochemical properties of grazed pastoral soils. *Biol. Fertil. Soils* 28, 253–258. doi:10.1007/s003740050490
- Herrero, M., 2010. Smart investments in sustainable food production: revisiting mixed crop-livestock systems. *Science (80-.)*. 327, 822–825. doi:10.1126/science.1183725
- Kunrath, T.R., Cadenazzi, M., Brambilla, D.M., Anghinoni, I., Moraes, A. de, Barro, R.S., Carvalho, P.C.D.F., 2014. Management targets for continuously stocked mixed oat x annual ryegrass pasture in a no-till integrated crop-livestock system. *Eur. J. Agron.* 57, 71–76. doi:10.1016/j.eja.2013.09.013
- Kunrath, T.R., Carvalho, P.C. de F., Cadenazzi, M., Bredemeier, C., Anghinoni, I., 2015. Grazing management in an integrated crop-livestock system: Soybean development and grain yield. *Rev. Cienc. Agron.* 46, 645–653. doi:10.5935/1806-6690.20150049
- Lopes, M.L.T., 2008. Sistema de integração lavoura-pecuária: desempenho de novilhos superprecoce e rendimento subsequente da cultura da soja (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Lopes, M.L.T., Carvalho, P.C.D.F., Anghinoni, I., Santos, D.T. Dos, Aguinaga, A.A.Q., Flores, J.P.C., Moraes, A. De, 2009. Sistema de integração lavoura-pecuária: efeito do manejo da altura em pastagem de aveia preta e azevém anual sobre o rendimento da cultura da soja. *Ciência Rural* 39, 1499–1506. doi:10.1590/S0103-84782009005000096
- Martins, A.P., Costa, S.E.V.G. de A., Anghinoni, I., Kunrath, T.R., Balerini, F., Cecagno, D., Carvalho, P.C. de F., 2014a. Soil acidification and basic cation use efficiency in an integrated no-till crop-livestock system under different

- grazing intensities. *Agric. Ecosyst. Environ.* 195, 18–28. doi:10.1016/j.agee.2014.05.012
- Martins, A.P., Anghinoni, I., Costa, S.E.V.G. de A., Carlos, F.S., Nichel, G. de H., Silva, R.A.P., Carvalho, P.C. de F., 2014b. Amelioration of soil acidity and soybean yield after surface lime reapplication to a long-term no-till integrated crop-livestock system under varying grazing intensities. *Soil Tillage Res.* 144, 141–149. doi:10.1016/j.still.2014.07.019
- Martins, A.P., Cecagno, D., Borin, J.B.M., Arnuti, F., Lochmann, S.H., Anghinoni, I., Bissani, C.A., Bayer, C., Carvalho, P.C. de F., 2016b. Long-, medium- and short-term dynamics of soil acidity in an integrated crop-livestock system under different grazing intensities. *Nutr. Cycl. Agroecosystems* 104, 67–77. doi:10.1007/s10705-015-9759-5
- Martins, A.P., Costa, S.E.V.G. de A., Anghinoni, I., Kunrath, T.R., Cecagno, D., Reichert, J.M., Balerini, F., Dillenburg, L.R., Carvalho, P.C. de F., 2016a. Soil moisture and soybean physiology affected by drought in an integrated crop-livestock system. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 51, 978–989. doi: .1590/S0100-204X2016000800010
- Meckel, L., Egli, D.B., Phillips, R.E., Radcliffe, D., Leggett, J.E., 1984. Effect of moisture stress on Seed growth in soybean. *Agron. J.* 76. doi:10.2135/cropsci1987.0011183X002700020034x
- Moraes, A. de, Carvalho, P.C. de F., Anghinoni, I., Lustosa, S.B.C., Costa, S.E.V.G. de A., Kunrath, T.R., 2014. Integrated crop-livestock systems in the Brazilian subtropics. *Eur. J. Agron.* 57, 4–9. doi:10.1016/j.eja.2013.10.004
- Moraine, M., Duru, M., Therond, O., 2016. A social-ecological framework for analyzing and designing integrated crop–livestock systems from farm to territory levels. *Renew. Agric. Food Syst.* 32, 1–14. doi:10.1017/S1742170515000526
- Mott, G.O., Lucas, H.L., 1952. The design, conduct and interpretation of grazing trials on cultivated and improved pastures. in: *International Grassland Congress*, 6. State College, Pennsylvania, pp. 1380–1395.
- Mundstock, C.M., Thomas, A.L., 2005. Soja: fatores que afetam o crescimento e o rendimento de grãos. *Evangraf*, Porto Alegre.
- Nie, Z., McLean, T., Clough, A., Tocker, J., Christy, B., Harris, R., Riffkin, P., Clark, S., McCaskill, M., 2016. Benefits, challenges and opportunities of integrated crop-livestock systems and their potential application in the high

- rainfall zone of southern Australia: A review. *Agric. Ecosyst. Environ.* 235, 17–31. doi:10.1016/j.agee.2016.10.002
- Nunes, P.A. de A., 2016. Como a intensidade de pastejo determina a heterogeneidade espacial da vegetação e suas implicações em um sistema integrado de produção agropecuária (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Pariz, C.M., Costa, C., Crusciol, C.A.C., Meirelles, P.R.L., Castilhos, A.M., Andreotti, M., Costa, N.R., Martello, J.M., Souza, D.M., Protes, V.M., Longhini, V.Z., Franzluebbbers, A.J., 2017. Production, nutrient cycling and soil compaction to grazing of grass companion cropping with corn and soybean. *Nutr. Cycl. Agroecosystems*. doi:10.1007/s10705-016-9821-y
- Pires, J.L.F., Cunha, G.R., Thomas, A.L., 2005. Fatores promotores de rendimento em modelos de produção para soja, in: Santos, H.P., Fontaneli, R.S., Spera, S.T., Pires, J.L.F., Tomm, G.O. (Eds.), *Eficiência de Soja Cultivada Em Modelos de Produção Sob Sistema Plantio Direto*. Embrapa Trigo, Passo fundo, pp. 36–80.
- Rheinheimer, D.S., Anghinoni, I., Conte, E., 2000. Fósforo da biomassa microbiana em solos sob diferentes sistemas de manejo. *Rev. Bras. Ciência do Solo* 24, 589–597. doi:10.1590/S0100-06832000000300012
- Russelle, M.P., Entz, M.H., Franzluebbbers, A.J., 2007. Reconsidering integrated crop-livestock systems in North America. *Agron. J.* 99, 325–334. doi: 10.2134/agronj2006.0139
- Sá, J.C. de M., Cerri, C.C., Lal, R., Dick, W.A., Piccolo, M. de C., Feigl, B.E., 2009. Soil organic carbon and fertility interactions affected by a tillage chronosequence in a Brazilian Oxisol. *Soil Tillage Res.* 104, 56–64. doi: 10.1016/j.still.2008.11.007
- Salton, J.C., Carvalho, P.C.D.F., 2007. Heterogeneidade da pastagem - causas e conseqüências. Embrapa Agropecuária Oeste, Dourados.
- Santos, H.P., Fontaneli, R.S., Spera, S.T., Maldaner, G.L., 2013. Rendimento de grãos de soja em diferentes sistemas de produção integração lavoura-pecuária. *Rev. Bras. Ciências Agrárias*. 8, 49–56. doi:10.5039/agraria.v8i1 a2077
- Sartor, L.R., Assmann, A.L., Assmann, T.S., Bigolin, P.E., Miyazawa, M., Carvalho, P.C. de F., 2012. Effect of swine residue rates on corn, common bean, soybean and wheat yield. *Rev. Bras. Ciência do Solo* 36, 661–669. doi:10.1590/S0100-06832012000200035

