

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

ESTUDO DE LONGA DURAÇÃO EM SISTEMA INTEGRADO DE PRODUÇÃO  
AGROPECUÁRIA: EXPLORANDO RELAÇÕES PLANTA-ANIMAL NA FASE  
PASTAGEM

FERNANDA GOMES MOOJEN  
Engenheira Agrônoma/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

Gomes Moojen, Fernanda  
Estudo de longa duração em Sistema Integrado de  
Produção Agropecuária: Explorando relações planta-  
animal na fase pastagem / Fernanda Gomes Moojen. --  
2017.  
71 f.

Orientadora: Carolina Bremm.  
Coorientador: Paulo César de Faccio Carvalho.

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

1. desempenho animal. 2. estrutura do pasto. 3.  
intensidade de pastejo. 4. método de pastoreio. I.  
Bremm, Carolina, orient. II. de Faccio Carvalho,  
Paulo César, coorient. III. Título.

FERNANDA GOMES MOOJEN  
Engenheira Agrônoma

## 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: 31.03.2017  
Pela Banca Examinadora

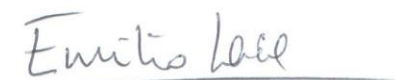
Homologado em: 17.05.2017  
Por


  
CAROLINA BREMM  
PPG Zootecnia/UFRGS  
Orientadora

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

  
CARLOS NABINGER  
PPG Zootecnia/UFRGS

  
TIAGO CELSO BALDISSERA  
EPAGRI/SC

  
EMILIO A. LACA  
UC Davis / EUA

  
CARLOS ALBERTO BISSANI  
Diretor da Faculdade de Agronomia

*A minha mãe e minha vó, por todo amor.*  
**Dedico.**

## AGRADECIMENTOS

Sou imensamente grata à todas as pessoas que fizeram estes dois anos de mestrado incríveis! Agradeço de coração a:

Deus, por ter me acompanhado e colocado seus anjinhos tão próximos de mim diariamente!!!

Meus orientadores, por serem exemplo! E, pelo exemplo, aprendi muito! Por me exporem a oportunidades pelas quais aprendia mais ainda, desde participar da organização de eventos científicos e técnicos, passando pela experiência de liderança na condução de um protocolo experimental tão robusto do ponto de vista científico e desafiador do ponto de vista operacional, viagens, discussões, reflexões, leituras, e-mails, reuniões e happy hours ético-científicos. **Minha gratidão a vocês Carol e Paulo!!!**

Meus pais, pelo amor e apoio!! É uma honra ter me tornado colega de profissão e em breve na área de concentração do mestrado!! Seus lindos, vocês me inspiram diariamente na vida e na carreira!! Minha eterna gratidão!! Obrigada por estarem comigo sempre!! Pai, vous serez toujours dans mon coeur! **Amo muito vocês!!!**

Amanda, Dena, Ricardo, Thiago, Carmona, Alejandra, Dani, Raquel, Armindo e a todos os demais integrantes do GPEP e GPSIPA pela convivência!! Vocês me ensinaram muito!!! Cada dia, cada coleta, cada aula, cada reunião, cada festa foi incrível!! Meu carinho aos “colegas dos solos” por me receberem de forma tão intensa no início do mestrado!! Também ao Davi, Paulinho, Tibico, João e Lídia por me proporcionarem outros desafios, como levar o conhecimento científico ao campo em “tempo real”. É muito gratificante poder participar desta engrenagem com vocês!!

Professores, por repartir seu conhecimento, despertar a curiosidade e proporcionar inúmeras oportunidades. Minha gratidão ao prof. Júlio Barcellos pelos quatro anos de iniciação científica que contribuíram muito em minha opção pelo mestrado. Aos professores Anibal e Nabinger por compartilharem seus conhecimentos forrageiros, pelo incentivo e amizade.

Instituição UFRGS, ao CNPq pela bolsa concedida, e a todos que contribuíram nas engrenagens da pós-graduação!

Sou grata de forma especial ao Thomaz B., Carla M., Davi T., Dani M., Debora R., Amanda P., Luiz Gustavo D., Juliana V., Paulinho C., Helena C., Seu Vilmar, Dona Ana, Mariah M., prof. Bia, minha mãe e aos meus orientadores, pela parceria, presença e apoio no momento mais desafiador do meu mestrado que foram os últimos meses de convivência tão próxima fisicamente com meu pai. Obrigada por transformarem este momento em algo leve e reflexivo!

## ESTUDO DE LONGA DURAÇÃO EM SISTEMA INTEGRADO DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA: EXPLORANDO RELAÇÕES PLANTA-ANIMAL NA FASE PASTAGEM<sup>1</sup>

Autora: Fernanda Gomes Moojen

Orientadora: Carolina Bremm

Co-orientador: Paulo César de Faccio Carvalho

**Resumo** – Diversificação e rotação de culturas aliado ao cultivo sem revolvimento do solo com inserção de produção animal é uma alternativa desejável aos sistemas de produção em monocultivos intensivos. Neste sentido, o Sistema Integrado de Produção Agropecuária representa uma forma particular de produção de alimentos de forma sustentável. No entanto, a produção animal na fase pastagem adiciona mais complexidade ao sistema e requer um adequado manejo. Nesse contexto, o presente estudo buscou explorar as relações planta-animal da fase pastagem de um Sistema Integrado de Produção Agropecuária no Sul do Brasil. O protocolo experimental foi estabelecido no ano de 2003 e é caracterizado por uma integração entre a fase lavoura, com soja (*Glycine max.* (L.) Merr.) e milho (*Zea mays* L.) em rotação, com a fase pastagem, onde são manejados cordeiros em azevém anual (*Lolium multiflorum* Lam.). Na fase pastagem são testadas combinações de métodos de pastoreio (contínuo e rotativo) e intensidades de pastejo (2,5 e 5 vezes o potencial de consumo de matéria seca). Os maiores ganhos médios diários foram encontrados no método de pastoreio contínuo (MP-C) e intensidade de pastejo 5 (IP-5) (0,135 kg versus 0,120 comparando IP-5 X IP-2,5 no MP-C e 0,115 versus 0,105 no método de pastoreio rotativo (MP-R) nas mesmas intensidades respectivamente). No entanto, o método de pastoreio não teve efeito no ganho de peso vivo por hectare e a intensidade de pastoreio 5 resultou em menor desempenho por área (307 kg versus 387 comparando IP-5 versus IP-2,5). A base de dados também foi analisada pela construção de árvores da decisão para relacionar as variáveis do pasto com os desempenhos. Foram construídas árvores da decisão para: i) ganho de peso vivo por hectare: com coeficiente de determinação ( $R^2$ ) = 0,738 sendo a oferta de forragem e produção total de forragem as principais variáveis para os maiores desempenhos; ii) ganho médio diário: com  $R^2$  = 0,547 foi observado altura do pasto como o fator de maior influência. Assim, dependendo dos objetivos, se é aumentar o desempenho individual ou por área, isto implica em diferentes estratégias de combinações de manejo do dossel. Os resultados deste estudo demonstram a oportunidade potencial oferecida pela produção animal em sistemas integrados para diversificar o uso da terra e ainda promover maior eficiência de produção

**Palavras-chave:** desempenho animal, estrutura do pasto, intensidade de pastejo, *Lolium multiflorum* Lam., método de pastoreio

<sup>1</sup>Dissertação de Mestrado em Zootecnia – Plantas forrageiras, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil. (71p.) Março, 2017.

## A LONG-TERM STUDY IN AN INTEGRATED CROP-LIVESTOCK SYSTEM: EXPLORING PLANT-ANIMAL RELATIONS IN THE PASTURE PHASE<sup>1</sup>

Author: Fernanda Gomes Moojen

Advisor: Carolina Bremm

Co-advisor: Paulo César de Faccio Carvalho

**Abstract** – Crop diversification integrated with no till and with livestock production can be a desirable alternative to intensive monoculture production systems. In this way, Integrated Crop-Livestock System plays a unique form of food production sustainable. However, livestock in a pasture phase add more complexity to the system that requires proper pasture management. In this context, the present study aimed to explore plant-animal relationships of the pasture phase in an Integrated Crop-Livestock System in southern Brazil. The experimental protocol was established in the year of 2003 and is composed by the integration of a crop phase, with soybean (*Glycine max.* (L.) Merr.) and maize (*Zea mays* L.) in rotation with a pasture phase, when lambs were managed in Italian ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.). In the pasture phase was tested combinations of stocking methods (continuous and rotational) and grazing intensities (2.5 and 5 times the potential daily dry matter intake). The results showed that higher average daily gain is found in stocking method continuous (SM-C) and in grazing intensity 5 (GI 5) (0.135 g versus 0.120 comparing GI-5 X GI-2.5 in SM-C and 0.115 versus 0.105 in stocking method rotational (SM-R)). However, stocking method had no effect on live weight gain per hectare and grazing intensity 5.0 resulted lower performance by area (307 kg versus 387 comparing GI-5 versus GI-2,5). The data was also analyzed by the decision trees built in order to relate the variables of sward with animal performance. Decision tree were built for: i) live weight gain per hectare: had a Coefficient of Determination ( $R^2$ ) of 0.738, where herbage allowance and total herbage production were found as the main variables influencing the higher animal performance; ii) average daily gain: with  $R^2 = 0.547$  was observed that sward height was the most significant factor influencing. Thereby, depending of the goals, if it's improve individual response or production per area, it implies in different combinations of sward management strategies. The results of this study support the potential opportunity offered by animal production in Integrated Crop-Livestock System to diversify land use while promoting greater production efficiency.

**Keywords:** animal performance, grazing intensity, *Lolium multiflorum* Lam., stocking method, sward structure

---

<sup>1</sup>Master of Science dissertation in Forage Science – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil. (71p.) March, 2017.

## SUMÁRIO

1	CAPÍTULO I .....	13
1.1	INTRODUÇÃO .....	14
1.2	HIPÓTESE DE ESTUDO .....	16
1.3	OBJETIVOS GERAIS.....	17
1.3.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	17
1.4	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	18
1.4.1	Sistema Integrado de Produção Agropecuária para intensificação sustentável da produção .....	18
1.4.2	SIPA no Sul do Brasil.....	19
1.4.3	SIPA: a presença do componente animal .....	20
1.4.4	Sistemas integrados com ovinocultura.....	21
1.4.5	A fase pastagem com uso de azevém anual em um SIPA .....	21
1.4.6	Métodos de pastoreio, intensidades de pastejo e estrutura do pasto: relações e combinações .....	22
1.4.7	Análise de dados por meio de árvore da decisão .....	24
1.4.8	Modelo conceitual .....	25
2	CAPÍTULO II .....	27
2.1	INTRODUCTION .....	29
2.1	MATERIALS AND METHODS .....	30
2.2.1	EXPERIMENTAL SITE .....	30
2.2.2	EXPERIMENTAL DESIGN .....	31
2.2.3	PASTURE PHASE .....	31
2.2.4	PASTURE MEASUREMENTS.....	32
2.2.5	ANIMAL MEASUREMENTS.....	33
2.2.6	DATA ANALYSIS.....	33
2.2	RESULTS.....	34
2.2.1	SWARD MEASUREMENTS .....	35
2.3.2	ANIMAL MEASUREMENTS.....	36
2.3.3	DECISION TREE MODELS .....	37
2.3.3.1	INDIVIDUAL ANIMAL PERFORMANCE .....	37
2.3.3.2	ANIMAL PERFORMANCE BY AREA .....	38
2.4	DISCUSSION .....	39
2.4.2	DECISION TREES.....	41
2.5	CONCLUSIONS.....	43
2.6	LITERATURE CITED .....	44
3	CAPÍTULO III .....	49
3.1	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	50
4	REFERÊNCIAS.....	52
5	APÊNDICES.....	58
6	VITA.....	71



## RELAÇÃO DE TABELAS

<b>CAPÍTULO II</b>	<b>Estudo de longa duração em Sistema Integrado De Produção Agropecuária: explorando relações planta-animal na fase pastagem</b>	
Tabela 1	Start and end dates, grazing duration and number of grazing cycles by year. Data from a long-term experiment with different stocking methods and grazing intensities.....	31
Tabela 2	Sward measurements under two grazing intensities and stocking methods in Italian Ryegrass pasture.....	36
Tabela 3	Animal performance of lambs under two grazing intensities and stocking methods in Italian Ryegrass pasture (n=128).....	37

## RELAÇÃO DE FIGURAS

### CAPÍTULO I Introdução e Revisão Bibliográfica

- Figura 1 Modelo conceitual da produção da fase pastagem de um sistema integrado de produção agropecuária entre lavouras de soja e milho com azevém anual pastejado por ovinos. Variáveis em amarelo não foram estudadas nesta dissertação de mestrado..... 26

### CAPÍTULO II Estudo de longa duração em Sistema Integrado De Produção Agropecuária: explorando relações planta-animal na fase pastagem

- Figura 1 Monthly precipitation and temperature means during the years of the study (2003-2016) versus 40 years of climatic records (between 1970 and 2009). Data from the meteorological station, located 800 m from the experiment 31

- Figura 2 Decision tree model for average daily gain ( $\text{g animal}^{-1} \text{ day}^{-1}$ ). Each rectangular box contains an input variable and a split-point. Predicted ADG is below the split-point, with the respective mean  $\pm$  standard deviation. Herbage allowance is in units of  $\text{kg DM } 100 \text{ kg LW}^{-1} \text{ day}^{-1}$ ; sward Height is in cm. DM=dry matter; LW=live weight..... 38

- Figura 3 Decision tree model for live weight gain per hectare ( $\text{kg LW ha}^{-1}$ ). Each rectangular box contains an input variable and a split-point. Predicted LWGH is below the split-point, with the respective mean  $\pm$  standard deviation. Herbage mass is in units of  $\text{kg DM ha}^{-1}$ ; herbage allowance is in  $\text{kg DM } 100 \text{ kg LW}^{-1} \text{ day}^{-1}$ ; total herbage production is in  $\text{kg DM ha}^{-1}$ ; sward height is in cm. DM=dry matter; LW=live weight..... 39

- Figura 4 Relations between sward height (cm), herbage mass ( $\text{kg DM ha}^{-1}$ ) and average daily gain ( $\text{kg LW}$ ) of grazing lambs on Italian ryegrass..... 40

- Figura 5 Relations between sward height (cm), herbage allowance ( $\text{kg DM } 100 \text{ kg LW}^{-1} \text{ day}^{-1}$ ) and average daily gain ( $\text{kg LW}$ ) of grazing lambs on Italian ryegrass..... 41

- Figura 6 Relations between herbage allowance ( $\text{kg DM } 100 \text{ kg LW}^{-1} \text{ day}^{-1}$ ), total herbage production ( $\text{kg DM ha}^{-1}$ ) and live weight gain per hectare ( $\text{kg LW ha}^{-1}$ ) of grazing lambs on Italian ryegrass..... 41

## RELAÇÃO DE APÊNDICES

<b>Apêndice 1</b>	Normas para elaboração e submissão de trabalhos científicos à revista Agriculture, Ecosystems & Environment.....	61
-------------------	--	----

**RELAÇÃO DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS**

ADG	average daily gain
ANOVA	analysis of variance
AR	daily accumulation rate
asl	above sea level
cm	centímetro
DM	dry matter
EU	experimental unit
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
g	grama
GI	grazing intensities
ha	hectares
HA	herbage allowance
HM	herbage mass
ICLS	Integrated Crop-Livestock System
K <sub>2</sub> O	potassium oxide
kg	quilogramas
LW	live weight
LWGH	live weight gain per hectare
m	metros
mm	milímetros
N	nitrogen
NA	number of animals
°C	graus celsius
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	diphosphorus pentoxide
PP	pasture phase
SH	sward height
SIPA	Sistema Integrado de Produção Agropecuária
SM	stocking method
SR	stocking rate
STIR	short-term herbage intake rate
T	tonelada
THP	total herbage production

# 1 CAPÍTULO I

## 1.1 INTRODUÇÃO

O Sistema Integrado de Produção Agropecuária (SIPA)<sup>1</sup> é um sistema planejado de forma espacial e temporal com intenção de se obter uma melhor exploração dos sinergismos entre seus componentes, onde o todo é maior que a soma das partes (FAO, 2010; Carvalho & Moraes, 2011). A fim de que este benefício potencial seja expressado, é necessário que haja adequado planejamento entre o arranjo e o manejo dos componentes do SIPA. A diversificação de culturas e o efeito do componente animal são elementos necessários nos SIPAs e servem como uma alternativa importante para a produção em monocultivo, o que, apesar da baixa eficiência do uso de insumos (Lemaire et al., 2014), é prática comum no subtropical americano e em outras regiões do mundo (Franzluebbbers et al., 2014; Moraine et al., 2014). Assim, o SIPA apresenta-se como alternativa de produção com caráter de intensificação sustentável capaz de atender à crescente demanda mundial de alimentos (Ryschawy et al., 2012). Este caráter sustentável foi reconhecido pela Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) em 2010 e está relacionado ao uso mais eficiente dos recursos. Esta é essencial para que sistemas intensivos de produção agrícola reduzam seu impacto de degradação ambiental, concomitantemente com uma adaptação às mudanças climáticas (De Moraes et al., 2014).

Neste contexto, surgem demandas de estudos em relação a melhor exploração das interações e relações sinérgicas entre os compartimentos envolvidos em SIPA, bem como das propriedades emergentes originadas destas interações (Carvalho & Moraes, 2011). O componente animal em um SIPA pode ocupar a fase pastagem entre cultivos de grãos, aumentando a complexidade do sistema, uma vez que requer um manejo adequado da pastagem a fim de não comprometer o resultado produtivo dos demais componentes do sistema. Sendo o manejo da pastagem adequado, é possível ter-se propriedades emergentes resultantes da interação entre as culturas e a produção animal (Anghinoni et al., 2013). O desafio consiste então em ter-se metas de manejo baseadas neste cenário de produção, sendo que na literatura são poucos os estudos de longo prazo com uma abordagem holística que permitem o entendimento do manejo da pastagem em SIPA.

Definições de intensidades de pastejo, método de pastoreio e suas interações para um manejo adequado da fase pastagem são questões cujo desafio na concepção dos estudos relaciona-se às necessidades de comparações apropriadas entre elas, com uma abordagem tanto do desempenho individual quanto por área. A intensidade de pastejo que corresponde à quantidade de alimento em relação à quantidade de animais por unidade de área é um fator estudado sob diversas perspectivas, ora priorizando a produção vegetal ou animal, ora buscando eficiências de colheita ou de aproveitamento dos recursos. Já os métodos de pastoreio constituem uma interferência antrópica na distribuição espaço-temporal dentro de um sistema de pastejo (Laca, 2009), sendo muitos dos resultados de comparações entre métodos inconsistentes por terem seus efeitos confundidos com taxas de

---

<sup>1</sup> Denominação proposta por Carvalho e colaboradores (2014), baseada na terminologia adotada pela Food and Agriculture Organization of the United Nations como referência.

lotações, além de poucos serem replicados por um número maior de anos. Portanto, ainda não há um consenso na literatura científica em relação a este tópico (Derner et al., 2007; Briske et al., 2008).

Neste contexto, a presente dissertação é fundamentada nas relações planta-animal de um experimento de longa duração manejado sob SIPA, sendo composta por três capítulos. No capítulo I encontram-se as hipóteses e objetivos e uma revisão bibliográfica dos assuntos abordados nesta dissertação. No capítulo II, na forma de artigo científico, foi estudada a produção animal na fase pastagem de um SIPA, em diferentes intensidades de pastejo e métodos de pastoreio, objetivando entender os fatores e relações que implicam no desempenho individual e por área a partir de uma série de nove anos de dados. No capítulo III, que corresponde às considerações finais, são apresentados os principais resultados observados e sugestões para trabalhos futuros.

## **1.2 HIPÓTESE DE ESTUDO**

O presente estudo foi desenvolvido na fase pastagem de um Sistema Integrado de Produção Agropecuária, com base na seguinte hipótese: Distintas estruturas do pasto, geradas por combinações de intensidades de pastejo e métodos de pastoreio, modificam o desempenho animal individual e por área de ovinos em azevém anual.



### **1.3 OBJETIVOS GERAIS**

Os objetivos deste estudo foram: (1) Estudar o efeito de dois métodos de pastoreio e duas intensidades de pastejo, bem como suas interrelações sobre o desempenho de cordeiros na fase pastagem de um Sistema Integrado de Produção Agropecuária; (2) Determinar combinações de valores de atributos do pasto que geram os maiores e menores desempenhos individuais e por área.

#### **1.3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

(1) Determinar, entre as variáveis massa, altura, oferta e produção total de forragem, qual é a variável explicativa de maior importância para os desempenhos animal individual e por área; (2) Estudar como valores de oferta, altura, massa de forragem e produção total de forragem resultam em distintos desempenhos por meio da construção de árvores da decisão; (3) Identificar maiores e menores potenciais de produção animal por meio da análise de uma base de dados consolidada.

## 1.4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 1.4.1 Sistema Integrado de Produção Agropecuária para intensificação sustentável da produção

A integração de culturas de grãos e animais é um conceito reemergente, uma vez que há evidências de seu uso como uma forma comum de produção no período Neolítico (Carvalho et al., 2010). Assim, o ser humano desenvolveu sistemas agrícolas com combinações entre culturas de grãos e produção animal entre 8 e 10 milênios atrás (Halstead, 1996). Porém, em grande parte da Europa, na metade do século 20, o cenário de disponibilidade de fertilizantes, herbicidas e pesticidas sintéticos a preços relativamente baixos, combinado com o elevado preço de comercialização da produção resultou em uma especialização dos arranjos produtivos. Como consequência, houve o surgimento de grandes áreas com baixa densidade de ruminantes e a perda da infraestrutura necessária para o manejo de rebanhos (Wilkins, 2007). A América do Norte também passou por esse processo de especialização no último século (Russelle et al., 2007), sendo que nos Estados Unidos este fato foi evidenciado pela diminuição do número de *commodities* produzidas por fazenda, que caiu de uma média de cinco em 1900 para em torno de um em 2002 (Dimitri et al., 2005). A agricultura brasileira, assim como outros países em desenvolvimento, está seguindo esta mesma tendência mundial de especialização da produção, com alta dependência de insumos e objetivando tetos de produtividade cada vez maiores.

A grande questão está no fato de que este modelo de produção possui impactos negativos no meio ambiente, além de elevado risco financeiro (Ryschawy et al., 2012), e este cenário tenderá a aumentar a insegurança alimentar (De Moraes et al., 2014). Somado a isto, a crescente preocupação com a sustentabilidade a longo prazo aponta ser a hora de reconsiderarmos os benefícios potenciais de Sistemas Integrados de Produção Agropecuária (SIPA) (Russelle et al., 2007). Estes benefícios, como os sinergismos e as propriedades emergentes, são mais intensos quanto maior a temporalidade com que os arranjos se repetem, quanto menor o espaço físico de interação entre os componentes e quanto maior a diversidade das rotações (Anghinoni et al., 2013). Além disso, a adoção de sistemas integrados aliado ao cultivo em plantio direto é uma forma de produção capaz de minimizar a grande maioria dos impactos negativos da agricultura moderna (Carvalho et al., 2010), como diminuição da erosão do solo, aumento no sequestro de carbono e maior eficiência no uso de nutrientes.

A diversificação e integração de culturas possuem um aspecto econômico importante, que é a redução dos custos unitários pelo compartilhamento de recursos (Corrêa, 2014). A diversificação da fonte de receita econômica intrínseca ao SIPA possui potencial de redução de risco com relação às flutuações do mercado (Russelle et al., 2007; Wilkins, 2007). Assim, é importante que na avaliação de seu desempenho sejam considerados tanto valores produtivos, quanto econômicos (de Oliveira et al., 2013). As respostas econômicas deste sistema carecem de uma visão mais holística e de longo prazo, uma vez que muitos dos seus benefícios são incorporados a partir de uma sequência de práticas ao longo dos anos. Além disso, alguns ganhos são de difícil quantificação econômica, como é o caso dos serviços ecossistêmicos

gerados, que teriam um importante papel na redução de custos (De Moraes et al., 2014). Ainda que estes aspectos positivos não sejam contabilizados monetariamente, já existem resultados demonstrando que no SIPA há redução no custo de produção em relação aos sistemas especializados na produção de grãos (Ryschawy et al., 2012) pela complementariedade entre produção de grãos e de animais (Wiklins, 2007).

As restrições para a não adoção da integração são diversas, sendo que Sulc & Tracy (2007) estudaram a temática na região do cinturão do milho nos Estados Unidos e elencaram como principais: 1) a tradição do monocultivo que se tornou modelo de produção vigente na atualidade; 2) maiores necessidades gerenciais e volume de trabalho necessário pela maior complexidade de manejo das áreas sob sistemas integrados; 3) falta de entendimento do sistema produtivo como um todo, pois o desempenho individual dos componentes é mais valorizado por parte dos produtores; 4) falta de incentivos para adoção de sistemas com maior diversidade e que priorizem a conservação do meio ambiente e; 5) existência de programas governamentais que favorecem sistemas de monocultivo de grãos em larga escala. Praticamente os mesmos motivos se aplicam à situação brasileira, com exceção dos altos incentivos governamentais que são dados aos produtores em larga escala nos Estados Unidos (Sulc & Tracy, 2007).

#### **1.4.2 SIPA no Sul do Brasil**

Os principais arranjos produtivos no sul do Brasil, apesar das inúmeras rotações possíveis em um ambiente subtropical (De Moraes et al., 2014), são rotações ou apenas sucessões entre culturas de verão (*Glycine max*, *Zea mays*, *Phaseolus vulgaris* ou *Oryza sativa*) com pastagens anuais de inverno (*Avena strigosa* e/ou *Lolium multiflorum*), ou ainda com campo de sucessão (basicamente encontrado em terras baixas). A área destinada à produção de soja no estado do Rio Grande do Sul é de 5,45 milhões de hectares (safra 2015/16), com uma produtividade média na ordem de 2,86 t ha<sup>-1</sup> (versus 3,1 na média nacional), totalizando aproximadamente 16,1% da produção do país (CONAB, 2016).

Já no caso do milho, o estado do Rio Grande do Sul apresentou uma área cultivada de 823 mil hectares na safra 2015/2016, conforme dados da CONAB (2016), com produção aproximada de 5.931,4 mil toneladas de grãos. A eficiência agrícola da produção destes grãos, dada pela relação entre as produtividades real e atingível, aumentou significativamente nas últimas décadas e, entre os fatores responsáveis por esta melhoria, destacam-se as mudanças no uso e fertilidade do solo, o uso de mecanização agrícola, os maiores preços pagos, o investimento em pesquisa e desenvolvimento, a adoção do zoneamento de risco climático e o melhoramento genético (Battisti et al., 2012).

Ocorre que, na maior parte dos anos, a intensidade e a frequência das chuvas no período de desenvolvimento destas culturas não são suficientes para que as cultivares atinjam seu potencial produtivo (Matzenauer et al., 2003; Bergamaschi et al., 2006). Na soja, pode-se esperar uma redução no rendimento em nove a cada vinte safras (Matzenauer et al., 2003), colocando-se assim o clima como principal fator relacionado às oscilações de produtividade e frustrações da cultura (Melo et al., 2004), com uma estimativa de que 93% das

perdas ocorram em razão das estiagens (Berlato & Fontana, 2003). No milho, pode haver redução de rendimento mesmo em anos climaticamente favoráveis se o déficit hídrico ocorrer na fase crítica, entre a pré-floração e o início do enchimento de grãos (Bergamaschi et al., 2004). O monocultivo da soja tem sido impulsionado pelos altos preços praticados nos últimos anos, porém sua dependência climática traz consigo um grande risco aliado à baixa sustentabilidade em longo prazo. Silva et al. (2012), estudando combinações de uso do solo entre lavouras (soja, milho e trigo) e pastagens (perenes de verão, anuais de inverno consorciadas ou não) com novilhas de leite leves ou pesadas, encontrou taxas internas de retorno na ordem de 1,8% para sistemas apenas agrícolas versus sistemas integrados com 3,6 a 4,8%, sendo maiores com o uso de animais pesados.

### **1.4.3 SIPA: a presença do componente animal**

Em sistemas mais complexos, que incluem a presença de pastagem com o componente animal em áreas agrícolas, além dos animais não prejudicarem a lavoura, sua presença sob pastejo moderado pode melhorar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (Carvalho et al., 2010). De Moraes et al. (2012) revisaram 23 trabalhos no subtropico brasileiro, todos contrastando áreas de rotação com cobertura pastejada e não pastejada, e encontraram efeitos positivos do pastejo no rendimento de grãos (soja, milho, feijão e trigo) na totalidade dos trabalhos que utilizaram pastejo moderado. Outros benefícios, como o aumento do conteúdo de matéria orgânica, aumento da estruturação do solo pela maior estabilidade em água dos agregados (Loss et al., 2011), melhoria da correção do solo em profundidade com o uso de calagem superficial (Flores et al., 2008) e promoção da ciclagem de nutrientes (Salton et al., 2014) também são relatados por trabalhos em que as áreas agrícolas foram pastejadas. É importante ressaltar que estes benefícios do componente animal na fase lavoura dependem de um manejo adequado dos animais no momento em que estiverem na área de integração.

Kunrath et al. (2015) estudaram o impacto da fase pastagem no desempenho de uma lavoura de soja e encontraram aumento no acúmulo de biomassa na ordem de 30% (114 versus 89 kg ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>) em áreas previamente pastejadas com cargas leves a moderadas (20, 30, 40 cm de altura durante o período de pastejo) versus áreas manejadas com cargas maiores (10 cm de altura). Neste mesmo estudo, quando avaliada a produtividade de grãos, a resposta foi linear, sendo que para cada centímetro a mais de pasto foram produzidos mais 13,7 kg de soja por hectare, e as alturas de manejo acima de 20 cm também contribuíram na menor frequência de plantas daninhas. Savian et al. (2014), estudando a fase pastagem em SIPA, encontrou diferenças na produção de metano por ovinos entre métodos de pastoreio, sendo o pastoreio contínuo de 15 a 35% mais eficiente na redução das emissões do que o rotativo, independentemente da intensidade de pastejo, portanto produziu menos gramas de metano emitidas por quilograma de ganho animal por dia).

De Moraes et al. (2014) discutem que a massa de forragem que deve ser utilizada como meta de manejo em SIPA precisa garantir um equilíbrio entre: i) demanda para produção animal (a fim de maximizar sua produção), ii) manejo das culturas de grãos (não impactar ou prejudicar o rendimento das culturas,

assim como aportar palha necessária à manutenção e melhoria do sistema plantio direto e ajudar no controle de plantas não desejáveis) e iii) garantir a evolução do sistema como um todo (que pode ser aferido pelo aumento do carbono no solo e estoques de nitrogênio, por exemplo). Além desta massa de forragem acima do nível do solo a pastagem bem manejada deve cumprir ainda a função de um maior aporte de massa radicular ao sistema.

#### **1.4.4 Sistemas integrados com ovinocultura**

A ovinocultura é uma atividade cuja inserção é muito ampla em relação a matriz fundiária, podendo ser economicamente viável mesmo em menores escalas quando comparada à produção de bovinos, por exemplo, cuja conversão alimentar é menor na mesma fase de crescimento. No estado do Rio Grande do Sul, seu uso pode ser vinculado à adoção de um SIPA em pequenas propriedades, onde os monocultivos de grãos não chegam a ser sustentáveis pelo modelo de produção altamente dependente de tecnologias de insumos e a escala de produção necessária imposta principalmente o modelo de produção de soja. A produção de cordeiros no período entre as culturas de verão, em sistemas com adequado manejo de lotação e adubação, é capaz de proporcionar ganhos superiores a 750 kg de peso vivo por hectare (Barbosa et al., 2007).

O Rio Grande do Sul possui um rebanho ovino efetivo de 3.957.275 cabeças, o que representa 81% do rebanho da região sul do país (IBGE, 2015). Ávila et al. (2013), estudando o cenário produtivo da ovinocultura no estado, encontraram tendências promissoras em relação ao mercado do setor carne relacionado ao aumento do poder aquisitivo e novos hábitos de consumo. Porém, nesta pesquisa também encontraram alguns entraves relacionados à desordem do setor e falta de padronização dos produtos. Portanto, é necessária uma maior organização do setor desde a produção, passando por uma maior capacidade de abate das plantas frigoríficas e maior organização estratégica nos canais de distribuição.

#### **1.4.5 A fase pastagem com uso de azevém anual em um SIPA**

O azevém anual é uma gramínea com rota metabólica C3 e ciclo hiberno-primaveril. Sua qualidade está condicionada ao manejo, o que implica na estrutura do dossel. A relação folha:colmo e altura média de manejo estão relacionadas à qualidade ofertada, uma vez que é encontrado valor médio de 20% de proteína bruta nas folhas versus 10% nos colmos + bainha, além de ser observada uma correlação positiva de celulose (um dos componentes estruturais da parede celular vegetal) com a altura (Barbosa et al., 2007).

O cultivo de azevém anual na fase pastagem de um sistema integrado proporciona a possibilidade de retorno econômico pela produção animal nesta fase que, em geral, permanece em pousio ou apenas com culturas de cobertura. A espécie tem seu destaque em produtores que adotam o SIPA na região subtropical brasileira por seu alto potencial de produção, qualidade nutricional, adaptação e produção de sementes (Fontanelli et al., 2012). É possível seu reestabelecimento durante anos por ressemeadura natural desde que haja aporte anual de sementes, o que pode ser assegurado pelo uso de um pastejo leve a moderado, ainda que os animais permaneçam até o final do ciclo desta forrageira (Barth Neto et al., 2014). Essa capacidade de ressemeadura natural

permite ainda a existência de uma cobertura viva praticamente constante na área de produção, uma vez que o azevém já se encontra germinado e estabelecido na colheita de soja ou milho, promovendo assim maior ciclagem potencial de nutrientes e minimizando perdas desses nutrientes no sistema solo o que é um processo fundamental para caracterizar os sistemas integrados (Anghinoni et al, 2013). O desconhecimento dessa dinâmica faz com que muitos agricultores entendam muitas vezes o azevém como uma planta indesejável ao contexto da lavoura de grãos em específico, o que na visão de SIPA representa um imensurável equívoco.

#### **1.4.6 Métodos de pastoreio, intensidades de pastejo e estrutura do pasto: relações e combinações**

Os métodos de pastoreio são uma organização temporal específica de densidades animais em determinada área de pastagem, dentro de um sistema de pastejo (Laca, 2009). O mesmo autor argumenta que os métodos de pastoreio convencionais (i.e. pastoreio rotativo, pastoreio contínuo e variações dentro deles) exploram as diferenças entre animais em termos de hábito de pastoreio e seletividade, bem como balanço entre demanda e disponibilidade forrageira, mas acabam negligenciando as infinitas combinações possíveis de fatores de manejo, restringindo seu potencial. Entre fatores que poderiam ser explorados estão a sanidade, estresse, critérios para manejo da pastagem comuns a todos os métodos, entre outros.

A comparação entre métodos deve sempre ser feita com cautela a fim de se evitar um viés em função de outros fatores que influenciam o processo de produção animal a pasto. Briske et al. (2008) analisou estudos comparando os métodos de pastoreio rotativo e contínuo em pastagens naturais e encontrou que 50% (19/38) deles não apresentaram diferenças de produção animal, outros 42% dos trabalhos encontraram melhores produções em pastejo contínuo. Concluíram, assim, que os benefícios do pastejo rotativo apresentados pelos artigos que enaltecem ele são inconsistentes e baseados em interpretações equivocadas.

O pastoreio rotacionado promove maior homogeneidade dentro de cada faixa de ocupação e um gradiente de contraste com as demais faixas (Laca, 2009). No método de pastoreio rotativo a relação folha/colmo diminui e a densidade da pastagem aumenta ao longo do período de ocupação de cada faixa, o que diminui a taxa de ingestão (Fonseca et al., 2013) e o volume do bocado (Ungar et al., 2001). Consequentemente, irá limitar o consumo diário de forragem. Os animais tentam compensar com a realização de bocados mais frequentes, porém, em função da seletividade, chega um ponto do rebaixamento em que os animais param de pastejar esperando a troca de faixa (Ribeiro Filho, 2003). Em função da homogeneidade dentro de cada faixa, Dubeux et al. (2014) hipotetizaram que esta prática de manejo que, como o método de pastoreio, altera o comportamento em pastejo dos animais e provavelmente alteraria a distribuição de nutrientes via fezes e urina na pastagem. O experimento foi realizado em uma região quente, onde as condições climáticas explicaram 49% da variação de tempo passado na sombra pelos animais, o que levou a uma diferença maior entre métodos de pastoreio por suas estruturas (circulação da água e sombra na área de pastoreio rotativo versus um único lugar em poteiros

com pastoreio contínuo) do que pela maior intensidade de pastejo instantânea que o pastoreio rotativo impõe. Assim, se houvesse a rotação dessa estrutura dentro de um pastoreio contínuo, seria possível que a distribuição de fezes e urina fosse tão homogênea quanto em pastoreio rotativo em climas quentes.

Barbosa (2011), em um estudo sobre sanidade dos animais, encontrou no pastoreio contínuo em pastagem de azevém quase o dobro do número de larvas de *Haemonchus* spp. e de *Trichostrongylus* spp. em relação ao pastoreio rotacionado. Porém, também mensurou que o risco de infecção neste método foi menor e atribuiu a maior oportunidade de seleção aos animais. Neste trabalho, o período sem pastejo em cada faixa não foi eficiente para o controle da carga parasitária nos animais no pastoreio rotacionado. Ainda, neste método, a seleção do que pode ser pastejado é limitada, assim a área de rejeição ao redor das fezes é reduzida, o que, teoricamente, leva a um maior consumo de larvas infectantes.