- SAS Institute Inc., 2017. JMP 13.1 Statistical Discovery. Cary, NY, USA.
- Schiere, J.B., Ibrahim, M.N.M., Van Keulen, H., 2002. The role of livestock for sustainability in mixed farming: Criteria and scenario studies under varying resource allocation. *Agric. Ecosyst. Environ.* 90, 139–153. doi:10.1016/S0167-8809(01)00176-1
- Schuster, M.Z., Pelissari, A., Moraes, A de, Harrison, S.K., Sulc, R.M., Lustosa, S.B.C., Anghinoni, I., Carvalho, P.C. de F., 2016. Grazing intensities affect weed seedling emergence and the seed bank in an integrated crop-livestock system. *Agric. Ecosyst. Environ.* 232, 232–239. doi:10.1016/j.agee.2016.08.005
- Silva, F.D., Amado, T.J.C., Bredemeier, C., Bremm, C., Anghinoni, I., Carvalho, P.C. de F., 2014. Pasture grazing intensity and presence or absence of cattle dung input and its relationships to soybean nutrition and yield in integrated crop-livestock systems under no-till. *Eur. J. Agron.* 57, 84–91. doi:10.1016/j.eja.2013.10.009
- Souza, E.D. de, 2008. Evolução da matéria orgânica, do fósforo e da agregação do solo em sistema de integração agricultura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidade de pastejo (Tese de Doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Stavi, I., Bel, G., Zaady, E., 2016. Soil functions and ecosystem services in conventional, conservation, and integrated agricultural systems. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 36, 32. doi:10.1007/s13593-016-0368-8
- Thomas, A.L., Costa, J. A., 2010a. Desenvolvimento da planta de soja e o potencial de rendimento de grãos, in: Thomas, A.L., Costa, J. A. (Eds.), *Soja: manejo para alta produtividade de grãos*. Evangraf, Porto Alegre, pp. 13–33.
- Thomas, A.L., Costa, J. A., 2010b. Estresse hídrico em soja: impacto no potencial de rendimento de grãos, in: Thomas, A.L., Costa, J. A. (Eds.), *Soja: manejo para alta produtividade de grãos*. Evangraf, Porto Alegre, pp.141-175.
- Thomas, A.L., Costa, J. A., Pires, J.L.F., 2010. Estabelecimento da lavoura de soja, in: Thomas, A.L., Costa, J. A. (Eds.), *Soja: manejo para alta produtividade de grãos*. Evangraf, Porto Alegre, pp. 127–140.
- Wesp, C. de L., 2010. Sistema de integração lavoura-pecuária: desempenho de novilhos superprecoces e variabilidade espacial do pasto (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

- Whitehead, D.C., 2000. Nutrient elements in grassland: soil-plant-animal relationships, CABI. CAB International, Devon, UK. doi:10.1079/9780851994376.0000
- Wilkins, R.J., 2008. Eco-efficient approaches to land management: a case for increased integration of crop and animal production systems. *Philos. Trans. R. Soc. B*, 363, 517–25. doi:10.1098/rstb.2007.2167
- Wu, W., Ma, B., 2015. Integrated nutrient management (INM) for sustaining crop productivity and reducing environmental impact: A review. *Sci. Total Environ.* 512–513, 415–427. doi: 10.1016/j.scitotenv.2014.12.101

Tabela 2. Estatística descritiva para análise de cluster em diferentes níveis de produtividade e intensidades de pastejo em sistema soja-bovinos de corte em semeadura direta

Parâmetros	Cluster	Intensidade de Pastejo					Total	Média	Mínimo	Máximo
		10	20	30	40	SP				
Observação por <i>cluster</i> (n°)	Baixo	19	10	10	6	0	45	2919	2422	3262
	Intermediário	5	9	6	7	11	38	3529	3313	3792
	Alto	0	5	4	11	5	25	4121	3878	4388
Percentual de <i>clusters</i> por intensidade de pastejo (%)	Baixo	79	42	50	25	0				
	Intermediário	21	38	30	29	69				
	Alto	0	20	20	46	31				
Percentual de intensidade de pastejo por <i>cluster</i> (%)	Baixo	42	22	22	14	0				
	Intermediário	13	24	16	18	29				
	Alto	0	20	16	44	20				

Tabela 3. Análise de variância para o residual da pastagem, atributos de solo e lavoura, em relação aos três clusters de produtividade em sistema soja-bovinos de corte em semeadura direta.