Outro fator em que o método de pastoreio também influenciou mais que a intensidade de pastejo foi a produção de metano. Assim como para sanidade, neste caso foram encontradas vantagens para o pastoreio contínuo por ele ter sido o manejo mais eficiente em reduzir a produção de metano por unidade de produção animal (Savian et al., 2014).

Independentemente do método de pastoreio, carga animal e outros fatores de manejo, o processo de pastejo é uma série de bocados dados por um animal em determinado número de plantas (Laca, 2009). Portanto, a interação entre o comportamento animal e a estrutura do pasto são condicionantes do consumo animal frente ao alimento ofertado (Mezzalira et al., 2014).

A intensidade de pastejo é o maior fator de influência no ambiente pastoril por influenciar diretamente a massa de forragem, altura e taxa de acúmulo (Franzluebbers et al., 2013). Wesp et al. (2016), além de encontrar uma relação linear entre as variáveis massa e oferta de forragem, também verificaram relação positiva entre massa residual ao final do ciclo de pastejo e a altura de manejo da pastagem, o que é fundamental em um sistema integrado manejado sob plantio direto (Flores et al., 2007). Além disso, em intensidades de pastejo muito altas há outros prejuízos para o sistema, como maior incidência de plantas invasoras (Lunardi et al., 2008) e o fato de que os animais não atingem em tempo hábil (pela necessidade da semeadura da cultura de verão o pelo final do ciclo do azevém, dependendo do cultivar) o peso mínimo de carcaça e grau de acabamento desejável no abate (Aguinaga et al., 2006).

Porém, é necessário que a altura do pasto não ultrapasse um ponto ótimo, a partir do qual a relação entre altura e taxa de ingestão é invertido (de relação positiva para negativa), o que é atribuído a uma distribuição espaçada do dossel, o que diminui a massa do bocado e aumenta o tempo para manipulação de cada bocado (Mezzalira et al., 2014). Cada bocado é uma escolha que o animal realiza, portanto são milhares de decisões diárias que cada animal tem que fazer (Bailey & Provenza, 2008), assim, um erro no manejo da estrutura do pasto poderá se tornar um erro acumulado ao longo do dia e, em maior escala, do período de pastejo (Shipley, 2007).

Drescher et al. (2006), estudando o efeito da presença de colmos na massa de forragem, testou duas densidades de massa de folhas semelhantes, aumentando a massa de colmos e encontrou uma diminuição na massa do

bocado, taxa de bocados e taxa de ingestão. Portanto, é importante que haja disponibilidade e acessibilidade desta massa de folhas dentro dos horizontes de pastejo para que o animal consiga selecionar (Drescher et al., 2006). Ao manter-se a massa de folhas elevada, tanto será positivo permitir esta seleção por parte do animal, quanto para a forrageira, em função de uma maior área foliar residual para interceptação luminosa (Lemaire & Agnusdei, 2000). Porém, é importante que a altura não ultrapasse a faixa ótima, pois em pastagens altas e maduras as folhas e colmos estão muito próximos e os colmos são uma barreira imposta à massa do bocado (Gordon & Benvenuti, 2006).

Nesse sentido, Azevedo et al. (2014), trabalhando em um SIPA com ovinos pastejando azevém anual, verificou que o consumo de matéria seca aumentou com o aumento da oferta de forragem, independentemente do estágio fenológico da planta. Porém, o consumo de nutrientes só aumentou nos estádios vegetativo e de pré-florescimento onde houve maior presença de componentes morfológicos de alta qualidade (e.g. folhas).

#### **1.4.7 Análise de dados por meio de árvore da decisão**

Árvore da decisão é uma forma de análise de dados capaz de ajudar na predição e investigação do grau de importância de fatores que implicam em um processo produtivo. Além disso, após construídas, são de fácil interpretação e aplicação na prática (Zhang & Tillman, 2007). A análise é mais usada na compreensão de fenômenos do que como um modelo para predição (Vayssières et al., 2000). Neste sentido, seu uso em pesquisas com animais a pasto é de grande valia, uma vez que são inúmeros os fatores que interagem para um desempenho final, seja ele individual ou por área.

Outra vantagem do uso da técnica é a mínima necessidade de preparação dos dados, pois não é necessário que estes apresentem normalidade e é possível o uso de dados ordinais, nominais e intervalos em uma mesma análise. Dados *outliers* também não são um problema, uma vez que geralmente acabam separados em seu próprio “nó”, não afetando o restante da árvore. Isso mostra a robustez deste teste em relação aos *outliers* (Vayssières et al., 2000). Também não há problemas de multicolinearidade quando as variáveis independentes são altamente correlacionadas, o que é um limitante em regressões múltiplas (Zang et al., 2005). Mas alguns cuidados são necessários, como a definição de uma suficiência amostral que irá indicar o momento de parar a “poda” da árvore. Caso contrário, serão geradas combinações até que reste apenas uma amostra por “folha” da árvore, tornando-a complexa e com dados sobre-ajustados. Assim, bancos de dados de experimentos de longa duração tornam-se de grande valia na construção de um modelo robusto, uma vez que possuem número amostral elevado.

Zhang et al. (2005) construíram uma árvore da decisão para prever a produção de forragem em áreas declivosas do norte da Nova Zelândia e concluíram que esta análise foi melhor do que o modelo de regressão com respeito ao ajuste do modelo (metade do quadrado médio do erro do modelo de regressão) e acurácia (a predição do modelo atingiu 90% de acerto, sendo 10,9 pontos percentuais a mais do que a regressão). A principal limitação que atribuíram à árvore da decisão foi sua limitada capacidade de gerar predições contínuas pela sua natureza binária, prejudicando a detecção de pequenas



variações das variáveis de entrada, ainda mais quando essas variáveis possuem ampla variação.

Outro uso desta análise em sistemas pastoris foi relatado por Umstatter et al. (2008), onde o foco foi validar um sensor de inclinação para predição do comportamento ingestivo de ovinos e consideraram o método muito robusto e confiável para diferentes ambientes e condições, com um percentual de acertos acima de 90%. Zhang & Tillman (2007) construíram dois modelos para tomada de decisão em relação a quando aplicar a adubação nitrogenada em uma pastagem, bem como predizer a produção de forragem que será produzida a mais em função desta adubação. Os autores observaram que a árvore da decisão foi melhor do que o uso de regressões (com apenas 69% do quadrado médio do erro da regressão).

#### **1.4.8 Modelo conceitual**

O modelo conceitual do resultado produtivo de um SIPA (Figura 1) composto por uma fase onde é explorado o cultivo de grãos (soja e milho) em sucessão a uma fase pastagem (azevém) foi elaborado com o propósito de relacionar os fatores de produção da fase pastagem ao desempenho individual e por hectare de ovinos. Tanto os fatores climáticos, tais como precipitação pluvial e temperatura do ar, quanto os fatores edáficos, como as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, são condições compartilhadas pelas fases do SIPA. Portanto, seu entendimento é vital para que o planejamento do arranjo produtivo tenha capacidade de expressar seu maior potencial. As fases lavoura e pastagem, além de compartilharem os recursos, interagem entre si. Um importante exemplo é a ciclagem de nutrientes que está relacionada à fertilização, extração de nutrientes, manutenção de cobertura vegetal viva, quantidade de matéria seca, reciclagem por fezes e urina, produção de raízes, entre outros.

O desempenho por área dos animais é resultado do desempenho individual diário multiplicado pelo número de animais. Portanto, quanto maior o número de dias em pastejo, maior será o desempenho por área. E um maior período de pastejo é alcançado com uma adequada implantação da pastagem (por semeadura ou ressemeadura natural), a fim de que a data de início do pastejo seja próxima à colheita das culturas de verão. Além disso, é importante haver um manejo adequado de fertilização e ajuste de carga para que os animais fiquem até o último dia possível na pastagem (pré-plantio da próxima safra) sem que haja prejuízos para a cultura de sucessão e para a ressemeadura natural. Além de um período de pastejo prolongado, é preciso uma alta produção de forragem que garanta alta carga animal com elevados ganhos de peso, o que é fruto de uma taxa de acúmulo elevada. Esta é resultado de uma nutrição adequada da forrageira, somado à disponibilidade hídrica, temperatura do ar acima da temperatura base da forrageira (fatores abióticos) e manejo da desfolha por meio do ajuste na oferta de forragem, que conseqüentemente influencia na estrutura do pasto.

O desempenho individual dos animais em pastejo é resultado do seu comportamento ingestivo frente à estrutura do pasto. Assim, tanto o método de pastoreio quanto a intensidade de pastejo são fatores que influenciam diretamente as respostas dos animais. Em relação ao método de pastoreio, essa influência é devida à maior ou menor oportunidade de seleção do material a ser

consumido pelo animal, que sempre que possível, irá selecionar partes mais nutritivas da planta, como as folhas. De forma semelhante, quanto menor a intensidade de pastejo maior será a oportunidade de seleção e, conseqüentemente, maior o ganho médio diário dos animais. A intensidade de pastejo é condicionante da estrutura de pasto (altura, massa e oferta de forragem), o que irá influenciar diretamente o desempenho individual, uma vez que há estruturas onde a taxa de ingestão é maximizada e estas variam conforme a espécie vegetal e o hábito de pastejo do herbívoro utilizado.

Essas relações planta-animal no ambiente de pastejo são fundamentais no desempenho da fase pastagem de sistemas integrados, principal foco deste modelo conceitual proposto para a dissertação de mestrado.

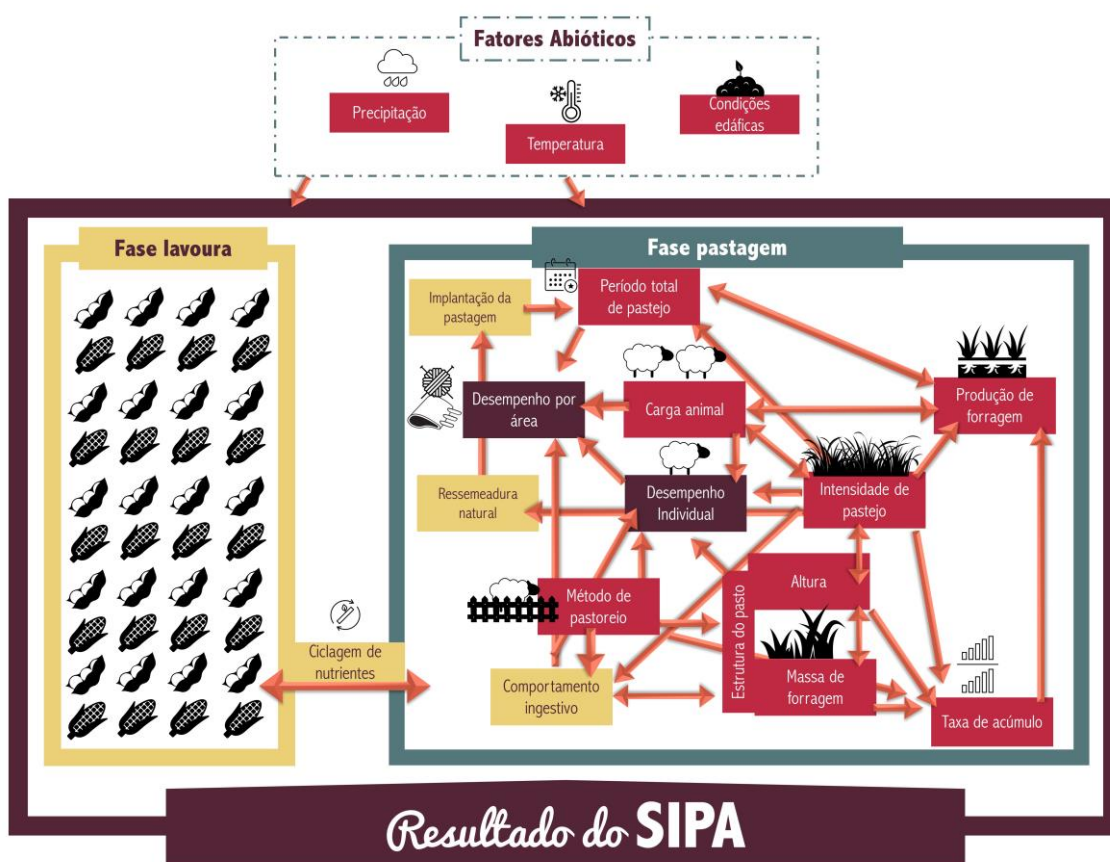


Figura 1. Modelo conceitual da produção da fase pastagem de um sistema integrado de produção agropecuária entre lavouras de soja e milho com azevém anual pastejado por ovinos. Variáveis em amarelo não foram estudadas nesta dissertação.

**2 CAPÍTULO II**  
**EXPLORANDO RELAÇÕES PLANTA-ANIMAL EM PASTAGEM DE**  
**AZEVÉM: UM ESTUDO DE LONGA DURAÇÃO<sup>1</sup>**

---

Artigo elaborado conforme as normas da revista European Journal of Agronomy (Apêndice 1).

## EXPLORING PLANT-ANIMAL RELATIONS IN RYEGRASS PASTURE: A LONG-TERM STUDY

### Abstract

Crop diversification integrated with no-till and livestock production can be a desirable alternative to intensive monoculture production systems. Although integrated crop-livestock system can be more sustainable than traditional cropping systems, the grazing livestock phase adds complexity and requires proper pasture management to avoid reductions in the productivity of either phase. In this context, a long-term experiment was established in Southern Brazil in 2003 to study management targets for the pasture phase of an integrated crop-livestock system. The system integrates a crop phase of soybean (*Glycine max.* (L.) Merr.) and maize (*Zea mays* L.) during the summer in rotation with a pasture phase of Italian ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.) grazed by lambs during the winter. Treatments are a combination of two stocking methods (SM, continuous C and rotational R, and two grazing intensities (GI, 2.5 or 5 times the potential daily dry matter intake by sheep). We evaluated the performance of lambs over nine years. Animals started grazing with an initial weight of  $34.0 \pm 9.6$  kg at  $11.6 \pm 5.1$  months old, and the grazing period was  $99 \pm 20$  days. Higher average daily gain occurred in SM-C and in GI-5 (0.135 g versus 0.120 g GI-5 X GI-2.5 in SM-C and 0.115 g versus 0.105 g GI-5 X GI-2.5 in SM-R;  $P < 0.05$ ). Live weight gain *per* hectare was not different between SM levels, but it was greater in GI-2.5 (307 kg versus 387 kg GI-5 X GI-2.5). A decision tree model for average daily gain suggested that the sward height was the most important factor influencing individual animal production in Italian ryegrass pastures. On the other hand, herbage allowance and total herbage production were more important splitters of live weight gain per hectare. Therefore, the best treatments depended on whether the goal is production per animal or per area. In an integrated crop-livestock system, potential animal production could be even greater when considering the cash crop and the resulting synergisms that can maximize land use efficiency.

### Keywords

Decision tree analysis  
Herbage allowance;  
*Lolium multiflorum* Lam.;  
Pasture management;  
Stocking method;  
Sward Height;

## 2.1 Introduction

Integrated Crop-livestock System (ICLS) is considered a viable path to sustainable intensification of food production (Ryschawy et al., 2012). One of the premises of this system is the deliberate intent to take advantage of synergism among its components (FAO, 2010; Carvalho and Moraes, 2010). To this end, the arrangement and management of ICLS components needs to be well planned. Crop diversification integrated with no-till and livestock production, one of the necessary components in an ICLS, can be a desirable alternative to intensive monoculture production systems, which, despite lower efficiency of input use (Lemaire et al., 2014), are widely used in subtropical America and other regions of the world (Franzluebbers et al., 2014; Moraine et al., 2014).

In an ICLS, a pasture phase with livestock can be used in alternance with annual crops in a pasture phase, lending an additional component of complexity to the system that requires proper pasture management so as not to reduce the productivity of either phase. Proper management promotes synergism and emergent proprieties that result from the interaction between crop and livestock activities (Anghinoni et al., 2013). However, pasture management has been a challenge ever since the domestication of herbivores, and to date very few studies approach the topic with the long-term timeframe and holistic mindset necessary to understand and capitalize on ICLS.

One of the challenges in ICLS research is capturing the intricacies of the grazing process at the animal-vegetation interface (Prache et al., 1998). The animal-vegetation interface can be characterized instantaneously through the herbage allowance (HA), defined as the relationship between herbage mass and animal live weight per unit of area of the land being grazed at any time (Allen et al., 2011). Because HA considers stocking rates not as goals but as consequences of the HA level (Mott, 1960; Jones and Sandland, 1974), it can be a powerful tool to predict performance differences among animals (Sollenberger et al., 2005). Nevertheless, HA does not ensure control of canopy characteristics or structure per se, limiting its use as a target for grazing management (Carvalho et al., 2001; da Silva and Carvalho, 2005). Because sward structure interacts with animal behavior, the ratio between herbage intake and herbage allowance (Mezzalana et al., 2014) must be considered in studies of grazing management.

Further challenges pertain to making comparisons among stocking methods that avoid bias, as well as ensuring that the main drivers of individual performance and performance by unit area are examined with a consistent number of repetitions across time. Both issues are rarely addressed in the current literature.

In this study, we assessed animal production in the pasture phase of an ICLS. Our objective was to evaluate animal performance in Italian ryegrass under different grazing intensities (GI) and stocking methods (SM), and to related performance to vegetation and treatment characteristics using a decision tree approach to data generated over a 9-year period.

## 2.1 Materials and Methods

### 2.2.1 Experimental site

The ICLS experiment was carried out at the Research Station of the Federal University of Rio Grande do Sul, Brazil (lat 30°05′22″S, long 51°39′09″W and 46 m above sea level). The topography of the experimental area is slightly undulating. The soil was classified as a Rhodic Paleudult clay loam soil, with 220, 140 and 640 g kg<sup>-1</sup> of clay, silt and sand, respectively (Soil Survey Staff, 2010). The climate is humid subtropical with hot, humid summers and cool, humid winters (similar to climates found in the southeastern USA), or Cfa according to the Köppen classification (Moreno, 1961). The annual precipitation is on average 1440 mm, which is well distributed throughout the year. Monthly average temperature ranges from 9°C to 25°C (Bergamaschi et al., 2003) characterizing marked seasonality (Fig. 1, data from the meteorological station located 800 m from the experiment).

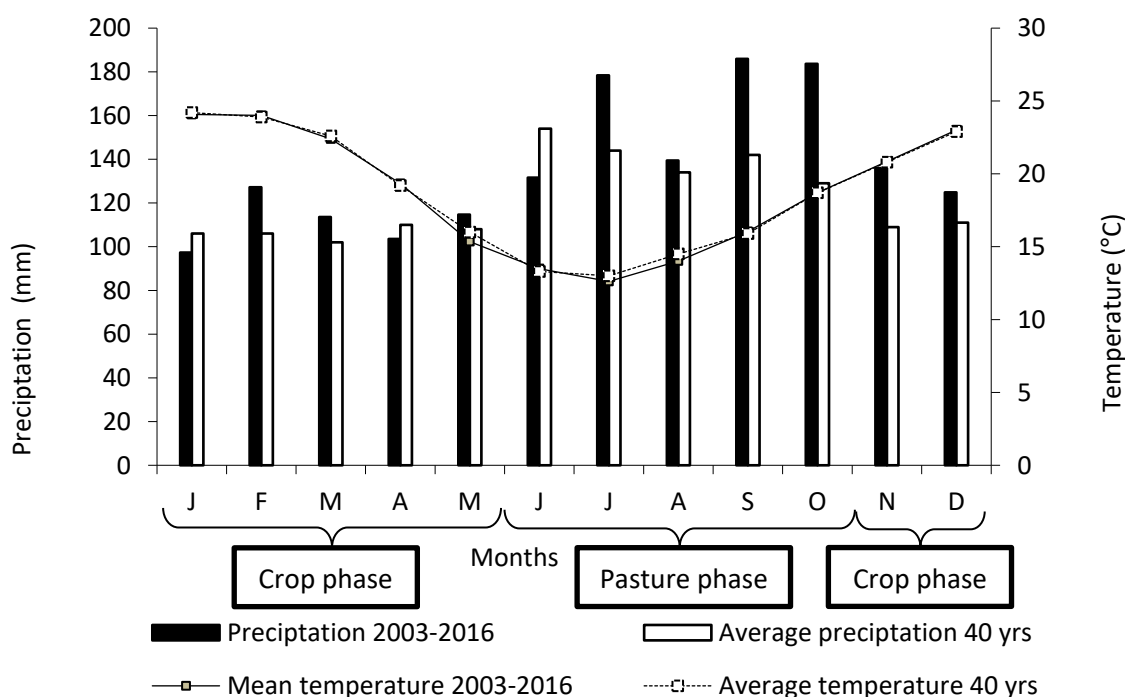


Fig. 1. Monthly precipitation and temperature means during the years of the study (2003-2016) versus 40 years of climatic records (between 1970 and 2009). Data from the meteorological station, located 800 m from the experiment.

### 2.2.2 Experimental design

The experiment was established in 2003 and has been managed as an integrated crop-livestock system that includes a pasture phase with Italian Ryegrass (*Lolium multiflorum* L.) between crop phases, established by sowing in the years 2003, 2004, 2015 and 2016 and by self-seeding in the remaining years. In summer/autumn each paddock was divided into two crop systems: soybean monoculture (*Glycine max.* (L.) Merr.) or an annual rotation with soybean and maize (*Zea mays* L.) in a no-till cropping system. For further details of the experimental design, see Barth Neto et al. (2014).

The experimental design in the pasture phase was a randomized complete block of a 2 x 2 factorial with four replicates (paddocks) per treatment area, totaling 16 experimental units (EU) ranging from 0.23 to 0.41 hectares. The treatments were a combination of two stocking methods (SM, continuous C and rotational R) and two grazing intensities (GI, 2.5 and 5.0 times the potential daily dry matter intake by sheep) that generated the C-2.5, R-2.5, C-5.0 and R-5.0 combinations.

In 2003 lime was applied at a rate of 1 Mg ha<sup>-1</sup> to correct soil acidity in accordance with soil analysis results. During the pasture phase, an average of 142 ± 30 kg nitrogen ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup> was applied in two separate applications (one after the crop was harvested and another one later in the stocking phase), in addition to supplemental fertilization with 10 ± 2, 40 ± 8 and 40 ± 14 kg ha<sup>-1</sup> of N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and K<sub>2</sub>O, respectively applied before animal start grazing. In 2003 and 2004 the crop phase was also fertilized with 400 and 300 kg ha<sup>-1</sup> of 5-20-20 (N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and K<sub>2</sub>O, respectively). In 2009 only the crop phase was fertilized with 400 kg ha<sup>-1</sup> of 5-30-15 N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and K<sub>2</sub>O.

### 2.2.3 Pasture phase

Grazing intensities were determined based on the potential dry matter intake by sheep estimated by the NRC (1985) in 4% of LW, with GI-2.5 equivalent to 2.5 times the potential intake and GI-5 to 5 times. Gibb and Treacher (1976) concluded that, when the daily herbage allowance is not more than 3 times the potential dry matter intake in perennial ryegrass the intake rate may be restricted, therefore GI-2.5 treatment has a small restriction and GI-5 treatment does

not present restriction to animal performance. The predetermined GI was achieved using the *put and take* technique (Mott & Lucas, 1952), with three test animals per EU and a variable number of additional animals to maintain the desired GI.

Leaf life span criteria to manage pasture is a criterion associated to pasture use efficiency (how many days – in thermal time – a leaf remains available to grazing before senescing). So, we used this criterion to determine the interval of each stocking rate adjustment to maintain predefined herbage allowance, and this interval corresponds to stocking cycles.

Grazing cycles for each year were determined by dividing the leaf life span by the local normal daily mean temperature during the pasture phase. In previous experiments in the same location, leaf life span for June to August was determined as  $500^{\circ}\text{C leaf}^{-1}$  and from September to November as  $410^{\circ}\text{C leaf}^{-1}$  (Pontes et al., 2003). In the SM-R, the occupation period ranged between two and three days and the EU was subdivided into strips made by dividing the length by the number of days of each grazing cycle. On the other hand, in SM-C, lambs grazed the entire EU continuously throughout the grazing season. Based on this, the comparison of stocking methods would be on the same canopy condition, avoiding bias.

#### 2.2.4 Pasture measurements

Sward height (SH, cm) was measured from the ground to the highest leaf lamina using a graduated sward stick (Barthram, 1985). From 2003 to 2008, 30 randomized points were measured per EU during each grazing cycle. After 2008 the measurements increased to 150 points to provide a more representative estimation. In total, we collected more than forty thousand measurements between 2003 and 2016.

Herbage mass (HM, kg DM  $\text{ha}^{-1}$ ) for SM-C was determined during each grazing cycle by clipping all aboveground material within six randomly located metal frames (0.5 m x 0.5 m) per EU. For SM-R, HM was determined by clipping aboveground material within two metal frames (0.5 m x 0.5 m) in the second strip at the beginning of the grazing cycle and two in the penultimate strip at the end of the grazing cycle. Combining both SM, over 3,000 samples were clipped during the years analyzed. HM samples were dried at  $60^{\circ}\text{C}$  for 72 h and then weighed to determine the dry matter (DM) content.

To estimate the daily forage accumulation rate (AR, kg DM  $\text{ha}^{-1}$ ) in SM-C, three exclusion grazing cages per EU were used as in Klingman et al. (1943). In SM-R, AR was calculated as the difference between the weights of the three samples cut in the second and penultimate strip, divided by the number of days between the two assessments. The total herbage production



(THP, kg DM ha<sup>-1</sup>) was calculated by summing the cumulative herbage mass at the grazing start date with the AR multiplied by the number of days corresponding to each grazing cycle.

### 2.2.5 Animal measurements

The animals raised in the pasture phase were male lambs of Ile de France, Texel and Suffolk breeds and their crosses of  $34.0 \pm 9.6$  kg initial live weight and  $11.6 \pm 5.1$  months of age. The exception was 2012, when ewes in lactation were used. For this reason, animal performance data for this year were not considered in the analysis so as not to bias the results. During the grazing cycle animals had access to water and mineral salt *ad libitum* and periodic sanitary control. They were weighed at the end of each grazing cycle after fasting from solids and liquids for approximately 12 hours. Average daily gain (ADG, g animal<sup>-1</sup> day<sup>-1</sup>) was measured as the difference between final and initial weights of test animals, divided by the number of days in the grazing cycle. Stocking rate (SR, kg LW ha<sup>-1</sup>) was obtained by summing the average weight of all the animals in each EU multiplied by the number of days that they remained in the pasture. Number of animals (NA, n° ha<sup>-1</sup>) was calculated by dividing the SR by the average weight of all animals (35 kg of LW) as a basis of comparison. Live weight gain per hectare (LWGHA, kg LW ha<sup>-1</sup>) was obtained by multiplying NA by ADG and the number and length of each grazing cycle in each year. Herbage allowance (HA, kg DM 100 kg LW<sup>-1</sup> day<sup>-1</sup>) was calculated in each grazing cycle with the following formula:  $HA = ((HM/n + AR)/SR) * 100$ , where n= length of each cycle in days.

### 2.2.6 Data analysis

Data for the 9-year period were summarized as averages for each EU for each year. Averages were submitted to analysis of variance (ANOVA) at the 5% level of significance. The normality assumption was met according to the Kolmogorov-Smirnov test ( $P > 0.05$ ). The model included SM, GI and their interaction as fixed effects and as random effects year and block. Year was treated as a repeated measure over time as evaluations through the years were performed on the same EU. In the case of significant effects ( $P < 0.05$ ), means were compared by Tukey test ( $P < 0.05$ ). Analyses were performed using the SAS statistical software (version 9.0, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA, 2011).

A decision tree model was developed for ADG and LWGH with JMP software (version 12, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA). Splits were carried out successively until the minimum

observations required in each group was not lower than eight in the LWGH model and six in the ADG model, to achieve representativeness of the data (Vayssières, 2000). Also, overfitting was assessed using 20% of the data for validation. The independent variables used were SH, HM, THP and HA for the construction of the LWGH model and SH, HM and HA for the ADG model.

## 2.2 Results

The grazing duration of the pasture phase in the analyzed years was  $99 \pm 20$  days (Table 1) starting in mid-July and finishing at the end of October. Typically, in the SM-R there were  $3.54 \pm 0.5$  grazing cycles per season of  $27.6 \pm 6.2$  days each, as shown in Table 1.

Table 1. Start and end dates, grazing duration and number of grazing cycles by year. Data from a long term experiment with different stocking methods and grazing intensities.

<sup>a</sup> grazing intensity of 5 kg DM 100 kg LW<sup>-1</sup> day<sup>-1</sup>

Year	Grazing start date	Grazing end date	Grazing duration (days)	Number of				
				grazing cycles	Length of each cycle (days)			
2003	12 Jul	01 Nov	113	4	35	34	24	22
2004	04 Aug <sup>a</sup>	23 Oct <sup>ab</sup>	80 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	35 <sup>a</sup>	24 <sup>a</sup>	21 <sup>a</sup>	
	08 Sep <sup>b</sup>		45 <sup>b</sup>	2 <sup>b</sup>		24 <sup>b</sup>	21 <sup>b</sup>	
2005	09 Jul	02 Nov	117	4	34	42	18	23
2006	02 Aug	12 Nov	102	4	32	26	24	20
2007	20 Aug	05 Nov	77	3	36	21	21	
2010	18 Jun	24 Oct	122	3	36	26	22	
2011	11 Jun	01 Nov	114	4	36	36	28	22
2012*	11 Jul	02 Nov	114	4	36	28	28	22
2015	10 Jul <sup>a</sup>	26 Oct <sup>ab</sup>	108 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	36 <sup>a</sup>	28 <sup>a</sup>	24 <sup>a</sup>	21 <sup>a</sup>
	31 Jul <sup>b</sup>		87 <sup>b</sup>	3 <sup>b</sup>		30 <sup>b</sup>	27 <sup>b</sup>	30 <sup>b</sup>
2016	23 Jul <sup>a</sup>	27 Oct <sup>ab</sup>	96 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	30 <sup>a</sup>	27 <sup>a</sup>	21 <sup>a</sup>	18 <sup>a</sup>
	10 Aug <sup>b</sup>		80 <sup>b</sup>	3 <sup>b</sup>		30 <sup>b</sup>	29 <sup>b</sup>	19 <sup>b</sup>
Mean	18 Jul	30 Oct	101±19	3.5±0.5	35±2	29±6	24±3	22±2

<sup>b</sup> grazing intensity of 2.5 kg DM 100 kg LW<sup>-1</sup> day<sup>-1</sup>

\*year not analyzed due to use of lactating ewes;

2008, 2009, 2013 and 2014 were also managed with this experimental protocol, but had a lack of some information so were not included in this paper as well.

### 2.2.1 Sward measurements

Mean annual sward measurements are presented in Table 2. There was no interaction between grazing intensity and stocking method ( $P > 0.05$ ) for the herbage mass and herbage allowance variables. HM was different among grazing intensities 5.0 and 2.5, at more than three and two tons, respectively, meaning lower grazing intensities had 40% higher HM. HM was about 12% greater in the rotational SM than in continuous. Nonetheless, herbage allowances were affected only by grazing intensities ( $P < 0.001$ ), with GI-5.0 being almost twice that of GI-2.5.

Sward parameters – sward height, accumulation rate and total herbage production – showed an interaction between grazing intensity and stocking method ( $P < 0.05$ ; Table 2). Sward height was greater in grazing intensity 5.0 for both stocking methods, and was lowest for GI-2.5 in the continuous stocking method. Average accumulation rate (one of the components of the total herbage production equation) was  $64.7 \pm 1.6$  kg DM ha<sup>-1</sup>, with significant difference evident only in the SM-C and GI-5 treatment (higher mean accumulation rate). The average total herbage production was greater in GI-5.0 for both stocking methods, with the highest production and accumulation rate in continuous.

Table 2. Sward characteristics under two grazing intensities and stocking methods in Italian Ryegrass pasture.

Variables	SM-Continuous		SM-Rotational		Mean $\pm$ MSE	$P_{gi}$	$P_{sm}$	$P_{gixsm}$
	GI-5.0	GI-2.5	GI-5.0	GI-2.5				
HM	3086.5Ba	2142.5Bb	3355.7Aa	2487.1Ab	2732.5 $\pm$ 74.6	<0.0001	0.0002	0.6219
HA	23.4a	13.2b	23.0a	11.9b	18.1 $\pm$ 0.75	<0.0001	0.2401	0.5390
SH	22.2ab	15.8c	24.1a	20.9b	20.2 $\pm$ 0.52	<0.0001	<0.0001	0.0036
AR	73.3a	58.1b	63.6b	58.0b	64.7 $\pm$ 1.6	<0.0001	0.0344	0.0316
THP	10258.3a	7470.0c	9025.5b	7564.5c	8692.6 $\pm$ 262.4	<0.0001	0.0761	0.0336

Means followed by lowercase letters on line differ by Tukey test ( $P < 0.05$ ). Values followed by different upper-case letters in the row differ significantly by stocking method according to the F

test ( $P < 0.05$ ). Values followed by different lower-case letters in the row differ significantly by grazing intensity according to the F test ( $P < 0.05$ ).

HM=herbage mass ( $\text{kg DM ha}^{-1}$ ); HA= herbage allowance ( $\text{kg DM } 100\text{kg LW}^{-1} \text{ day}^{-1}$ ); AR= daily forage accumulation rate ( $\text{kg DM ha}^{-1}$ ); THP=total herbage production ( $\text{kg DM ha}^{-1}$ ); SH= sward height (cm); DM=dry matter; LW-live weight; MSE-mean standard error;  $P_{\text{gi}}$ - significance level for grazing intensities;  $P_{\text{sm}}$ -significance level for stocking methods;  $P_{\text{gixsm}}$ -significance level for interaction between GI and SM.

### 2.3.2 Animal measurements

The key animal output parameters are shown in Table 3. There was an interaction effect between grazing intensity and stocking method for stocking rate and number of animals ( $P > 0.05$ ). The mean stocking rate was  $1,041.7 \text{ kg LW ha}^{-1}$ , which translates to about 30 animals per hectare. At GI-5.0 the stocking rates were lower than in GI-2.5 to maintain the requisite herbage mass. As the number of animals is a product of stocking rate after dividing by a common average weight, the observed difference was equivalent between these two variables. ADG and LWGHA showed no interaction with GI and SM ( $p > 0.05$ ). Continuous stocking method at grazing intensity 5.0 resulted in the largest individual gains. The LWGHA was highest in GI-2.5 ( $P < 0.0001$ ) regardless of the SM ( $P > 0.05$ ).

Table 3. Animal performance of lambs under two grazing intensities and stocking methods in Italian Ryegrass pasture ( $n=128$ )

Variables	SM-Continuous		SM-Rotational		Mean $\pm$ MSE	$P_{\text{gi}}$	$P_{\text{sm}}$	$P_{\text{gixsm}}$
	GI-5.0	GI-2.5	GI-5.0	GI-2.5				
SR	853.0c	1117.1b	871.6c	1335.8a	1041.7 $\pm$ 31.7	<0.0001	0.0003	0.0018
NA	24c	32b	25c	37a	30 $\pm$ 1	<0.0001	0.0003	0.0016
ADG	0.135aA	0.120bA	0.115aB	0.105bB	0.124 $\pm$ 0.003	0.0022	<0.0001	0.5522
LWGHA	321.0b	374.6a	293.6b	401.6a	366.3 $\pm$ 17.5	<0.0001	0.9909	0.0980

Means followed by lowercase letters on line differ by Tukey test ( $P < 0.05$ ). Values followed by different upper-case letters in the row differ significantly by stocking method according to the F test ( $P < 0.05$ ). Values followed by different lower-case letters in the row differ significantly by grazing intensity according to the F test ( $P < 0.05$ ).

ADG= average daily gain ( $\text{g animal}^{-1}\text{day}^{-1}$ ); SR= stocking rate ( $\text{kg LW ha}^{-1}$ ); NA= number of animals with the equivalent 35 kg ( $\text{n}^{\circ} \text{ha}^{-1}$ ); LWGHA= live weight gain per hectare ( $\text{kg LW ha}^{-1}$ ); DM-dry matter; LW-live weight; MSE-mean standard error;  $P_{\text{gi}}$ - significance level for grazing intensities;  $P_{\text{sm}}$ - significance level for stocking methods;  $P_{\text{gixsm}}$  - significance level for interaction between GI and SM.

### **2.3.3 Decision tree models**

#### **2.3.3.1 Individual animal performance**

Decision tree 1 indicates that ranges of sward height, herbage mass and herbage allowance, arranged hierarchically from top to the bottom, explain 54.7% with error sum of squares 0.0976 (versus 47.5% testing 20% of the data ( $n=25$ ) in K fold and error sum of squares of 0.1130, therefore without overfitting) of the average daily gain ( $R^2$ ; Fig. 2). The first main division (19.41 cm of SH) explained almost half of this model, i.e. 24.8%. The highest ADG ( $0.160 \pm 0.029$ ) was found at SH of no more than 19.41 cm over 2,484 kg of HM. A similar ADG ( $0.152 \pm 0.016$ ) was also found in SH between 19.41 and 28.8 cm in a HA around 21%. On the other hand, the lowest ADG ( $0.071 \pm 0.049$ ) was found at a combination of HA greater than 18.9 kg DM  $100 \text{ kg LW}^{-1} \text{ day}^{-1}$  and sward height greater than 28.8 cm.