Parâmetros	Cluster			Média geral ± raiz do erro quadrático médio	p-value
	Baixo	Intermediário	Alto		
Residual da pastagem (kg MS ha ⁻¹)	2386 b	4153 a	5003 a	3613 ± 1580	< 0.001
<i>Atributos do solo (0 - 10 cm)</i>					
pH em H ₂ O	4.7 a	4.5 b	4.6 ab	4.6 ± 0.4	0.0444
P disponível (mg dm ⁻³)	4.7 b	5.8 a	7.1 a	5.6 ± 2	< 0.001
K disponível (mg dm ⁻³)	126 c	152 b	182 a	148 ± 36	< 0.001
Matéria orgânica (%)	3.9	3.8	3.8	3.8 ± 0.9	0.9330
Al trocável (cmol _c dm ⁻³)	1.2	1.7	1.3	1.4 ± 0.9	0.0844
Ca trocável (cmol _c dm ⁻³)	5.9	5.5	5.3	5.6 ± 1.7	0.3670
Mg trocável (cmol _c dm ⁻³)	1 a	0.9 ab	0.8 b	0.9 ± 0.3	0.0345
H + Al (cmol _c dm ⁻³)	4.7	5.4	5	5 ± 1.4	0.0751
CTC efetiva (cmol _c dm ⁻³)	8.4	8.5	7.9	8.3 ± 1.5	0.2709
CTC pH 7.0 (cmol _c dm ⁻³)	12	12.2	11.7	12 ± 2.1	0.5872
Saturação por Al trocável (%)	15.4	21	17.7	18 ± 12.5	0.1174
Saturação por bases (%)	60.3	55.4	55.8	57.6 ± 10.9	0.0882
<i>Atributos da lavoura</i>					
População inicial (plantas m ⁻²)	30 a	29 b	28 b	29 ± 1.5	< 0.001
População final (plantas m ⁻²)	30 a	29 b	28 b	29 ± 1.5	< 0.001
Altura final - R8 (cm planta ⁻¹)	58 c	61 b	67 a	61 ± 3.8	< 0.001
Nós haste principal (n° planta ⁻¹)	16 b	17 a	17 a	17 ± 0.7	< 0.001
Comprimento entrenós haste principal (cm)	3.3 b	3.3 b	3.5 a	3.4 ± 0.2	0.0004
Ramos (n° planta ⁻¹)	2.9 b	3.2 a	3.3 a	3.1 ± 0.5	0.0034
Nós ramos (n° planta ⁻¹)	12 b	14 a	15 a	14 ± 2.5	< 0.001
Nós total (n° planta ⁻¹)	28 b	31 a	32 a	30 ± 2.6	< 0.001
Biomassa de parte aérea - R3 (kg MS ha ⁻¹)	4331 b	4719 ab	5467 a	4683 ± 990	0.0012
Legumes por planta (n° planta ⁻¹)	34 c	40 b	44 a	38 ± 3.6	< 0.001
Legumes por área (n° m ⁻²)	1016 c	1131 b	1236 a	1107 ± 92	< 0.001
Grãos por legumes (n° legume ⁻¹)	1.8 b	1.9 a	2 a	1.9 ± 0.1	< 0.001
Grãos por área (n° m ⁻²)	1865 c	2182 b	2444 a	2110 ± 203	< 0.001
Peso de mil grãos (g)	196	196	196	196 ± 7.5	0.9245
Produtividade (kg ha ⁻¹)	2919 c	3529 b	4121 a	3472 ± 192	< 0.001

^a Médias seguidas de letras distintas na mesma linha diferem estatisticamente, conforme o teste de Tukey (P<0.05).

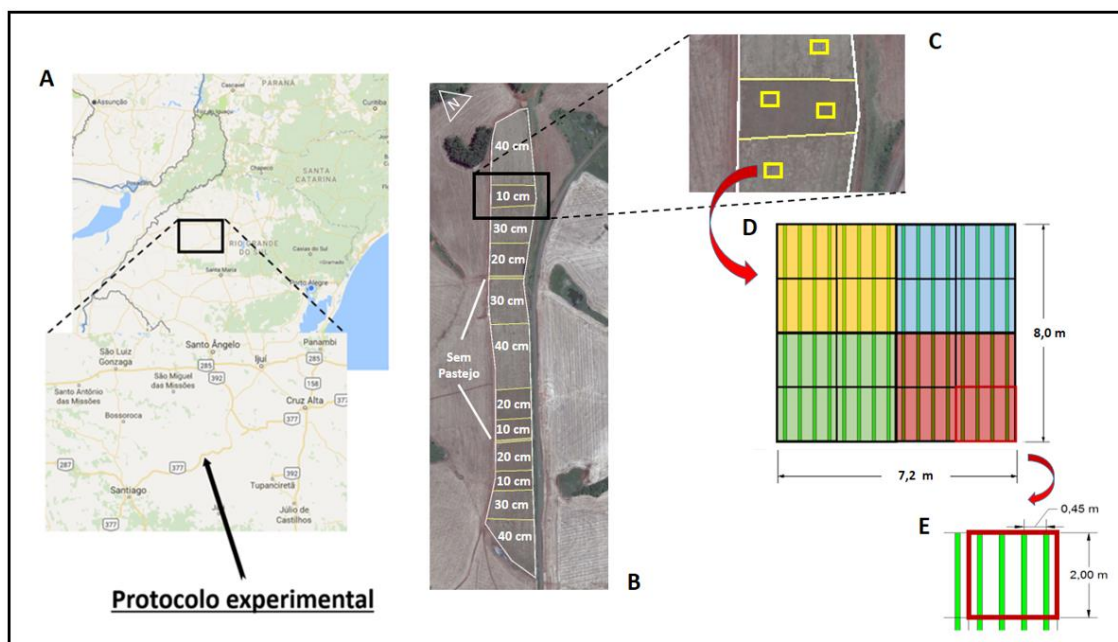


Figura 1. Localização do protocolo experimental, no Planalto Médio do Rio Grande do Sul (a); vista geral da área experimental arranjada em blocos casualizados, composto de três repetições por tratamento (altura do pasto) mais duas áreas sem pastejo entre blocos (b); esquema que demonstra a localização espacial das parcelas dentro de cada potreiro (c); representação esquemática da parcela, formada pelo conjunto de dezesseis subparcelas agrupadas em quatro unidades amostrais (d); croqui da subparcela, composta por quatro linhas de semeadura de soja em dois metros (e).

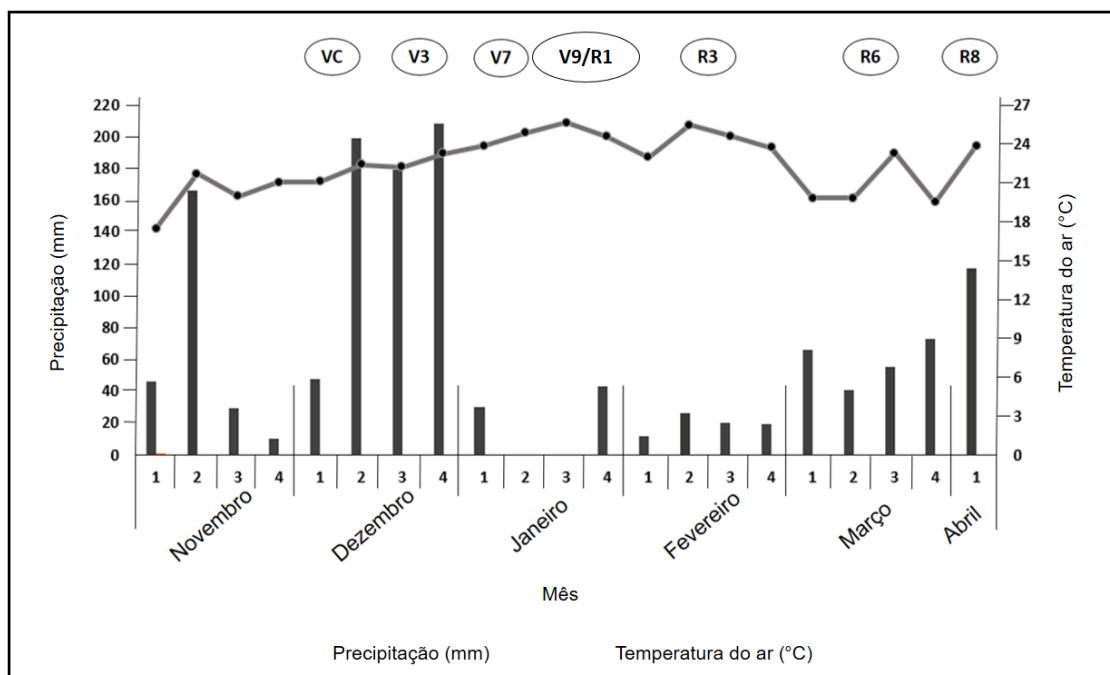


Figura 2. Acumulado semanal de precipitação (mm) e a média semanal da temperatura do ar (°C) durante o período experimental.