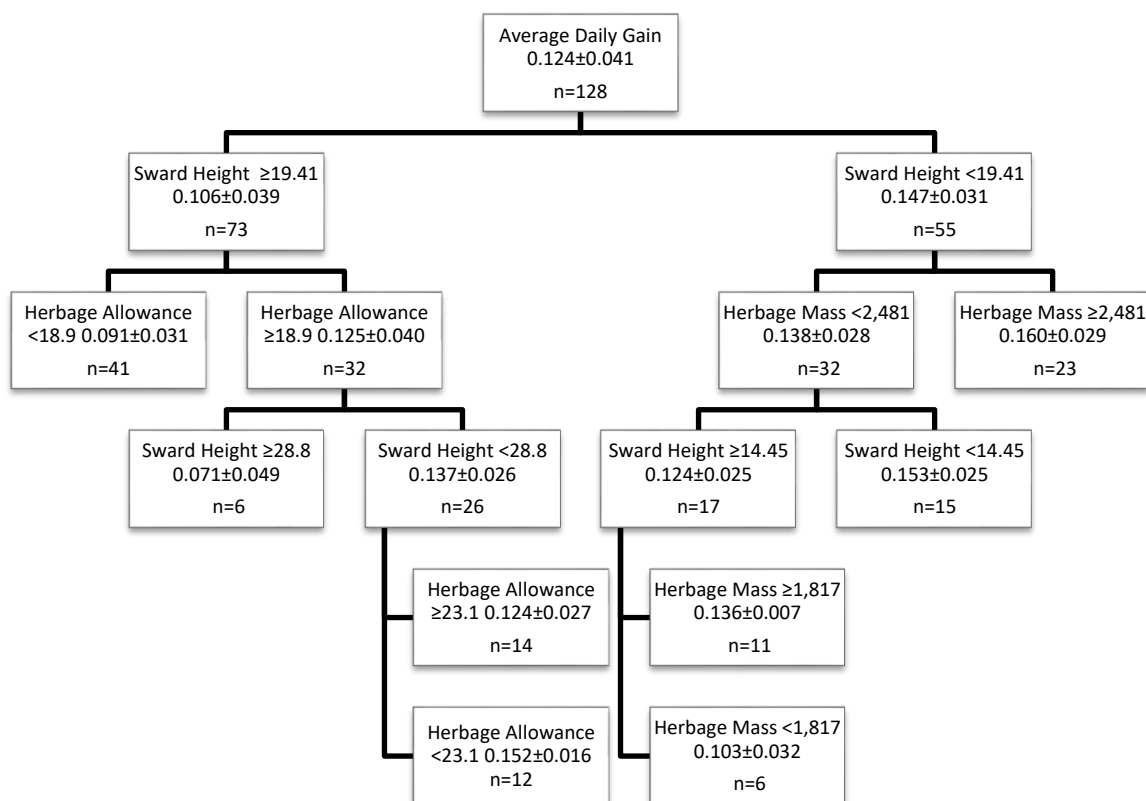


Fig. 2. Decision tree model for average daily gain ( $\text{g animal}^{-1}\text{day}^{-1}$ ). Each rectangular box contains an input variable and a split-point. Predicted ADG is below the split-point, with the respective mean  $\pm$  standard deviation. Herbage allowance is in units of  $\text{kg DM } 100 \text{ kg LW}^{-1} \text{ day}^{-1}$ ; sward Height is in cm. Herbage Mass is in  $\text{kg DM ha}^{-1}$ . DM=dry matter; LW=live weight.

### 2.3.3.2 Animal performance by area

The decision tree model for LWGHA produced six levels of division from the input factors, with a  $R^2$  of 0.738%, with error sum of squares 1,229,207.93 versus 0.708 testing 20% of the data ( $n=25$ ) in K fold and error sum of squares 1,365,376.69 therefore without overfitting). The most influential factor was the HA, with the split point at  $10.8 \text{ kg DM } 100 \text{ kg LW}^{-1}\text{day}^{-1}$  explaining 28.8% of the LWGHA. The next most important factor was the THP, where incremental change in the THP was accompanied by an increase in the LWGHA. The highest possible performance level was achieved when the HA was less than  $10.8 \text{ kg DM } 100 \text{ kg LW}^{-1}\text{day}^{-1}$  and THP over  $9.2 \text{ kg DM}$ , with a resulting output of  $721 \text{ kg}$ . Incremental animal performance

by area is improved when HA is higher than 10.8 tons but does not exceed HA of 22.51% or sward height of 18.17 cm.

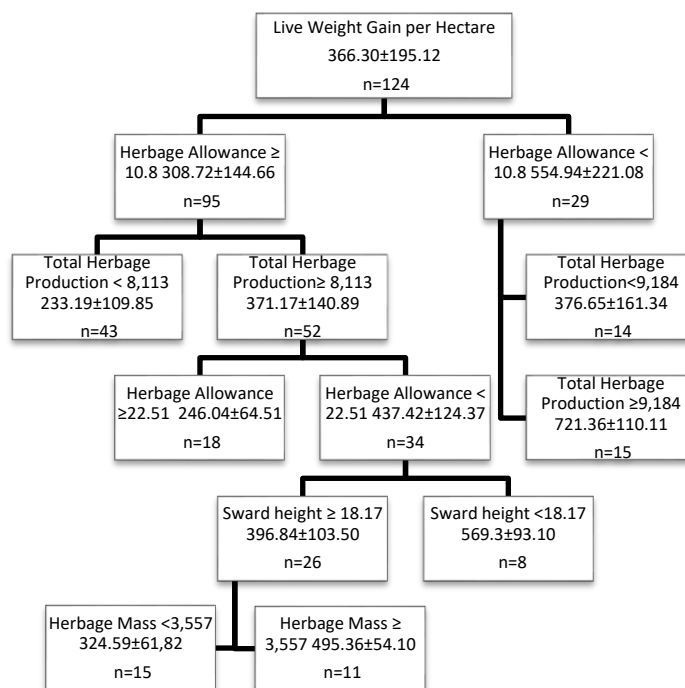


Fig. 3. Decision tree model for live weight gain per hectare (kg LW ha<sup>-1</sup>). Each rectangular box contains an input variable and a split-point. Predicted LWGH is below the split-point, with the respective mean ± standard deviation. Herbage mass is in units of kg DM ha<sup>-1</sup>; herbage allowance is in kg DM 100 kg LW<sup>-1</sup> day<sup>-1</sup>; total herbage production is in kg DM ha<sup>-1</sup>; sward height is in cm. DM=dry matter; LW=live weight.

## 2.4 Discussion

The results of this study support the potential opportunity offered by animal production in ICLS to diversify land use while promoting greater efficiency in production. As the management of animals in the pasture phase can greatly impact the relationship among system components and the responses of key production parameters in ICLS, it is important understand the effect of different combinations of these parameters to maximizes production.

Stocking method influenced the average daily gain, with greater gains being realized in the continuous treatment. However, stocking method had no effect on live weight gain per

hectare. Grazing intensity 5.0 resulted in higher individual performances but not higher performance by area. Sward structure can help explain the main differences in animal performance, and ranges of herbage allowance, sward structure and total herbage production are explanatory factors contributing to animal performance per area.

#### **2.4.1 Stocking method and grazing intensity**

Herbage allowance monitoring showed that management of the treatments was effective and, despite the different herbage masses among stocking methods, HA was maintained as required for each grazing intensity treatment. This control ensured an unbiased comparison for all the variables considering the predetermined grazing intensities based on potential dry matter intake by sheep.

At GI-5.0 where the HA is 3-4 times the potential DMI, about 66-75% of the pasture will not be consumed (Jamieson and Hodgson, 1979). Consequently, the morphological composition of the pasture is changed, reducing the proportion of leaf blades in relation to stem. For the same experimental protocol, Savian et al. (2014) found that leaf blades contributed around 27% and 34% DM in the 2.5 and 5.0 GI, respectively ( $P < 0.05$ ; 2-year evaluation), as was expected.

Similarly, Drescher et al. (2006) found that higher % stem + sheath results in lower bite mass, bite rate and short-term herbage intake rate (STIR). Their research shows the importance of bite availability and accessibility inside the HM horizons for influencing animal selection. In the Savian (2014) data, one of the years evaluated showed no statistical difference in % stem + sheath between GIs (average 52%). The other year showed an interaction between GI and SM, but only the SM-C with GI-5 treatment was lower (48% x 56%). Apparently, the magnitude of the difference in morphological composition between GIs was not enough to affect ADG, also ADG was greater in the GI-5.0 despite lower available leaf mass (Table 3) which is probably by the fact that animals could compensate the selection of leafs by selection.

Managing the pasture phase with high HM is as positive for the grass as it is for the animal, due to increased foliar area for light interception and improved opportunity for the animal to graze selectively (Lemaire and Agnusdei, 2000) until a maximum point. The highest HM in GI-5 where resulted from a lower stocking rate, that was about 70% of the GI 2.5 or approximately 10 animals per hectare (Table 3). Stocking rate is one of the factors in the LWGHA formula, and that justifies that, despite the higher ADG in GI-5, the higher LWGHA was in GI-2.5. So, the high stocking rate compensated the lower ADG. It is important to note that both GI treatments were quantitatively unrestrictive. The only restriction in place was regarding



structure (covered in further detail in the next section), because in higher HM there are more mature structure and the stem is too close to the leaf that is a barrier to bite size (Gordon and Benvenuti, 2006).

Another aspect of plant-animal management is the choice of stocking method as the specific temporal organization of animals in a pasture system (Laca, 2009). Comparisons between stocking methods must be done with caution to avoid confusing criteria. Briske et al. (2008) analyzed studies comparing rotational and continuous grazing in rangelands and found that 50% (19/38) of them showed no differences in animal production and 42% found greater production in continuous grazing rangelands. They concluded that the supposed benefits of rotational grazing are founded only in anecdote and qualitative interpretations in heterogeneous pastures.

Using leaf life span criterion, we found that average daily gain was greater ( $P < 0.05$ ) in continuous than in rotational stocking methods, a result associated with increased incidence of selective ingestive behavior by the animals manifested in the continuous stocking method (Briske et al., 2008). For the same protocol, Savian et al. (2014) found 21% greater dry matter intake on average for continuous stocking, which could also explain the better individual performance observed in this stocking method.

Regardless of stocking method, the grazing process always involves a series of bites by each animal; different spatio-temporal combinations of bites can lead to the same overall performance (Laca, 2009). In this study, we also found no difference in live weight gain per hectare for different stocking methods ( $P > 0.97$ ). Despite the ADG being higher in the SM-C when computed with stocking rate, stocking method made no difference in live weight gain per area. Therefore, if live weight gain per area is the target rather than individual performance, either stocking method is appropriate.

Linking these findings in an ICLS to other studies like De Moraes et al. (2014) lends additional insights. De Moraes et al. (2014) argued that HM in a ICLS needs to guarantee: i) the supply to livestock production, ii) adequate crop management (do not impact or even improve the crop yield, leave sufficient straw residue to enable a no-till system and aid in weed control) and iii) overall evolution of the system, evidenced by improved carbon and nitrogen stocks in the soil, for example. Also, ryegrass reestablishment by self-seeding requires annual deposition of seeds, which is ensured only at low or moderate grazing intensities (Barth Neto et al., 2014).

#### **2.4.2 Decision trees**

Decision trees are a data mining approach that allow the prediction and investigation of the degree of influence of each of the factors involved in a process (Zang et al., 2005). This analysis is commonly used to understand a phenomenon rather than for making predictions (Vayssières et al., 2000).

Our decision trees show that the highest herbage mass results in the best individual performances, as long as the height of the canopy available does not exceed about 19 cm. Herbage mass and canopy height are both closely related to increased likelihood of selection by the animal, subsequently causing a boost in individual gains. The first main division (19.41 cm of sward height) reinforces the idea that the intake process in relatively homogenous pastures is greatly influenced by the vertical sward structure (Carrère et al., 2001; Demment and Laca, 1993; Ungar, 1996), especially sward height (Armstrong et al., 1995). This result is closely related to herbivore selectivity for sites with sward structures that promote foraging efficiency when grazing (Bailey et al., 1996). Maximized intake rates therefore require adequate sward structure (Amaral et al., 2013).

As for sward structure, the management target (Hodgson 1990; Gordon and Benvenuti 2006) and sward height are the characteristics that most influence the animal decision to take a bite (McGilloway et al., 1999). Accordingly, our decision tree indicated that sward height was the most influential factor of individual animal performance. Amaral et al. (2013) found that in SM-R for Italian ryegrass a target of 25-10 cm of pre- and post-grazing sward heights allowed the greatest bite mass, highest total jaw movement rate and, consequently, maximum STIR, but they argued that for maximum sward regrowth the 15-10 cm management target should still be used. Silva et al. (unpublished data) found that the maximum STIR of  $0.21 \text{ g DM LW min}^{-1}$  is achieved at 18.3 cm of sward height in Italian ryegrass. This result supports the position of the first split. The STIR tends to drop at sward heights above 18.3, partly because of greater sward dispersion that generates an increased handling requirement per herbage unit consumed (Silva et al., unpublished data; Fonseca et al., 2012). Mezzalana et al. (2014) also reported a reduction in bite mass at sward heights above the optimum, attributed to a destabilizing mechanism caused by spatial heterogeneity in height and mass.

For performance by area, on the other hand, the best results found in 12% of the data (looking data distributions by treatment), resulting in total herbage production of more than 9,184 kg and herbage allowance  $< 10.8 \text{ kg DM.100 kg LW}^{-1}$ , which corresponds to higher stocking rates. It is important to highlight that the HA in this experiment was not restrictive, and the lowest value observed was 7.44 kg (mean  $16.32 \pm 6.4$ ). Thus, the results discussed here refer to the performance of lambs in HA that, from a quantitative point of view, were not limiting (Gibb

and Treacher, 1976). The second highest production level was observed where HA did not exceed 22.5 (regardless of the lower limit), had a high total herbage production and no more than 18.17 cm of SH. This combination represents only 6% of the data (looking data distributions by treatment), highlighting the difficulty in achieving these specific parameters.

Finally, conventional stocking methods overlook the endless possible combinations of management factors, thus restricting the systems potential (Laca, 2009). Our study took a first step in the direction of a holistic approach to supporting management decisions based on plant-animal relations in the pasture phase.

## **2.5 Conclusions**

Higher average daily gain is found in GI-5.0 and in continuous stocking method. If live weight gain per area is the target rather than individual performance, either stocking method is appropriate, but is necessary to adjust the grazing intensity to around 2.5 times the potential dry matter intake in order to improve the land use efficiency. Still is necessary verification of the exactly point where a restriction in the HA would prejudice individual and per area performance.

Sward high is the most influential factor of average daily gain, that in Italian ryegrass it should be managed lower than 19,41 cm in order to achieve the best performance, highlighting the importance of the maintenance of non-limiting sward heights. To maximize live weight gain per hectare of lambs in Italian ryegrass, pasture management targets should permit animals to graze swards of Italian ryegrass at herbage allowance < 10.8 kg, and total herbage production over 9 t in the grazing cycle.

The data generated over a 9-year period contribute to grazing management support aiming to maximize individual performance or animal production per area of lambs in Italian ryegrass. It showed the opportunity generated by animal production in ICLS to diversify land use while promoting greater efficiency in production.

## **Acknowledgement**

Special thanks to students from Grazing Ecology Research Group (UFRGS - Brazil) who assisted in the experiment. This study has been supported by CNPq, CAPES and Cerro Coroado Ranch - who provided the animals most of the years.

## 2.6 Literature Cited

- Allen, V.G., Batello, C., Berretta, E.J., Hodgson, J., Kothmann, M., Li, X., Mclvor, J., Milne, J., Morris, C., Peeters, A., Sanderson, M., 2011. An international terminology for grazing lands and grazing animals. *Grass Forage Sci.* 66, 2–28. doi:10.1111/j.1365-2494.2010.00780.x
- Amaral, M.F., Mezzalana, J.C., Bremm, C., Da Trindade, J.K., Gibb, M.J., Suñe, R.W.M., Carvalho, P.C.F., 2013. Sward structure management for a maximum short-term intake rate in annual ryegrass. *Grass Forage Sci.* 68, 271–277. doi:10.1111/j.1365-2494.2012.00898.x
- Anghinoni, I., Carvalho, P.C.F., Costa, S.E.V.G.A., 2013. Abordagem sistêmica do solo em Sistemas Integrados de Produção Agrícola e Pecuária no subtropical brasileiro. *Tópicos em Ciência do Solo* 8, 325–380.
- Armstrong, R. H., Robertson, E. and Hunter, E. A. 1995. The effect of sward height and its direction of change on the herbage intake, diet selection and performance of weaned lambs grazing ryegrass swards. *Grass and Forage Science*, 50: 389–398. doi:10.1111/j.1365-2494.1995.tb02333.x
- Bailey, D.W., Gross, J.E., Laca, E.A., Rittenhouse, L.R., Coughenour, M.B., Swift, D.M., Sims, P.L., Bailey, D.W., 1996. Empirical Analyses of Grazing Distribution. 387 *J. Range Manag.* 49, 386–400. doi:Doi 10.2307/4002919
- Barth Neto, A., Savian, J.V., Tres Schons, R.M., Bonnet, O.J.F., Canto, M.W., Moraes, A., Lemaire, G., Carvalho, P.C.F., 2014. Italian ryegrass establishment by self-seeding in integrated crop-livestock systems: Effects of grazing management and crop rotation strategies. *Eur. J. Agron.* 57, 77–83. doi:10.1016/j.eja.2014.04.005
- Barthram, G.T. 1985. Experimental techniques: the HFRO sward stick. In: *The Hill Farming Research Organization Biennial Report*. Penicuik, pp. 29–30.
- Bergamaschi, H., Guadagnin, M.R., Cardoso, L.S., Silva, M.I.G., 2003. *Clima da Estação Experimental da UFRGS*. UFRGS, Porto Alegre 77.
- Briske, D.D., Derner, J.D., Brown, J.R., Fuhlendorf, S.D., Teague, W.R., Havstad, K.M., Gillen, R.L., Ash, A.J., Willms, W.D., 2008. Rotational Grazing on Rangelands: Reconciliation of Perception and Experimental Evidence. *Rangel. Ecol. Manag.* 61, 3–17. doi:10.2111/06-159R.1

- C. P. B., 1977. Soil Taxonomy. A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys. 1975. 754 pp., 12 coloured plates. Agriculture Handbook No. 436. Soil Conservation Service, U.S. Department of Agriculture. From Superintendent of Documents, U. Geol. Mag. 114, 492. doi:10.1017/S0016756800045489
- Carrère, P., Louault, F., Carvalho, P.C.F., Lafarge, M., Soussana, J.F., 2001. How does the vertical and horizontal structure of a perennial ryegrass and white clover sward influence grazing? *Grass Forage Sci.* 56, 118–130.
- Da Silva, S.C., Carvalho, P.C.F., 2005. Foraging behaviour and herbage intake in the favourable tropics/sub-tropics. *Grassl. a Glob. Resour.* 81–95. doi:10.3920/978-90-8686-551-2
- De Moraes, A., Carvalho, P.C.F., Anghinoni, I., Lustosa, S.B.C., Costa, S.E.V.G.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
- Demment, M. W., E. A. Laca. 1993. The grazing ruminant: models and experimental techniques to relate sward structure and intake. In: *Proceedings of the 5th World Conference on Animal Production; 28 June–2 July 1993; Edmonton, Canada.* Edmonton, Canada: Keeling & Mundi. p. 439–460.
- Drescher, M., Heitkönig, I.M.A., Raats, J.G., Prins, H.H.T., 2006. The role of grass stems as structural foraging deterrents and their effects on the foraging behaviour of cattle. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 101, 10–26. doi:10.1016/j.applanim.2006.01.011
- Fonseca, L., Mezzalana, J.C., Bremm, C., Filho, R.S.A., Gonda, H.L., Carvalho, P.C.F., 2012. Management targets for maximising the short-term herbage intake rate of cattle grazing in *Sorghum bicolor*. *Livest. Sci.* 145, 205–211. doi:10.1016/j.livsci.2012.02.003
- Franzluebbers, A.J., Lemaire, G., Carvalho, P.C.F., Mark Sulc, R., Dedieu, B., 2014. Toward agricultural sustainability through integrated crop-livestock systems: Environmental outcomes. *Agric. Ecosyst. Environ.* 190, 1–3. doi:10.1016/j.agee.2014.04.028
- Gibb, M.J., Treacher, T.T., 1976. The effect of herbage allowance on herbage intake and performance of lambs grazing perennial ryegrass and red clover swards. *Journal of Agricultural Science.* pp. 355–365.