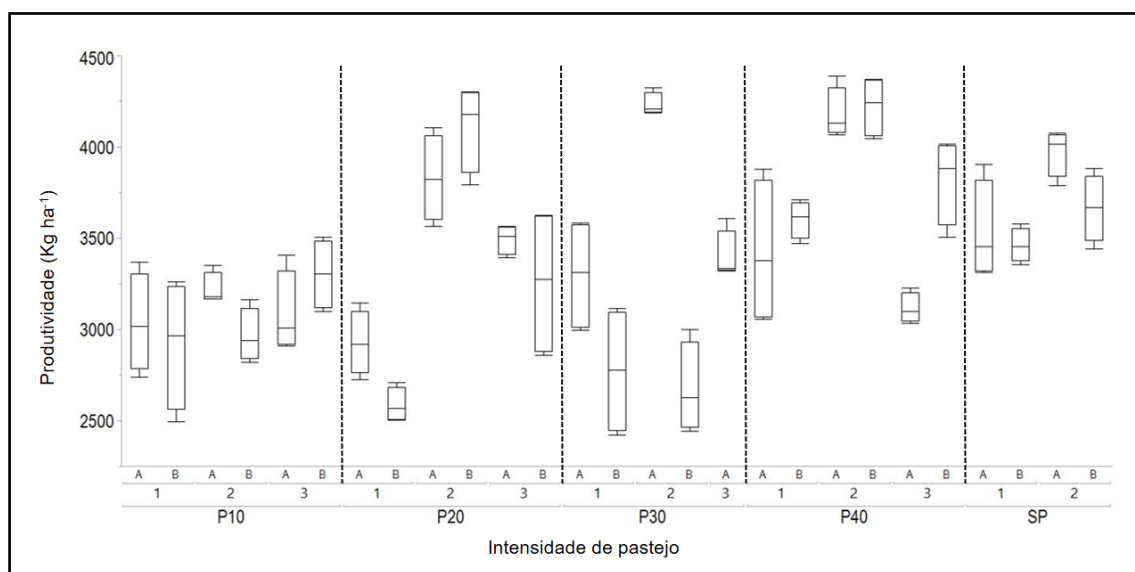


Figura 3. Dispersão dos pontos da produtividade de soja para as diferentes intensidades de pastejo (P10, P20, P30, P40) e as áreas sem pastejo (SP), dentro dos blocos (1,2 e 3) com duas parcelas amostrais por repetição (A e B), em sistema integrado soja-bovinos de corte em semeadura direta.

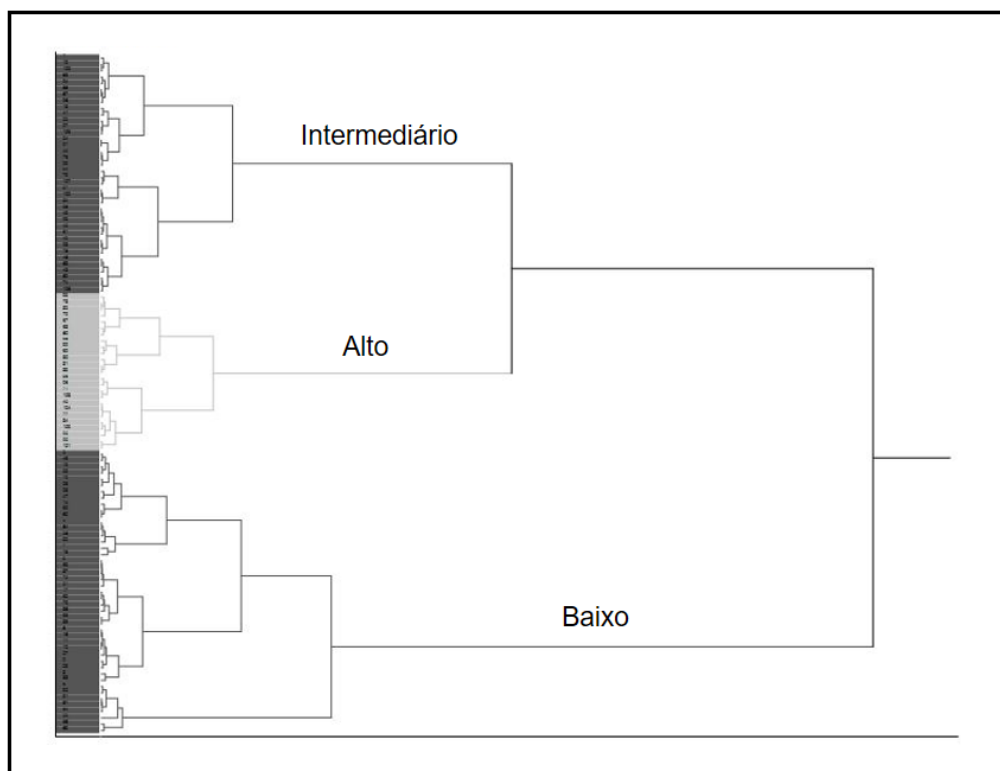


Figura 4. Dendrograma criado pela análise de clustering hierárquico aplicando o método de ligação de Ward, mostrando três clusters de produtividade (baixo, intermediário e alto), para diferentes intensidades de pastejo em sistema integrado soja-bovinos de corte em semeadura direta.

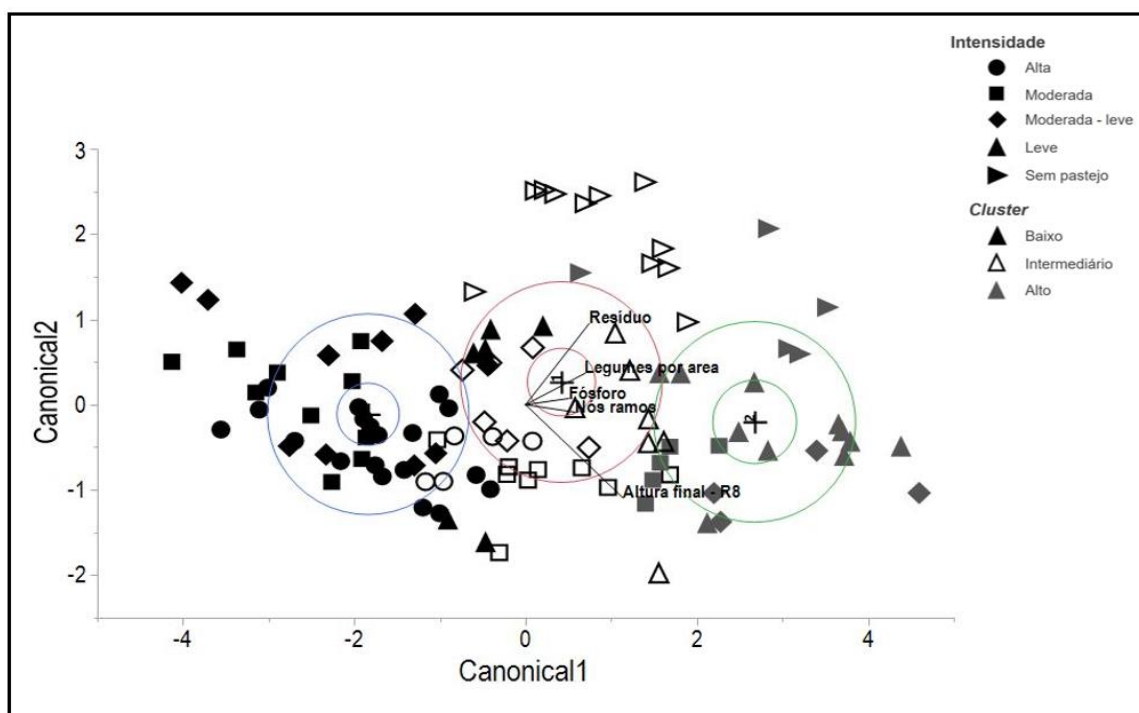


Figura 5. Representação gráfica da dispersão de escores de variáveis canônicas, para três clusters de produtividade (baixo, intermediário e alto) e seus centroides, obtida através de análise discriminante e método “stepwise” para seleção de parâmetros, que melhor explicam a variação da produtividade para diferentes intensidades de pastejo em sistema soja-bovinos de corte em semeadura direta.

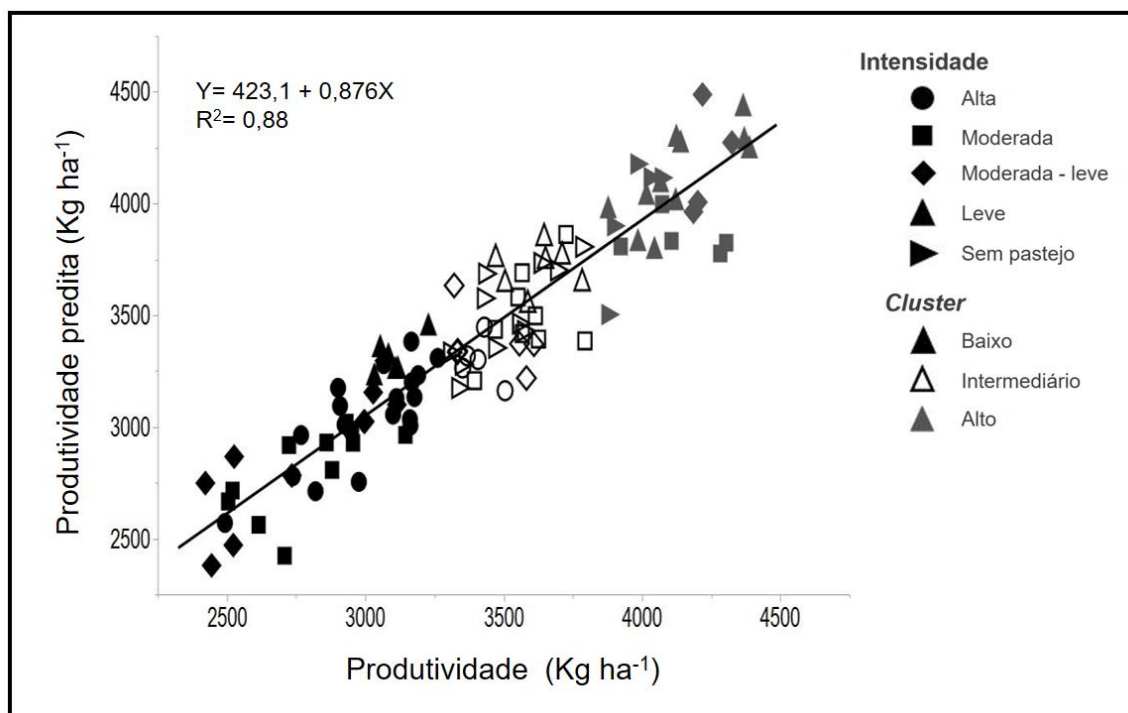


Figura 6. Gráfico de dispersão com pontos para a produtividade real (A) e a produtividade predita (B), calculada pela função “*prediction express*” do software estatístico JMP, utilizando cinco variáveis independentes (legumes por área, altura final – R8, resíduo do pasto, fósforo, nós por ramos).

CAPÍTULO III

3.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os sistemas integrados de produção agropecuária são uma forma potencial de diversificação produtiva mas impõem complexidade aos estabelecimentos rurais. A inserção do animal não tem afetado o rendimento de grãos, conforme encontrado ao longo dos 15 anos deste protocolo experimental. Na fase consolidada do sistema, os atributos do solo não influenciam a produtividade da soja quando integrado com a produção animal, estando esta relacionada em especial a disponibilidade hídrica. Porém, ao estudar a produtividade da soja através de *clusters* produtivos, podemos observar que a alta intensidade de pastejo, impõem limitações no potencial produtivo da lavoura, refletindo em valores com rendimento inferior. A inserção do animal de maneira leve maximiza a produtividade da soja, visto que os benefícios por ele trazido potencializam o rendimento da cultura. As intensidades de pastejo moderado e moderado-leve mantem a estabilidade produtiva onde, de forma equilibrada, apresentam os três níveis produtivos (alto, intermediário e baixo), além de manter elevada produção animal no inverno, sendo a estratégia de manejo que maximiza a produtividade a nível de sistema.