Gordon, I.J., Benvenuti, M., 2006. Food in 3D: how ruminant livestock interact with sown sward architecture at bite scale. *Feeding in Domestic Vertebrates: From Structure to Behavior*. CAB International.

Hodgson, J. 1990. *Grazing management: science into practice*. Longman Scientific and Technical. New York, pp. 203.

Jones, R. J., R. L. Sandland. 1974. The relation between animal gain and stocking rate. *Journal of Agricultural Science*. 83. pp. 606–611.

Jamieson, W.S., Hodgson, J., 1979. The effects of variation in sward characteristics upon the ingestive behaviour and herbage intake of calves and lambs under a continuous stocking management. *Grass Forage Sci*. 34, 273–282.

Klingman, D.L., Miles, S.R., Mott, G.O., 1943. The cage method for determine consumption and yield of pasture herbage. *Agron. J*. 35. pp. 739–746.

Laca, E. a, 2009. New approaches and tools for grazing management new approaches and tools for grazing management. *Rangel. Ecol. Manag*. 62, 407–417. doi:10.2111/08-104.1

Lemaire, G., Franzluebbers, A., Carvalho, P.C.F., Dedieu, B., 2014. Integrated crop-livestock systems: Strategies to achieve synergy between agricultural production and environmental quality. *Agric. Ecosyst. Environ*. 190, 4–8. doi:10.1016/j.agee.2013.08.009

Lemaire, G.; Agnusdei, M. 2000. Leaf tissue turn-over and efficiency of herbage utilization. In: LEMAIRE, G. et al. (Ed.). *Grassland ecophysiology and grazing ecology*. Wallingford: CAB International, p. 265-288.

McGilloway, D.A., Cushnahan, A., Laidlaw, A.S., Mayne, C.S., Kilpatrick, D.J., 1999. The relationship between level of sward height reduction in a rotationally grazed sward and short-term intake rates of dairy cows. *Grass Forage Sci*. 54, 116–126. doi:10.1046/j.1365-2494.1999.00158.x

Mezzalana, J.C., Carvalho, P.F.C., Fonseca, L., Bremm, C., Cangiano, C., Gonda, H.L., Laca, E.A., 2014. Behavioural mechanisms of intake rate by heifers grazing swards of contrasting structures. *Appl. Anim. Behav. Sci*. 153, 1–9. doi:10.1016/j.applanim.2013.12.014

Moraine, M., Duru, M., Nicholas, P., Leterme, P., Therond, O., 2014. Farming system design for innovative crop-livestock integration in Europe. *Animal* 1–14. doi:10.1017/S1751731114001189

- Moreno, J.A., 1961. Clima do Rio Grande do Sul. Secretaria da Agricultura, Porto Alegre 41.
- Mott, G.O., Lucas, H.L. 1952. The design, conduct, and interpretation of grazing trials on cultivated and improved pastures. In: Wagner, R.E. (Ed.), Proceedings of the 6th International Grassland Congress. State College Press. Pennsylvania. pp. 1380–1385.
- NRC. National Research Council. 1985. Nutrient Requirements of Sheep, 6th ed. Washington: National Academic of science. pp. 99
- Pontes, S., Nabinger, C., Carvalho, P.C.F., 2003. Variáveis Morfogênicas e Estruturais de Azevém Anual (*Lolium multiflorum* Lam.) Manejado em Diferentes Alturas Morphogenetic and Structural Traits of Ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.) Managed under Different Sward Heights. Rev. Bras. Zootec. 814–820.
- Prache, S., Gordon, J., Rook, A.J., Theix, C.D.C., 1998. Foraging behaviour and diet selection in domestic herbivores. Ann. Zootech. 47, 335–345. doi:10.1051/animres:19980502
- Ryschawy, J., Choisis, N., Choisis, J.P., Joannon, A., Gibon, A., 2012. Mixed crop-livestock systems: an economic and environmental-friendly way of farming? 1722–1730. doi:10.1017/S1751731112000675
- Savian, J.V., Barth Neto, A., de David, D.B., Bremm, C., Schons, R.M.T., Genro, T.C.M., do Amaral, G.A., Gere, J., McManus, C.M., Bayer, C., Carvalho, P.C.F., 2014. Grazing intensity and stocking methods on animal production and methane emission by grazing sheep: Implications for integrated crop-livestock system. Agric. Ecosyst. Environ. 190, 112–119. doi:10.1016/j.agee.2014.02.008
- Silva et al., unpublished data
- Soil Survey Staff. Keys to soil taxonomy. U.S. Department of Agriculture Natural Resources Conservation Service. 11<sup>th</sup> ed. USDA, NRCS. Gov. Print. Office, Washington, DC.
- Sollenberger, L. E., Moore, J. E., Allen, V. G., Pedreira, C. G. S. 2005. Reporting forage allowance in grazing experiments. Crop Sci. 45. pp. 896–900.
- Ungar, E.D. (1996). Ingestive behaviour. In: J. Hodgson & A.W. Illius (eds.) The ecology and management of grazing systems. CAB International, Wallingford, UK, 185-218.

Vayssières, M.P., Plant, R.E., Allen-Diaz, B.H., 2000. Classification trees: An alternative non-parametric approach for predicting species distributions. *J. Veg. Sci.* 11, 679–694. doi:10.2307/3236575

Zhang, B., Valentine, I., Kemp, P., 2005. Modelling the productivity of naturalised pasture in the North Island, New Zealand: a decision tree approach. *Ecol. Modell.* 186, 299–311. doi:10.1016/j.ecolmodel.2004.12.016



### **3 CAPÍTULO III**

### 3.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Sistema Integrado de Produção Agropecuária (SIPA) representa uma importante oportunidade para a produção de carne na fase pastagem, cuja renda, além de ser incrementada, será diversificada. Portanto, é uma alternativa imprescindível para o monocultivo de grãos sustentar-se a longo prazo. Na fase pastagem o desempenho por hectare está relacionado a uma série de relações entre solo-planta-animal. Neste sentido, podemos afirmar que este estudo apresenta robustez, por ser um estudo de consolidação de uma base de dados de longo prazo, o que foi fundamental para a caracterização das relações entre a pastagem (como estrutura do pasto, métodos de pastoreio e intensidades de pastejo) e o desempenho animal, tanto individual quanto por área.

Este estudo demonstrou que o desempenho individual dos animais está amplamente relacionado ao método de pastoreio. No método contínuo foram encontrados maiores desempenhos, o que foi atribuído à maior oportunidade de seleção da forragem, bem como a uma estrutura de pasto que permite maior taxa de ingestão, conforme evidenciado na literatura.

Este estudo também demonstrou que em menores intensidades de pastejo há melhor desempenho individual, pois a intensidade de pastejo está relacionada à formação de estruturas de pasto capazes de otimizar a eficiência de obtenção de nutrientes pelos animais.

Por outro lado, o desempenho por área não foi influenciado pelo método de pastoreio, apenas pela intensidade de pastejo. Portanto, independentemente do método optado pelo pecuarista, o importante é que a intensidade de pastejo seja moderada, de forma que não haja prejuízos ao animal por sobrepastejo ou subpastejo.

Com a construção das árvores da decisão foi ainda mais evidente o grau dessas relações, sendo que combinações de alturas próximas a 19,4 cm com massas de forragem acima de 2,4 t MS/ha são capazes de proporcionar os maiores ganhos individuais. Observamos que combinações de alturas entre 20,7 e 28,8 cm, desde que a oferta esteja entre 18,9 e 23,1%, também podem proporcionar elevados desempenhos individuais. Já o desempenho por área foi maior em ofertas menores do que 22,5%. Além disso, produções de forragem acima de 8,1 t/ha e alturas menores que 18 cm também foram identificadas nos maiores desempenhos por área.

A base de dados utilizada para as análises desta dissertação continha um compilado de médias anuais por unidade experimental, o que limitou algumas análises que poderiam explicar, por exemplo, como os desempenhos e demais variáveis se comportaram ao longo dos períodos de pastejo. Assim, uma análise dos dados primários certamente auxiliaria na melhor elucidação dos resultados obtidos. Além disso, os dados referentes à fase lavoura não foram aqui estudados, nem discutidos. Nesse sentido, o estudo do sistema como um todo seria uma forma de avançar no entendimento das relações entre os componentes do SIPA.

Portanto, os próximos passos estão relacionados à união dos avanços deste estudo na fase pastagem com a fase lavoura, à uma análise detalhada ao longo do período de pastejo, além de avanços relacionados a um aumento ainda maior na diversificação e intensificação sustentável. O consequente

desafio é a complexidade destes estudos, uma vez que são inúmeras as relações de causa-efeito que estão associadas e que precisam ser estudadas de forma isolada. O importante é que se consiga ter sistemas de produção de alimentos cada vez mais sustentáveis, tanto do ponto de vista ambiental, ou seja, mais eficientes no uso dos recursos naturais, quanto do ponto de vista social e econômico, que está relacionado ao desenvolvimento rural e à produção de alimentos para a sociedade.

#### 4 REFERÊNCIAS

AGUINAGA, A. A. Q. et al. Produção de novilhos superprecoces em pastagem de aveia e azevém submetida a diferentes alturas de manejo. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, v. 35, n. 4, p.1765-1773, 2006.

ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. F.; COSTA, S. E. V. G. A. C. Abordagem sistêmica do solo em sistemas integrados de produção agrícola e pecuária no subtropical brasileiro. *Tópicos em Ciência do Solo*, Viçosa, v. 8, p. 325-380, 2013.

ÁVILA, V. S. de et al. O Retorno Da Ovinocultura ao cenário produtivo do Rio Grande do Sul. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, Santa Maria, v. 11, n. 11, p.2419-2426, 3 jun. 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5902/223611708801>>. Acesso em: 22 fev. 2017.

AZEVEDO, E. B. et al. Use of faecal components as markers to estimate intake and digestibility of grazing sheep. *Livestock Science*, Amsterdam, v. 165, p.42-50, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.livsci.2014.04.018>>. Acesso em: 10 fev. 2017.

BAILEY D. W., PROVENZA F. D. Mechanisms Determining Large-Herbivore Distribution. In: 'RESOURCE ecology: spatial and temporal dynamics of foraging'. Wageningen: Frontis Series, 2008. p. 7-29.

BARBOSA, C. M. P. et al. Terminação de cordeiros em pastagens de azevém anual manejadas em diferentes intensidades e métodos de pastejo. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, v. 36, n. 6, supl. p. 1953-1960, 2007.

BARBOSA, M. P. Cristina et al. Métodos e intensidades de pastejo na carga parasitária de cordeiros. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, Salvador, v. 12, n. 3, p. 650-657, set. 2011.

BARTH NETO, A. et al. Italian ryegrass establishment by self-seeding in integrated crop-livestock systems: Effects of grazing management and crop rotation strategies. *European Journal of Agronomy*, Amsterdam, v. 53, p.67-73, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.eja.2013.11.001>>. Acesso em: 9 fev. 2017.

BATTISTI, R.; SENTELHAS, P. C.; PILAU, F. G. Eficiência agrícola da produção de soja, milho e trigo no estado do Rio Grande do Sul entre 1980 e 2008. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 42, n. 1, p. 24-30, 2012.

BERGAMASCHI, H. et al. Deficit hídrico e produtividade na cultura do milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 41, n. 2, p. 243-249, 2006.

BERGAMASCHI, H. et al. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 39, n. 9, p. 831-839, 2004.

BERLATO, M. A.; FONTANA D.C. El Niño e La Niña: impactos no clima, na vegetação e na agricultura do Rio Grande do Sul: aplicações de previsões climáticas na agricultura. Porto Alegre: Ed. da UFRGS, 2003. 110 p.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Pecuária. 2015. Disponível em:

<<http://www.ibge.gov.br/estadosat/temas.php?sigla=rs&tema=pecuaria2015>>.

Acesso em: 5 fev. 2017.

BRISKE, D. D. et al. Rotational Grazing on Rangelands: Reconciliation of Perception and Experimental Evidence. *Rangeland Ecology & Management*, Lawrence, v. 61, n. 1, p.3-17, 2008. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.2111/06-159r.1>>. Acesso em: 22 fev. 2017.

CARVALHO, P. C. D. F. et al. Definições e terminologias para sistema integrado de produção agropecuária. *Revista Ciência Agronômica*, Fortaleza, v. 45, n. 5, esp., p. 1040-1046, 2014

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

CARVALHO, P. C. F.; MORAES, A. Integration of Grasslands within Crop Systems in South America. In: LEMAIRE, G.; HODGSON, J.; CHABBI, A. (Ed.) *Grasslands Productivity and Ecosystems Services*. Oxfordshire: CABI, 2011. p. 219-226

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de grãos, v. 3, n. 8, p. 1-178, 2016. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16\\_06\\_10\\_14\\_42\\_08\\_boletim\\_graos\\_maio\\_\\_2016\\_-\\_final.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_06_10_14_42_08_boletim_graos_maio__2016_-_final.pdf)>. Acesso em: 15 dez. 2016.

CORRÊA, R. G. F. Modelo integrado para gestão de custos, fluxo de caixa e recursos compartilhados em sistemas produtivos agropecuários. 2014. 136 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

OLIVEIRA, C. et al. Comparison of an integrated crop- livestock system with soybean only: economic and production responses in southern Brazil. *Renewable Agriculture Food Systems*, Wellingford, v. 29, n. 3, p. 230-238, 2014.

DERNER, J. D.; HART, R. H.. Grazing-Induced Modifications to Peak Standing Crop in Northern Mixed-grass Prairie. *Rangeland Ecology & Management*, Lawrence, v. 60, n. 3, p.270-276, 2007. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.2111/1551-5028\(2007\)60\[270:GMTPSC\]2.0.co;2](http://dx.doi.org/10.2111/1551-5028(2007)60[270:GMTPSC]2.0.co;2)>. Acesso em: 22 fev. 2017.

DIMITRI, C. A.; EFFLAND, N.; CONKLIN. The 20th century transformation of U.S. agriculture and farm policy. Economic Information Bulletin. USDA-ERS, Washington, n. 3, p. 17. 2005. Disponível em: <[https://www.ers.usda.gov/webdocs/publications/44197/13566\\_eib3\\_1\\_.pdf?v=41055](https://www.ers.usda.gov/webdocs/publications/44197/13566_eib3_1_.pdf?v=41055)>. Acesso em: 12 ago. 2015.

DRESCHER, M. et al. The role of grass stems as structural foraging deterrents and their effects on the foraging behavior of cattle. Applied Animal Behaviour Science, Madison, v. 101, n. 1-2, p.10-26, 2006. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.applanim.2006.01.011>>. Acesso em: 25 fev. 2017.

DUBEUX, J. C. B. et al. Stocking Method, Animal Behavior, and Soil Nutrient Redistribution: How are They Linked?. Crop Science, Madison, v. 54, n. 5, p.2341-2350, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.2135/cropsci2014.01.0076>>. Acesso em: 5 fev. 2017.

FAO. An international consultation on integrated crop-livestock systems for development: The Way Forward for Sustainable Production Intensification. Rome, 2010. 64 p. (Integrated Crop Management, 13)

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. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832007000400017>>. Acesso em: 12 fev. 2017.

FLORES, J. P. C. et al. Atributos químicos do solo em função da aplicação superficial de calcário em sistema de integração lavoura-pecuária submetido a pressões de pastejo em plantio direto. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 32, n. 6, p. 2385-2396, 2008.

FONSECA, L. et al. Effect of sward surface height and level of herbage depletion on bite features of cattle grazing Sorghum bicolor swards. Journal of Animal Science, Champaign, v. 91, n. 9, p.4357-4365, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.2527/jas.2012-5602>>. Acesso em: 12 fev. 2017.

FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S. (Ed.). Forrageiras para integração lavoura-pecuária-floresta na região sul-brasileira. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2009. 340 p.

FRANZLUEBBERS, A. J. et al. Toward agricultural sustainability through integrated crop–livestock systems. III. Social aspects. Renewable Agriculture and Food Systems, Cambridge, v. 29, n. 03, p. 192-194, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1017/s174217051400012x>>. Acesso em: 9 fev. 2017.

FRANZLUEBBERS, A. J.; SEMAN, D. H.; STUEDEMANN, J. A. Forage dynamics in mixed tall fescue–bermudagrass pastures of the Southern Piedmont USA. Agriculture, Ecosystems & Environment, Amsterdam, v. 168, p. 37-45,

2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2013.02.004>>. Acesso em: 20 fev. 2017.

GORDON, I. J.; BENVENUTTI, M. Food in 3D: how ruminant livestock interact with sown sward architecture at bite scale. In: BELS, V. (Ed.). Feeding in domestic vertebrates: from structure to behaviour. Paris: CAB International, 2006. p. 263-277.

HALSTEAD, P. Pastoralism or household herding? Problems of scale and specialization in early Greek animal husbandry. *World Archaeology*, [London], v. 28, p. 20-42, 1996.

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

LACA, E. A. New Approaches and Tools for Grazing Management. *Rangeland Ecology & Management*, Lawrence, v. 62, n. 5, p. 407-417, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.2111/08-104.1>>. Acesso em: 04 fev. 2017.

LEMAIRE, G. et al. Integrated crop–livestock systems: Strategies to achieve synergy between agricultural production and environmental quality. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Amsterdam, v. 190, p. 4-8, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2013.08.009>>. Acesso em: 01 fev. 2017.