O resíduo da pastagem desempenha papel estratégico na produtividade da lavoura mantendo a umidade no solo e a liberação gradativa de nutrientes, dentre eles o fósforo e o potássio. Acúmulos de resíduo do pasto superior a 4000 kg MS ha⁻¹ atuam de maneira negativa à implantação e o estabelecimento inicial da lavoura. A plasticidade fenotípica age diretamente na arquitetura das plantas, modificando a altura final de plantas e o número de ramos, chave para a construção da produtividade. De forma compensatória, em principal o aumento no número de ramificações nas plantas, permite elevar o número final de gemas férteis, emitindo número superior de folhas trifolioladas secundárias, possibilitando a melhoria no aproveitamento da radiação solar e o acúmulo de fotoassimilados, para ser translocados durante o período de enchimento dos grãos. Outra vantagem do maior número de nós na planta, é a formação de mais racemos produtivos, onde ao final formarão o número de legumes por área, responsáveis pela produtividade da lavoura de soja.

O uso de técnicas de análise estatística multivariada como *cluster* hierárquico e discriminante são ferramentas promissoras para estudar a variabilidade na produtividade de soja. A seleção de parâmetros pela função “*stepwise*” na análise discriminante mostrou-se eficiente, classificando cinco variáveis significativas que explicaram 66% da variação produtiva dentro dos *clusters*. A redução amostral ao nível de “*patch*”, no caso planta, ajudou a entender a influência das diferentes intensidades de pastejo sobre a produtividade da soja em integração com a pecuária, em plantio direto.

A área experimental é uma parceria público-privada, entre os Departamentos de Solos e de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia da Faculdade de Agronomia da UFRGS e a Cabanha Cerro Coroado (Fazenda do Espinilho). A adubação fosfatada e potássica é utilizada de maneira sistêmica no protocolo experimental, com implantação em 2011, sendo totalmente aplicada após o estabelecimento da pastagem. Para o período de pastejo, os animais, a adubação nitrogenada e a estrutura são fornecidos pela fazenda enquanto, os

alunos de pós-graduação da UFRGS conduzem o manejo na área experimental. Quanto a fase lavoura, a área experimental é locada a Agropecuária Guajuvira, responsável pelo manejo produtivo da soja. Ao final da fase lavoura 2014/15, a ausência de comunicação entre as partes envolvidas ocasionou a não utilização de adubação potássica e fosfatada, antecedendo a fase pastagem de 2015, favorecendo a redução no teor desses nutrientes no solo.

Outro ponto a ser destacado, é a percepção de modo visual da elevada heterogeneidade que o animal impõe a lavoura de soja em sucessão. O estudo realizado em parcelas fixas não permitiu detectar as diferenças dentro de cada potreiro devido à grande variabilidade. O uso de ferramentas como o sensoriamento remoto em estudos futuros, é uma abordagem interessante para identificar e melhor estudar a variação espaço-temporal da produtividade.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALTIERI, M. A. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 74, n. 1–3, p. 19–31, 1999.
- ANDRIEU, N.; NOGUEIRA, D. M. Modeling biomass flows at the farm level: a discussion support tool for farmers. **Agronomy for Sustainable Development**, Paris, v. 30, p. 505–513, 2010.
- ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. F.; COSTA, S. E. V. G. A. Abordagem sistêmica do solo em sistemas integrados de produção agrícola e pecuária no subtropical brasileiro. **Tópicos em Ciência do Solo**, Viçosa, v. 8, 2013. p. 325–380.
- ASSMANN, J. M. **Ciclagem e estoque de nutrientes em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto de longa duração**. 2013. 151p. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciências do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.
- ASSMANN, J. M. et al. Carbon and nitrogen cycling in an integrated soybean-beef cattle production system under different grazing intensities. **Agriculture Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 190, p. 52–59, 2014.
- ASSMANN, T. S. et al. Rendimento de milho em área de integração lavoura-pecuária sob o sistema plantio direto, em presença e ausência de trevo branco, pastejo e nitrogênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 675–683, 2003.
- BALBINOT JUNIOR, A. A. et al. Integração lavoura-pecuária: intensificação de uso de áreas agrícolas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, p. 1925–1933, 2009.
- BARSOTTI, J. L. et al. Crop yields and soil organic matter responses to sheep grazing in US northern Great Plains. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 134, p. 133–141, 2013.
- BELL, L. W.; MOORE, A. D. Integrated crop-livestock systems in Australian agriculture: Trends, drivers and implications. **Agricultural Systems**, Essex, v. 111, p. 1–12, 2012.
- BONATO, E. R.; BONATO, A. L. V. **Cultivares que fizeram a história da soja no Rio Grande do Sul**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2002.
- BONAUDO, T. et al. Agroecological principles for the redesign of integrated crop-livestock systems. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 57, p. 43–51, 2013.
- BORGHI, E. et al. Sorghum grain yield, forage biomass production and revenue as affected by intercropping time. **European Journal of Agronomy**,

Amsterdam, v. 51, p. 130–139, 2013.

BRUINSMA, J. The resource outlook to 2050: by how much do land, water, and crop yields need to increase by 2050? In: EXPERT MEETING ON HOW TO FEED THE WORLD IN 2050, 2009, Rome. **Anais...** Rome, Italy: FAO, 2009.

BULLER, L. S. et al. Soil improvement and mitigation of greenhouse gas emissions for integrated crop-livestock systems: Case study assessment in the Pantanal savanna highland, Brazil. **Agricultural Systems**, Essex, v. 137, p. 206–219, 2015.

CADENASSO, M. L. et al. A framework for a theory of ecological boundaries. **BioScience**, Washington, v. 53, n. 8, p. 750–758, 2003.

CARVALHO, J. L. N. et al. Crop-pasture rotation: A strategy to reduce soil greenhouse gas emissions in the Brazilian Cerrado. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 183, p. 167–175, 2014.

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**, Dordrecht, v. 88, n. 2, p. 259–273, 2010.

CASSOL, L. C. **Relações solo-planta-animal num sistema de integração lavoura-pecuária-floresta em semeadura direta com calcário na superfície.** 2003.157p. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciências do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

CICEK, H. et al. Effects of grazing two green manure crop types in organic farming systems: N supply and productivity of following grain crops. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 190, p. 27–36, 2014.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO.

Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos: Monitoramento agrícola-Safra 2015/2016. v. 3. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_06_09_09_00_00_boletim_graos_junho__2016_-_final.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2017.

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, J. A.; MANICA, I. **Cultura da soja.** Porto Alegre: Evangraf, 1996.

DE OLIVEIRA, C. A. O. et al. Comparison of an integrated crop–livestock system with soybean only: Economic and production responses in southern Brazil. **Renewable Agriculture and Food Systems**, Cambridge, v. 29, n. 3, p. 230–238, 2013.

DORAN, J. W. Soil health and global sustainability: translating science into

practice. **Agriculture Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 88, p. 119–127, 2002.

DUMONT, B. et al. Prospects from agroecology and industrial ecology for animal production in the 21st century. **Animal**, Cambridge, v. 7, n. 6, p. 1028–1043, 2013.

FAO. **An international consultation on integrated crop-livestock systems for development: The Way Forward for Sustainable Production Intensification**. Rome, Italy: FAO, 2010. 64 p, v. 13 p.