LEMAIRE, G.; AGNUSDEI, M. Grassland Ecophysiology and Grazing Ecology. In: LEMAIRES, G. et al (Ed.). Leaf Tissue Turnover And Efficiency Of Herbage Utilization. Wallingford, p.265-287, 2000. CABI Publishing. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1079/9780851994529.0265>>. Acesso em: 22 fev. 2017.

LOSS, A. et al. Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo sob plantio direto com integração lavoura-pecuária. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 46, n. 10, p. 1269-1276, 2011.

LUNARDI, R. et al. Rendimento de soja em sistema de integração lavoura-pecuária: efeito de métodos e intensidades de pastejo. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 38, n. 3, p. 795-801, 2008. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33138332>>. Acesso em: 29 jan. 2017.

MATZENAUER, R.; BARNI, N. A.; MALUF, J. R. T. Estimativa do consumo relativo de água para a cultura da soja no Estado do Rio Grande do Sul. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 33, n. 6, p. 1013-1019, 2003.

MELO, R. W.; FONTANA, D. C.; BERLATO, M. A. Indicadores de produção de soja no Rio Grande do Sul comparados ao zoneamento agrícola. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 39, n. 12, p. 1167-1175, 2004.

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, abr. 2014.  
<<http://dx.doi.org/10.1016/j.applanim.2013.12.014>>. Acesso em: 17 fev. 2017.

MORAES A. et al. Crop-livestock integration in Brazilian subtropics. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON INTEGRATED CROP-LIVESTOCK SYSTEMS, 2012, Porto Alegre. Proceedings... Porto Alegre: UFRGS, 2012. 1 CD-ROM.

MORAES, A. D. et al. Research on Integrated Crop-Livestock Systems in Brazil. *Revista Ciência Agronômica*, Fortaleza, v. 45, n. 5esp, p. 1024-1031, 2014.

RIBEIRO FILHO, H. M. N. Nutrição de vacas leiteiras em pastagens de azevém perene: avaliação da introdução do trevo branco em função do manejo adotado no pastejo. 145f. 2003. Tese (Zootecnia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

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. Mixed crop- livestock systems: an economic and environmental- friendly way of farming? *Animal Science*, Penicuik, v. 6, n. 10, p. 1722-1730, 2012.

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

SAVIAN, J. V. et al. Grazing intensity and stocking methods on animal production and methane emission by grazing sheep: Implications for integrated crop–livestock system. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Amsterdam, v. 190, p. 112-119, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2014.02.008>>. Acesso em: 10 fev. 2017.

SHIPLEY, L. A. The influence of bite size on foraging at larger spatial and temporal scales by mammalian herbivores. *Oikos*, [Copenhagen], v. 116, n. 12, p.1964-1974, 2007. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1111/j.2007.0030-1299.15974.x>>. Acesso em: 15 jan. 2017.

SILVA, H. A. et al. Viabilidade Econômica Da Produção De Novilhas Leiteiras a Pasto Em Sistema De Integração Lavoura-pecuária. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 47, n. 6, p. 745-753, 2012.

SULC, R. M.; TRACY, B. F. Integrated Crop–Livestock Systems in the U.S. Corn Belt. *Agronomy Journal*, Madison, v. 99, p. 335-345, 2007.

UMSTÄTTER, C.; WATERHOUSE, A.; HOLLAND, J. P. An automated sensor-based method of simple behavioural classification of sheep in extensive systems. *Computers And Electronics In Agriculture*, New York, v. 64, n. 1, p. 19-26, 2008.



Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2008.05.004>>. Acesso em: 11 fev. 2017.

UNGAR, E. D.; RAVID, N.; BRUCKENTAL, I.. Bite dimensions for cattle grazing herbage at low levels of depletion. *Grass and Forage Science*, Oxford, v. 56, n. 1, p. 35-45, 2001. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-2494.2001.00244.x>>. Acesso em: 3 fev. 2017.

VAYSSIÈRES, M. P.; PLANT, R. E.; ALLEN-DIAZ, B. H. Classification trees: An alternative non-parametric approach for predicting species distributions. *Journal of Vegetation Science*, Knivsta, Suécia, v. 11, n. 5, p. 679-694, 2000. <<http://dx.doi.org/10.2307/3236575>>. Acesso em: 03 fev. 2017.

WESP, C. D. L. et al. Steers production in integrated crop-livestock systems: pasture management under different sward heights *Revista Ciência Agronômica*, Fortaleza, v. 47, p. 187–194, 2016.

WILKINS, R. Eco- efficient approaches to land management: a case for increased integration of crop and animal production systems. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, London, v. 363, n. 1491, p. 517-525, 2007.

ZHANG, B.; TILLMAN, R. A decision tree approach to modelling nitrogen fertiliser use efficiency in New Zealand pastures. *Plant and Soil*, The Hague, v. 301, n. 1-2, p.267-278, 2007. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s11104-007-9445-8>>. Acesso em: 21 fev. 2017.

ZHANG, B.; VALENTINE, I.; KEMP, P.. Modelling the productivity of naturalised pasture in the North Island, New Zealand: a decision tree approach. *Ecological Modelling*, Amsterdam, v. 186, n. 3, p.299-311, ago. 2005. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2004.12.016>>. Acesso em: 18 fev. 2017.

## **5 APÊNDICES**

5.1 Apêndice 1 Normas para elaboração e submissão de trabalhos científicos à revista *European Journal of Agronomy*.

## GUIDE FOR AUTHORS

### *Your Paper Your Way*

We now differentiate between the requirements for new and revised submissions. You may choose to submit your manuscript as a single Word or PDF file to be used in the refereeing process. Only when your paper is at the revision stage, will you be requested to put your paper in to a 'correct format' for acceptance and provide the items required for the publication of your article.

**To find out more, please visit the Preparation section below.**

## INTRODUCTION

The *European Journal of Agronomy*, the official journal of the European Society for Agronomy, publishes original research papers reporting experimental and theoretical contributions to field-based agronomy and crop science. The journal will consider research at the field level for agricultural, horticultural and tree crops, that uses comprehensive and explanatory approaches. The EJA covers the following topics: crop physiology crop production and management including irrigation, fertilization and soil management agroclimatology and modelling plant-soil relationships crop quality and post-harvest physiology farming and cropping systems agroecosystems and the environment crop-weed interactions and management organic farming horticultural crops papers from the European Society for Agronomy bi-annual meetings In determining the suitability of submitted articles for publication, particular scrutiny is placed on the degree of novelty and significance of the research and the extent to which it adds to existing knowledge in agronomy. Confirmatory research and results routine cultivar or agronomy trials in which there are no identified biological processes will not normally be considered for publication. Modelling studies have to be informative and innovative and used to illustrate important generic issues facing agronomy. Studies in which a model is only tested against observed data for its goodness-of-fit are not generally welcome. Field experiments need to be either multi-locational or multi-year and normally three at least and be accompanied by appropriate statistical analysis. Glasshouse experiments are only accepted in exceptional circumstances. Review articles are normally written on invitation from the Editor-in-Chief. Authors intending to prepare review papers for the Journal are advised to consult the Editor-in-Chief before writing their reviews. Forthcoming special issues are focusing on uncertainty analysis in models and the status of non-renewable resources in agriculture.

### *Types of paper*

1. *Original research papers (regular papers)*. Original research papers should report the results of original research. The material should not have been previously published elsewhere, except in a preliminary form.

2. *Review articles*. Review articles should cover subjects falling within the scope of the journal which are of active current interest. They are normally written upon invitation by the Editor-in-Chief. Intending authors should first consult with the Editor-in-Chief.

### *Submission checklist*

You can use this list to carry out a final check of your submission before you send it to the journal for review. Please check the relevant section in this Guide for Authors for more details.

**Ensure that the following items are present:**

One author has been designated as the corresponding author with contact details:

- E-mail address

- Full postal address

All necessary files have been uploaded:

*Manuscript:*

- Include keywords
- All figures (include relevant captions)
- All tables (including titles, description, footnotes)
- Ensure all figure and table citations in the text match the files provided
- Indicate clearly if color should be used for any figures in print

*Graphical Abstracts / Highlights files* (where applicable)

*Supplemental files* (where applicable)

Further considerations

- Manuscript has been 'spell checked' and 'grammar checked'
- All references mentioned in the Reference List are cited in the text, and vice versa
- Permission has been obtained for use of copyrighted material from other sources (including the Internet)
- Relevant declarations of interest have been made
- Journal policies detailed in this guide have been reviewed
- Referee suggestions and contact details provided, based on journal requirements

For further information, visit our [Support Center](#).

## **BEFORE YOU BEGIN**

### **Ethics in publishing**

Please see our information pages on [Ethics in publishing](#) and [Ethical guidelines for journal publication](#).

### **Declaration of interest**

All authors are requested to disclose any actual or potential conflict of interest including any financial, personal or other relationships with other people or organizations within three years of beginning the submitted work that could inappropriately influence, or be perceived to influence, their work. [More information](#).

### **Submission declaration and verification**

Submission of an article implies that the work described has not been published previously (except in the form of an abstract or as part of a published lecture or academic thesis or as an electronic preprint, see '[Multiple, redundant or concurrent publication](#)' section of our ethics policy for more information), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. To verify originality, your article may be checked by the originality detection service [CrossCheck](#).

### **Changes to authorship**

Authors are expected to consider carefully the list and order of authors **before** submitting their manuscript and provide the definitive list of authors at the time of the original submission. Any addition, deletion or rearrangement of author names in the authorship list should be made only **before** the manuscript has been accepted and only if approved by the journal Editor. To request such a change, the Editor must receive the following from the **corresponding author**: (a) the reason for the change in author list and (b) written confirmation (e-mail, letter) from all authors that they agree with the addition, removal or rearrangement. In the case of addition or removal of authors, this includes confirmation from the author being added or removed.

Only in exceptional circumstances will the Editor consider the addition, deletion or rearrangement of authors **after** the manuscript has been accepted. While the Editor considers the request, publication of the manuscript will be suspended. If the manuscript has already been published in an online issue, any requests approved by the Editor will result in a corrigendum.

*Article transfer service*

This journal is part of our Article Transfer Service. This means that if the Editor feels your article is more suitable in one of our other participating journals, then you may be asked to consider transferring the article to one of those. If you agree, your article will be transferred automatically on your behalf with no need to reformat. Please note that your article will be reviewed again by the new journal.

[More information.](#)

### **Copyright**

Upon acceptance of an article, authors will be asked to complete a 'Journal Publishing Agreement' (see [more information](#) on this). An e-mail will be sent to the corresponding author confirming receipt of the manuscript together with a 'Journal Publishing Agreement' form or a link to the online version of this agreement.

Subscribers may reproduce tables of contents or prepare lists of articles including abstracts for internal circulation within their institutions. [Permission](#) of the Publisher is required for resale or distribution outside the institution and for all other derivative works, including compilations and translations. If excerpts from other copyrighted works are included, the author(s) must obtain written permission from the copyright owners and credit the source(s) in the article. Elsevier has [preprinted forms](#) for use by authors in these cases.

For open access articles: Upon acceptance of an article, authors will be asked to complete a 'Exclusive License Agreement' ([more information](#)). Permitted third party reuse of open access articles is determined by the author's choice of [user license](#).

### **Author rights**

As an author you (or your employer or institution) have certain rights to reuse your work. [More information.](#)

*Elsevier supports responsible sharing*

Find out how you can [share your research](#) published in Elsevier journals.

### **Role of the funding source**

You are requested to identify who provided financial support for the conduct of the research and/or preparation of the article and to briefly describe the role of the sponsor(s), if any, in study design; in the collection, analysis and interpretation of data; in the writing of the report; and in the decision to submit the article for publication. If the funding source(s) had no such involvement then this should be stated.

*Funding body agreements and policies*

Elsevier has established a number of agreements with funding bodies which allow authors to comply with their funder's open access policies. Some funding bodies will reimburse the author for the Open Access Publication Fee. Details of [existing agreements](#) are available online.

### **Open access**

This journal offers authors a choice in publishing their research:

#### **Open access**

- Articles are freely available to both subscribers and the wider public with permitted reuse.
- An open access publication fee is payable by authors or on their behalf, e.g. by their research funder or institution.

#### **Subscription**

- Articles are made available to subscribers as well as developing countries and patient groups through our [universal access programs](#).
- No open access publication fee payable by authors.

Regardless of how you choose to publish your article, the journal will apply the same peer review criteria and acceptance standards.

For open access articles, permitted third party (re)use is defined by the following [Creative Commons user licenses](#):

*Creative Commons Attribution (CC BY)*

Lets others distribute and copy the article, create extracts, abstracts, and other revised versions, adaptations or derivative works of or from an article (such as a translation), include in a collective work (such as an anthology), text or data mine the article, even for commercial purposes, as long as they credit the author(s), do not represent the author as endorsing their adaptation of the article, and do not modify the article in such a way as to damage the author's honor or reputation.

*Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivs (CC BY-NC-ND)*

For non-commercial purposes, lets others distribute and copy the article, and to include in a collective work (such as an anthology), as long as they credit the author(s) and provided they do not alter or modify the article.

The open access publication fee for this journal is **USD 3300**, excluding taxes. Learn more about

Elsevier's pricing policy: <http://www.elsevier.com/openaccesspricing>.

*Green open access*

Authors can share their research in a variety of different ways and Elsevier has a number of green open access options available. We recommend authors see our [green open access page](#) for further information. Authors can also self-archive their manuscripts immediately and enable public access from their institution's repository after an embargo period. This is the version that has been accepted for publication and which typically includes author-incorporated changes suggested during submission, peer review and in editor-author communications. Embargo period: For subscription articles, an appropriate amount of time is needed for journals to deliver value to subscribing customers before an article becomes freely available to the public. This is the embargo period and it begins from the date the article is formally published online in its final and fully citable form. [Find out more](#).

This journal has an embargo period of 24 months.

*Elsevier Publishing Campus*

The Elsevier Publishing Campus ([www.publishingcampus.com](http://www.publishingcampus.com)) is an online platform offering free lectures, interactive training and professional advice to support you in publishing your research. The College of Skills training offers modules on how to prepare, write and structure your article and explains how editors will look at your paper when it is submitted for publication. Use these resources, and more, to ensure that your submission will be the best that you can make it.

*Language (usage and editing services)*

Please write your text in good English (American or British usage is accepted, but not a mixture of these). Authors who feel their English language manuscript may require editing to eliminate possible grammatical or spelling errors and to conform to correct scientific English may wish to use the [English Language Editing service](#) available from Elsevier's WebShop.

### **Submission**

Our online submission system guides you stepwise through the process of entering your article details and uploading your files. The system converts your article files to a single PDF file used in the peer-review process. Editable files (e.g., Word, LaTeX) are required to typeset your article for final publication. All correspondence, including notification of the Editor's decision and requests for revision, is sent by e-mail.

*Submit your article*

Please submit your article via <http://ees.elsevier.com/euragr/>

## **PREPARATION**

### **NEW SUBMISSIONS**

Submission to this journal proceeds totally online and you will be guided stepwise through the creation and uploading of your files. The system automatically converts your files to a single PDF file, which is used in the peer-review process.

As part of the Your Paper Your Way service, you may choose to submit your manuscript as a single file to be used in the refereeing process. This can be a PDF file or a Word document, in any format or layout that can be used by referees to

evaluate your manuscript. It should contain high enough quality figures for refereeing. If you prefer to do so, you may still provide all or some of the source files at the initial submission. Please note that individual figure files larger than 10 MB must be uploaded separately.

#### *References*

There are no strict requirements on reference formatting at submission. References can be in any style or format as long as the style is consistent. Where applicable, author(s) name(s), journal title/book title, chapter title/article title, year of publication, volume number/book chapter and the pagination must be present. Use of DOI is highly encouraged. The reference style used by the journal will be applied to the accepted article by Elsevier at the proof stage. Note that missing data will be highlighted at proof stage for the author to correct.

#### *Formatting requirements*

There are no strict formatting requirements but all manuscripts must contain the essential elements needed to convey your manuscript, for example Abstract, Keywords, Introduction, Materials and Methods, Results, Conclusions, Artwork and Tables with Captions.

If your article includes any Videos and/or other Supplementary material, this should be included in your initial submission for peer review purposes.

Divide the article into clearly defined sections.

Please ensure the text of your paper is double-spaced and has consecutive line numbering - this is an essential peer review requirement.

#### *Figures and tables embedded in text*

Please ensure the figures and the tables included in the single file are placed next to the relevant text in the manuscript, rather than at the bottom or the top of the file. The corresponding caption should be placed directly below the figure or table.

### **REVISED SUBMISSIONS**

#### *Use of word processing software*

Regardless of the file format of the original submission, at revision you must provide us with an editable file of the entire article. Keep the layout of the text as simple as possible. Most formatting codes will be removed and replaced on processing the article. The electronic text should be prepared in a way very similar to that of conventional manuscripts (see also the [Guide to Publishing with Elsevier](#)). See also the section on Electronic artwork.

To avoid unnecessary errors you are strongly advised to use the 'spell-check' and 'grammar-check' functions of your word processor.

### **Article structure**

#### *Subdivision - numbered sections*

Divide your article into clearly defined and numbered sections. Subsections should be numbered 1.1 (then 1.1.1, 1.1.2, ...), 1.2, etc. (the abstract is not included in section numbering). Use this numbering also for internal cross-referencing: do not just refer to 'the text'. Any subsection may be given a brief heading. Each heading should appear on its own separate line.

#### *Introduction*

State the objectives of the work and provide an adequate background, avoiding a detailed literature survey or a summary of the results.

#### *Material and methods*

Provide sufficient detail to allow the work to be reproduced. Methods already published should be indicated by a reference: only relevant modifications should be described.

#### *Results*

Results should be clear and concise.

#### *Discussion*

This should explore the significance of the results of the work, not repeat them. A combined Results and Discussion section should be avoided. Avoid extensive citations and discussion of published literature.

#### *Conclusions*

The main conclusions of the study may be presented in a short Conclusions section, which may stand alone or form a subsection of a Discussion or Results and Discussion section.

#### *Appendices*

If there is more than one appendix, they should be identified as A, B, etc. Formulae and equations in appendices should be given separate numbering: Eq. (A.1), Eq. (A.2), etc.; in a subsequent appendix, Eq. (B.1) and so on. Similarly for tables and figures: Table A.1; Fig. A.1, etc.

#### **Essential title page information**

- **Title.** Concise and informative. Titles are often used in information-retrieval systems. Avoid abbreviations and formulae where possible.
- **Author names and affiliations.** Please clearly indicate the given name(s) and family name(s) of each author and check that all names are accurately spelled. Present the authors' affiliation addresses (where the actual work was done) below the names. Indicate all affiliations with a lowercase superscript letter immediately after the author's name and in front of the appropriate address. Provide the full postal address of each affiliation, including the country name and, if available, the e-mail address of each author.
- **Corresponding author.** Clearly indicate who will handle correspondence at all stages of refereeing and publication, also post-publication. **Ensure that the e-mail address is given and that contact details are kept up to date by the corresponding author.**
- **Present/permanent address.** If an author has moved since the work described in the article was done, or was visiting at the time, a 'Present address' (or 'Permanent address') may be indicated as a footnote to that author's name. The address at which the author actually did the work must be retained as the main, affiliation address. Superscript Arabic numerals are used for such footnotes.

#### **Abstract**

A concise and factual abstract is required. The abstract should state briefly the purpose of the research, the principal results and major conclusions. An abstract is often presented separately from the article, so it must be able to stand alone. For this reason, References should be avoided, but if essential, then cite the author(s) and year(s). Also, non-standard or uncommon abbreviations should be avoided, but if essential they must be defined at their first mention in the abstract itself.

#### *Graphical abstract*

Although a graphical abstract is optional, its use is encouraged as it draws more attention to the online article. The graphical abstract should summarize the contents of the article in a concise, pictorial form designed to capture the attention of a wide readership. Graphical abstracts should be submitted as a separate file in the online submission system. Image size: Please provide an image with a minimum of 531 × 1328 pixels (h × w) or proportionally more. The image should be readable at a size of 5 × 13 cm using a regular screen resolution of 96 dpi. Preferred file types: TIFF, EPS, PDF or MS Office files. You can view [Example Graphical Abstracts](#) on our information site.

Authors can make use of Elsevier's Illustration and Enhancement service to ensure the best presentation of their images and in accordance with all technical requirements: [Illustration Service](#).

#### *Highlights*

Highlights are mandatory for this journal. They consist of a short collection of bullet points that convey the core findings of the article and should be submitted in a separate editable file in the online submission system. Please use 'Highlights' in the



file name and include 3 to 5 bullet points (maximum 85 characters, including spaces, per bullet point). You can view [example Highlights](#) on our information site.

### **Keywords**

Immediately after the abstract, provide a maximum of 6 keywords, using American spelling and avoiding general and plural terms and multiple concepts (avoid, for example, 'and', 'of'). Be sparing with abbreviations: only abbreviations firmly established in the field may be eligible. These keywords will be used for indexing purposes.

### **Abbreviations**

Define abbreviations that are not standard in this field in a footnote to be placed on the first page of the article. Such abbreviations that are unavoidable in the abstract must be defined at their first mention there, as well as in the footnote. Ensure consistency of abbreviations throughout the article.

### **Acknowledgements**

Collate acknowledgements in a separate section at the end of the article before the references and do not, therefore, include them on the title page, as a footnote to the title or otherwise. List here those individuals who provided help during the research (e.g., providing language help, writing assistance or proof reading the article, etc.).

### **Formatting of funding sources**

List funding sources in this standard way to facilitate compliance to funder's requirements:

Funding: This work was supported by the National Institutes of Health [grant numbers xxxx, yyyy]; the Bill & Melinda Gates Foundation, Seattle, WA [grant number zzzz]; and the United States Institutes of Peace [grant number aaaa].

It is not necessary to include detailed descriptions on the program or type of grants and awards. When funding is from a block grant or other resources available to a university, college, or other research institution, submit the name of the institute or organization that provided the funding.

If no funding has been provided for the research, please include the following sentence:

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

### **Nomenclature and units**

Follow internationally accepted rules and conventions: use the international system of units (SI). If other units are mentioned, please give their equivalent in SI. Abbreviate units of measure only when used with numerals.

Authors and Editor(s) are, by general agreement, obliged to accept the rules governing biological nomenclature, as laid down in the *International Code of Botanical Nomenclature*, the *International Code of Nomenclature of Bacteria*, and the *International Code of Zoological Nomenclature*.

All botanica (crops, plants, insects, birds, mammals, etc.) should be identified by their scientific names when the English term is first used, with the exception of common domestic animals.

All biocides and other organic compounds must be identified by their Geneva names when first used in the text. Active ingredients of all formulations should be likewise identified.

For chemical nomenclature, the conventions of the International Union of Pure and Applied Chemistry and the official recommendations of the *IUPAC-IUB Combined Commission on Biochemical*

*Nomenclature* should be followed.

### **Math formulae**

Present simple formulae in the line of normal text where possible. In principle, variables are to be presented in italics.

Number consecutively any equations that have to be displayed separate from the text (if referred to explicitly in the text).

Subscripts and superscripts should be clear.

Greek letters and other non-Roman or handwritten symbols should be explained in the margin where they are first used. Take special care to show clearly the difference between zero (0) and the letter O, and between one (1) and the letter l.

Give the meaning of all symbols immediately after the equation in which they are first used. For simple fractions use the solidus (/) instead of a horizontal line.

Equations should be numbered serially at the right-hand side in parentheses. In general only equations explicitly referred to in the text need be numbered.

The use of fractional powers instead of root signs is recommended. Also powers of e are often more conveniently denoted by exp.

Levels of statistical significance which can be mentioned without further explanation are: \*P <0.05, \*\*P <0.01 and \*\*\*P <0.001.

In chemical formulae, valence of ions should be given as, e.g., Ca<sup>2+</sup>, not as Ca<sup>++</sup>. Isotope numbers should precede the symbols, e.g., <sup>18</sup>O.

#### *Footnotes*

Footnotes should be used sparingly. Number them consecutively throughout the article. Many word processors build footnotes into the text, and this feature may be used. Should this not be the case, indicate the position of footnotes in the text and present the footnotes themselves separately at the end of the article.

#### *Electronic artwork*

##### *General points*

- Make sure you use uniform lettering and sizing of your original artwork.
- Preferred fonts: Arial (or Helvetica), Times New Roman (or Times), Symbol, Courier.
- Number the illustrations according to their sequence in the text.
- Use a logical naming convention for your artwork files.
- Indicate per figure if it is a single, 1.5 or 2-column fitting image.
- For Word submissions only, you may still provide figures and their captions, and tables within a single file at the revision stage.
- Please note that individual figure files larger than 10 MB must be provided in separate source files.

A detailed [guide on electronic artwork](#) is available.

**You are urged to visit this site; some excerpts from the detailed information are given here.**

#### *Formats*

Regardless of the application used, when your electronic artwork is finalized, please 'save as' or convert the images to one of the following formats (note the resolution requirements for line drawings, halftones, and line/halftone combinations given below):

EPS (or PDF): Vector drawings. Embed the font or save the text as 'graphics'.

TIFF (or JPG): Color or grayscale photographs (halftones): always use a minimum of 300 dpi.

TIFF (or JPG): Bitmapped line drawings: use a minimum of 1000 dpi.

TIFF (or JPG): Combinations bitmapped line/half-tone (color or grayscale): a minimum of 500 dpi is required.

#### **Please do not:**

- Supply files that are optimized for screen use (e.g., GIF, BMP, PICT, WPG); the resolution is too low.
- Supply files that are too low in resolution.
- Submit graphics that are disproportionately large for the content.

#### *Color artwork*

Please make sure that artwork files are in an acceptable format (TIFF (or JPEG), EPS (or PDF), or MS Office files) and with the correct resolution. If, together with your accepted article, you submit usable color figures then Elsevier will ensure, at no additional charge, that these figures will appear in color online (e.g., ScienceDirect

and other sites) regardless of whether or not these illustrations are reproduced in color in the printed version. **For color reproduction in print, you will receive information regarding the costs from Elsevier after receipt of your accepted article.** Please indicate your preference for color: in print or online only. [Further information on the preparation of electronic artwork.](#)

#### *Figure captions*

Ensure that each illustration has a caption. A caption should comprise a brief title (**not** on the figure itself) and a description of the illustration. Keep text in the illustrations themselves to a minimum but explain all symbols and abbreviations used.

#### **Tables**

Please submit tables as editable text and not as images. Tables can be placed either next to the relevant text in the article, or on separate page(s) at the end. Number tables consecutively in accordance with their appearance in the text and place any table notes below the table body. Be sparing in the use of tables and ensure that the data presented in them do not duplicate results described elsewhere in the article. Please avoid using vertical rules and shading in table cells.

#### **References**

##### *Citation in text*

Please ensure that every reference cited in the text is also present in the reference list (and vice versa). Any references cited in the abstract must be given in full. Unpublished results and personal communications are not recommended in the reference list, but may be mentioned in the text. If these references are included in the reference list they should follow the standard reference style of the journal and should include a substitution of the publication date with either 'Unpublished results' or 'Personal communication'. Citation of a reference as 'in press' implies that the item has been accepted for publication.

##### *Reference links*

Increased discoverability of research and high quality peer review are ensured by online links to the sources cited. In order to allow us to create links to abstracting and indexing services, such as Scopus, CrossRef and PubMed, please ensure that data provided in the references are correct. Please note that incorrect surnames, journal/book titles, publication year and pagination may prevent link creation. When copying references, please be careful as they may already contain errors. Use of the DOI is encouraged.

A DOI can be used to cite and link to electronic articles where an article is in-press and full citation details are not yet known, but the article is available online. A DOI is guaranteed never to change, so you can use it as a permanent link to any electronic article. An example of a citation using DOI for an article not yet in an issue is: VanDecar J.C., Russo R.M., James D.E., Ambeh W.B., Franke M. (2003). Aseismic continuation of the Lesser Antilles slab beneath northeastern Venezuela. *Journal of Geophysical Research*, <http://dx.doi.org/10.1029/2001JB000884i>. Please note the format of such citations should be in the same style as all other references in the paper.

##### *Web references*

As a minimum, the full URL should be given and the date when the reference was last accessed. Any further information, if known (DOI, author names, dates, reference to a source publication, etc.), should also be given. Web references can be listed separately (e.g., after the reference list) under a different heading if desired, or can be included in the reference list.

##### *Data references*

This journal encourages you to cite underlying or relevant datasets in your manuscript by citing them in your text and including a data reference in your Reference List. Data references should include the following elements: author name(s), dataset title, data repository, version (where available), year, and global

persistent identifier. Add [dataset] immediately before the reference so we can properly identify it as a data reference. The [dataset] identifier will not appear in your published article.

#### *References in a special issue*

Please ensure that the words 'this issue' are added to any references in the list (and any citations in the text) to other articles in the same Special Issue.

#### *Reference management software*

Most Elsevier journals have their reference template available in many of the most popular reference management software products. These include all products that support [Citation Style Language styles](#), such as [Mendeley](#) and [Zotero](#), as well as [EndNote](#). Using the word processor plug-ins from these products, authors only need to select the appropriate journal template when preparing their article, after which citations and bibliographies will be automatically formatted in the journal's style.

If no template is yet available for this journal, please follow the format of the sample references and citations as shown in this Guide.

Users of Mendeley Desktop can easily install the reference style for this journal by clicking the following link:

<http://open.mendeley.com/use-citation-style/european-journal-of-agronomy>

When preparing your manuscript, you will then be able to select this style using the Mendeley plug-ins for Microsoft Word or LibreOffice.

#### *Reference formatting*

There are no strict requirements on reference formatting at submission. References can be in any style or format as long as the style is consistent. Where applicable, author(s) name(s), journal title/book title, chapter title/article title, year of publication, volume number/book chapter and the pagination must be present. Use of DOI is highly encouraged. The reference style used by the journal will be applied to the accepted article by Elsevier at the proof stage. Note that missing data will be highlighted at proof stage for the author to correct. If you do wish to format the references yourself they should be arranged according to the following examples:

#### *Reference style*

*Text:* All citations in the text should refer to:

1. *Single author:* the author's name (without initials, unless there is ambiguity) and the year of publication;
2. *Two authors:* both authors' names and the year of publication;
3. *Three or more authors:* first author's name followed by 'et al.' and the year of publication.

Citations may be made directly (or parenthetically). Groups of references should be listed first alphabetically, then chronologically.

Examples: 'as demonstrated (Allan, 2000a, 2000b, 1999; Allan and Jones, 1999). Kramer et al. (2010) have recently shown ....'

*List:* References should be arranged first alphabetically and then further sorted chronologically if necessary. More than one reference from the same author(s) in the same year must be identified by the letters 'a', 'b', 'c', etc., placed after the year of publication.

#### *Examples:*

Reference to a journal publication:

Van der Geer, J., Hanraads, J.A.J., Lupton, R.A., 2010. The art of writing a scientific article. *J. Sci. Commun.* 163, 51–59.

Reference to a book:

Strunk Jr., W., White, E.B., 2000. *The Elements of Style*, fourth ed. Longman, New York.

Reference to a chapter in an edited book:

Mettam, G.R., Adams, L.B., 2009. How to prepare an electronic version of your article, in: Jones, B.S., Smith, R.Z. (Eds.), *Introduction to the Electronic Age*. E-Publishing Inc., New York, pp. 281–304.

Reference to a website:

Cancer Research UK, 1975. Cancer statistics reports for the UK. <http://www.cancerresearchuk.org/aboutcancer/statistics/cancerstatsreport/> (accessed 13.03.03).

Reference to a dataset:

[dataset] Oguro, M., Imahiro, S., Saito, S., Nakashizuka, T., 2015. Mortality data for Japanese oak wilt disease and surrounding forest compositions. Mendeley Data, v1. <http://dx.doi.org/10.17632/xwj98nb39r.1>.

*Journal abbreviations source*

Journal names should be abbreviated according to the [List of Title Word Abbreviations](#).

### **Video**

Elsevier accepts video material and animation sequences to support and enhance your scientific research. Authors who have video or animation files that they wish to submit with their article are strongly encouraged to include links to these within the body of the article. This can be done in the same way as a figure or table by referring to the video or animation content and noting in the body text where it should be placed. All submitted files should be properly labeled so that they directly relate to the video file's content. In order to ensure that your video or animation material is directly usable, please provide the files in one of our recommended file formats with a preferred maximum size of 150 MB. Video and animation files supplied will be published online in the electronic version of your article in Elsevier Web products, including [ScienceDirect](#). Please supply 'stills' with your files: you can choose any frame from the video or animation or make a separate image. These will be used instead of standard icons and will personalize the link to your video data. For more detailed instructions please visit our [video instruction pages](#). Note: since video and animation cannot be embedded in the print version of the journal, please provide text for both the electronic and the print version for the portions of the article that refer to this content.

### **Supplementary material**

Supplementary material such as applications, images and sound clips, can be published with your article to enhance it. Submitted supplementary items are published exactly as they are received (Excel or PowerPoint files will appear as such online). Please submit your material together with the article and supply a concise, descriptive caption for each supplementary file. If you wish to make changes to supplementary material during any stage of the process, please make sure to provide an updated file.

Do not annotate any corrections on a previous version. Please switch off the 'Track Changes' option in Microsoft Office files as these will appear in the published version.

### **RESEARCH DATA**

#### **Database linking**

Elsevier encourages authors to connect articles with external databases, giving readers access to relevant databases that help to build a better understanding of the described research. Please refer to relevant database identifiers using the following format in your article: Database: xxxx (e.g., TAIR: AT1G01020; CCDC: 734053; PDB: 1XFN). [More information and a full list of supported databases](#).

#### **Data deposit and linking**

Elsevier encourages and supports authors to share raw data sets underpinning their research publication where appropriate and enables interlinking of articles and data. [More information on depositing, sharing and using research data](#).

#### **AudioSlides**

The journal encourages authors to create an AudioSlides presentation with their published article.

AudioSlides are brief, webinar-style presentations that are shown next to the online article on ScienceDirect. This gives authors the opportunity to summarize their

research in their own words and to help readers understand what the paper is about. [More information and examples are available](#). Authors of this journal will automatically receive an invitation e-mail to create an AudioSlides presentation after acceptance of their paper.

### **Interactive plots**

This journal enables you to show an Interactive Plot with your article by simply submitting a data file. [Full instructions](#).

## **AFTER ACCEPTANCE**

### **Online proof correction**

Corresponding authors will receive an e-mail with a link to our online proofing system, allowing annotation and correction of proofs online. The environment is similar to MS Word: in addition to editing text, you can also comment on figures/tables and answer questions from the Copy Editor.

Web-based proofing provides a faster and less error-prone process by allowing you to directly type your corrections, eliminating the potential introduction of errors.

If preferred, you can still choose to annotate and upload your edits on the PDF version. All instructions for proofing will be given in the e-mail we send to authors, including alternative methods to the online version and PDF.

We will do everything possible to get your article published quickly and accurately. Please use this proof only for checking the typesetting, editing, completeness and correctness of the text, tables and figures. Significant changes to the article as accepted for publication will only be considered at this stage with permission from the Editor. It is important to ensure that all corrections are sent back to us in one communication. Please check carefully before replying, as inclusion of any subsequent corrections cannot be guaranteed. Proofreading is solely your responsibility.

### **Offprints**

The corresponding author will, at no cost, receive a customized [Share Link](#) providing 50 days free access to the final published version of the article on [ScienceDirect](#). The Share Link can be used for sharing the article via any communication channel, including email and social media. For an extra charge, paper offprints can be ordered via the offprint order form which is sent once the

article is accepted for publication. Both corresponding and co-authors may order offprints at any time via Elsevier's [Webshop](#). Corresponding authors who have published their article open access do not receive a Share Link as their final published version of the article is available open access on ScienceDirect and can be shared through the article DOI link.

## **AUTHOR INQUIRIES**

Visit the [Elsevier Support Center](#) to find the answers you need. Here you will find everything from Frequently Asked Questions to ways to get in touch.

You can also [check the status of your submitted article](#) or find out [when your accepted article will be published](#).

## 6 VITA

Fernanda Gomes Moojen é filha de Juliana Brugine Gomes e Eduardo Londero Moojen (*in memoriam*). Nasceu em 11 de março de 1991, no município de Santa Maria, Rio Grande do Sul. cursou ensino fundamental no colégio Objetivo, em sua cidade natal, e ensino médio no colégio Divino Mestre/Positivo em Tupanciretã, sendo o segundo grau finalizado no ano de 2008. Em 2009 ingressou no curso de graduação em Agronomia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Durante o curso de graduação, atuou na iniciação científica voluntariamente e como bolsista CNPq, FAPERGS e BIT/UFRGS. Recebeu três premiações, sendo elas: Destaque Produção Animal – Ruminantes no XXII Salão de Iniciação Científica da UFRGS em 2010, Destaque Ciências Agrárias no IX Salão de Ensino UFRGS em 2013 e Prêmio UFRGS Talento Inovador na Feira de Inovação Tecnológica da UFRGS – FINOVA em 2014. Fez intercâmbio acadêmico na *Universidad Nacional de Asunción*, em San Lorenzo/Paraguai. Realizou estágios técnicos no Rio Grande do Sul, Mato Grosso, Minas Gerais, Argentina e Nova Zelândia. Concluiu a graduação em dezembro de 2014. Em janeiro de 2015, acompanhou projetos de pesquisa na área de plantas forrageiras na The Ohio State University. Em 2015 ingressou no curso de Mestrado junto ao Programa de Pós-graduação em Zootecnia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, sendo bolsista CNPq.