FLORES, J. P. C. et al. Atributos físicos do solo e rendimento de soja em sistema plantio direto em integração lavoura pecuária com diferentes pressões de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 4, p. 771–780, 2007.

FOLEY, J. A. et al. Solutions for a cultivated planet. **Nature**, London, v. 478, n. 7369, p. 337–42, 2011.

FRANCHINI, J. C. et al. Yield of soybean, pasture and wood in integrated crop-livestock-forest system in Northwestern Paraná state, Brazil. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 45, n. 5, p. 1006–1013, 2014.

FRANZLUEBBERS, A. J.; STUEDEMANN, J. A.; SCHOMBERG, H. H. Spatial distribution of soil carbon and nitrogen pools under grazed tall fescue. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 64, n. 2, p. 635–639, 2000.

FRANZLUEBBERS, A. J.; SULC, R. M.; RUSSELLE, M. P. Opportunities and challenges for integrating north-american crop and livestock systems. In: LEMAIRE, G.; HODGSON, J.; CHABBI, A. (Ed.). **Grassland Productivity and Ecosystem Services**. Wallingford: CAB International, 2011. p. 208–218.

GAVIER-PIZARRO, G. I. et al. Expansion and intensification of row crop agriculture in the Pampas and Espinal of Argentina can reduce ecosystem service provision by changing avian density. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 154, p. 44–55, 2012.

GIL, J. D. B.; GARRETT, R.; BERGER, T. Determinants of crop-livestock integration in Brazil: Evidence from the household and regional levels. **Land Use Policy**, Oxford, v. 59, p. 557–568, 2016.

HENDRICKSON, J. et al. Interactions in integrated US agricultural systems: The past, present and future. **Renewable Agriculture and Food Systems**, Cambridge, v. 23, n. 4, p. 314, 2008.

HERRERO, M. Smart investments in sustainable food production: revisiting mixed crop-livestock systems. **Science**, New York, v. 327, p. 822–825, 2010.

KUNRATH, T. R. **Impactos da altura de manejo do pasto em sistemas de integração lavoura-pecuária**. 2011. 117p. Dissertação (Mestrado) – Programa

de Pós-Graduação em Zootecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

KUNRATH, T. R. et al. Management targets for continuously stocked mixed oat x annual ryegrass pasture in a no-till integrated crop-livestock system. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 57, p. 71–76, 2014.

KUNRATH, T. R. et al. Grazing management in an integrated crop-livestock system: Soybean development and grain yield. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 46, n. 3, p. 645–653, 2015.

LATAWIEC, A. E. et al. Intensification of cattle ranching production systems: socioeconomic and environmental synergies and risks in Brazil. **Animal**, Cambridge, v. 8, n. 8, p. 1255–1263, 2014.

LEMAIRE, G. et al. Integrated crop-livestock systems: Strategies to achieve synergy between agricultural production and environmental quality. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 190, p. 4–8, 2014.

LIN, Y. et al. Grazing intensity affected spatial patterns of vegetation and soil fertility in a desert steppe. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 138, n. 3–4, p. 282–292, 2010.

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

MAIA, S. M. F. et al. Contrasting approaches for estimating soil carbon changes in Amazon and Cerrado biomes. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 133, p. 75–84, 2013.

MARTIN, G. et al. Crop-livestock integration beyond the farm level: a review. **Agronomy for Sustainable Development**, Paris, v. 36, n. 3, 2016.

MARTINS, A. P. et al. Soil acidification and basic cation use efficiency in an integrated no-till crop-livestock system under different grazing intensities. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 195, p. 18–28, 2014a.

MARTINS, A. P. et al. Amelioration of soil acidity and soybean yield after surface lime reapplication to a long-term no-till integrated crop-livestock system under varying grazing intensities. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 144, p. 141–149, 2014b.

MARTINS, A. P. et al. Soil moisture and soybean physiology affected by drought in an integrated crop-livestock system. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 51, n. 8, p. 978–989, 2016.

MEZZALIRA, J. C. et al. Behavioural mechanisms of intake rate by heifers

grazing swards of contrasting structures. **Applied Animal Behaviour Science**, Madison, v. 153, p. 1–9, 2014.

MORAES, A. DE et al. Integração lavoura-pecuária no Sul do Brasil. In: MELLO, N. A.; ASSMANN, T. S. (Ed.). **Integração lavoura-pecuária no Sul do Brasil**. Pato Branco: CEFET, 2002. p. 3–60.

MORAES, A. DE et al. Integrated crop-livestock systems in the Brazilian subtropics. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 57, p. 4–9, 2014a.

MORAES, A. DE et al. Research on integrated crop-livestock systems in Brazil. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 45, n. 5, p. 1024–1031, 2014b.

MORAINE, M. et al. Farming system design for innovative crop-livestock integration in Europe. **Animal**, Cambridge, v. 8, n. 8, p. 1204–1217, 2014.

MORAINE, M.; DURU, M.; THEROND, O. A social-ecological framework for analyzing and designing integrated crop–livestock systems from farm to territory levels. **Renewable Agriculture and Food Systems**, Cambridge, v. 32, n. 1, p. 1–14, 2016.

MUNDSTOCK, C. M.; THOMAS, A. L. **Soja**: fatores que afetam o crescimento e o rendimento de grãos. Porto Alegre: Evangraf, 2005. 31 p.

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.

NIE, Z. et al. Benefits, challenges and opportunities of integrated crop-livestock systems and their potential application in the high rainfall zone of southern Australia: A review. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 235, p. 17–31, 2016.

NUNES, B.; BENNETT, D.; MARQUES, S. Sustainable agricultural production: An investigation in Brazilian semi-arid livestock farms. **Journal of Cleaner Production**, Gotemburgo, v. 64, p. 414–425, 2014.

NUNES, P. A. DE A. **Como a intensidade de pastejo determina a heterogeneidade espacial da vegetação e suas implicações em um sistema integrado de produção agropecuária**. 2016. 87p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

PARIZ, C. M. et al. Production, nutrient cycling and soil compaction to grazing of grass companion cropping with corn and soybean. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordecht, 2017.

PEYRAUD, J. L.; TABOADA, M.; DELABY, L. Integrated crop and livestock systems in Western Europe and South America: a review. **European Journal**

of **Agronomy**, Amsterdam, v. 57, p. 31–42, 2014.

PIRES, J. L. F.; CUNHA, G. R.; THOMAS, A. L. Fatores promotores de rendimento em modelos de produção para soja. In: SANTOS, H. P. et al. (Ed.). **Eficiência de soja cultivada em modelos de produção sob sistema plantio direto**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2005. p. 36–80.

POCCARD-CHAPUIS, R. et al. Landscape characterization of integrated crop–livestock systems in three case studies of the tropics. **Renewable Agriculture and Food Systems**, Cambridge, v. 29, n. 3, p. 218–229, 2014.

PRETTY, J. Agricultural sustainability: concepts, principles and evidence. **Philosophical transactions of the Royal Society B**, London, v. 363, n. 1491, p. 447–465, 2008.

PROBST, A. H.; JUDD, R. W. Origin, U.S. history and development, and world distribution. In: CALDWELL, B. E. (Ed.). **Soybeans**: improvement, production, and uses. Madison: American Society of Agronomy, 1973. p. 1–15.

QIU, L.; CHANG, R. The origin and history of soybean. In: SINGH, G. (Ed.). **The soybeans**: botany, production and uses. Ludhiana: CAB International, 2010. p. 1–23.

REDE DE FOMENTO ILPF. **ILPF em números**. 2016. (Folheto). Disponível em: < <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/158636/1/2016-cpam-ilpf-em-numeros.pdf>>. Acesso em: 27 mar. 2017.

REGAN, J. T. et al. Does the recoupling of dairy and crop production via cooperation between farms generate environmental benefits? A case-study approach in Europe. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, p. 1–15, 2015.

RUSSELLE, M. P.; ENTZ, M. H.; FRANZLUEBBERS, A. J. Reconsidering integrated crop-livestock systems in North America. **Agronomy Journal**, Madison, v. 99, n. 2, p. 325–334, 2007.

RYSCHAWY, J. et al. Paths to last in mixed crop-livestock farming: lessons from an assessment of farm trajectories of change. **Animal**, Cambridge, v. 1970, n. 2013, p. 1–9, 2012.

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

SALTON, J. C.; CARVALHO, P. C. D. F. **Heterogeneidade da pastagem - causas e consequências**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2007.

SANDERSON, M. A. et al. Diversification and ecosystem services for conservation agriculture: Outcomes from pastures and integrated crop–livestock systems. **Renewable Agriculture and Food Systems**, Cambridge, v. 28, n. 2, p. 129–144, 2013.

SANTOS, H. P. et al. Rendimento de grãos de soja em diferentes sistemas de produção integração lavoura-pecuária. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 8, n. 1, p. 49–56, 2013.

SARTOR, L. R. et al. Effect of swine residue rates on corn, common bean, soybean and wheat yield. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 2, p. 661–669, 2012.

SCHIERE, J. B.; IBRAHIM, M. N. M.; VAN KEULEN, H. The role of livestock for sustainability in mixed farming: Criteria and scenario studies under varying resource allocation. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 90, n. 2, p. 139–153, 2002.

SCHUSTER, M. Z. et al. Grazing intensities affect weed seedling emergence and the seed bank in an integrated crop-livestock system. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 232, p. 232–239, 2016.

SILVA, F. D. et al. Pasture grazing intensity and presence or absence of cattle dung input and its relationships to soybean nutrition and yield in integrated crop-livestock systems under no-till. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 57, p. 84–91, 2014.

SILVA, D.F.F. **A altura que maximiza a taxa de ingestão em pastos de azevém anual (*Lolium multiflorum* Lam.) é afetada pela existência de palhada quando o método de estabelecimento é em semeadura direta?** 2013. 74 p. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

SILVA, J. G. DA; RUVIARO, C. F.; FERREIRA FILHO, J. B. DE S. Livestock intensification as a climate policy: Lessons from the Brazilian case. **Land Use Policy**, Oxford, v. 62, p. 232–245, 2017.

STAVI, I.; BEL, G.; ZAADY, E. Soil functions and ecosystem services in conventional, conservation, and integrated agricultural systems. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, Paris, v. 36, n. 2, p. 32, 2016.

SUJATHA, S.; BHAT, R. Resource use and benefits of mixed farming approach in arecanut ecosystem in India. **Agricultural Systems**, Essex, v. 141, p. 126–137, 2015.

SULC, R. M.; FRANZLUEBBERS, A. J. Exploring integrated crop-livestock systems in different ecoregions of the United States. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 57, p. 21–30, 2014.

SULC, R. M.; TRACY, B. F. Integrated crop-livestock systems in the U.S. corn belt. **Agronomy Journal**, Madison, v. 99, n. 2, p. 335–345, 2007.

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.

THOMPSON, P. B.; NARDONE, A. Sustainable livestock production: Methodological and ethical challenges. **Livestock Production Science**, Shannon, v. 61, n. 2–3, p. 111–119, 1999.

TILMAN, D. et al. Diversity and productivity in a long-term grassland experiment. **Science**, New York, v. 294, n. 5543, p. 843–845, 2001.

TILMAN, D. et al. Agricultural sustainability and intensive production practices. **Nature**, London, v. 418, n. 6898, p. 671–677, 8 ago. 2002.

WHITEHEAD, D. C. (Ed.). **Nutrient elements in grassland: soil-plant-animal relationships**. Devon: CAB International, 2000.

WILKINS, R. J. Eco-efficient approaches to land management: a case for increased integration of crop and animal production systems. **Philosophical transactions of the Royal Society B**, London, v. 363, n. 1491, p. 517–25, 2008.

WU, W.; MA, B. Integrated nutrient management (INM) for sustaining crop productivity and reducing environmental impact: A review. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 512–513, p. 415–427, 2015.

6. VITA

Luis Augusto Martins Caetano, filho de Conceição Alzira Martins Caetano e Jose Luiz Caetano, nasceu no dia 19 de julho de 1986, em Roque Gonzales, no Rio Grande do Sul. cursou o ensino fundamental e médio na Escola Estadual de Educação Básica Érico Veríssimo, em Roque Gonzales, onde concluiu seus estudos no ano de 2003. Em 2006, ingressou no Curso Superior de Tecnologia em Agropecuária: Sistemas de Produção na Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (UERGS), unidade de São Luis Gonzaga, com conclusão em 2009. Em 2011 ingressou no curso de Agronomia na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Iniciou a atividade de bolsista de extensão, na gênese do solo, Departamento de Solos – UFRGS, sob orientação do professor Paulo César do Nascimento. Na sequência ingressou como bolsista CNPq de iniciação científica, no Grupo de Pesquisa em Ecologia do Pastejo (GPEP), sob orientação do professor Paulo César de Faccio Carvalho, Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia – UFRGS, atuando principalmente na temática de sistemas integrados de produção agropecuária. Realizou o estágio final de curso na Agropecuária Fazenda Brasil, Barra do Garças – MT, vivenciando a temática produtiva sobre sistemas integrados a nível de fazenda. Em abril de 2015, deu início ao curso de Mestrado em Zootecnia na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), sob orientação do Prof. Paulo César de Faccio Carvalho. Formou-se Engenheiro Agrônomo em agosto desse mesmo ano. Foi submetido a banca de examinadora no curso de Mestrado em março de 2017.