

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

RENATA FRANCIÉLI MORAES

SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA: IMPLICAÇÕES DA
PRESENÇA DE LAVOURA DE GRÃOS E ÁRVORES SOBRE A PASTAGEM E A
PRODUÇÃO ANIMAL

CURITIBA

2022

RENATA FRANCIÉLI MORAES

SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA: IMPLICAÇÕES DA
PRESENÇA DE LAVOURA DE GRÃOS E ÁRVORES SOBRE A PASTAGEM E A
PRODUÇÃO ANIMAL

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em
Agronomia, Área de Concentração em Produção Vegetal,
Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do
Paraná, como parte das exigências para obtenção do
título de Doutora em Ciências.

Orientador: Prof. Dr. Anibal de Moraes

Coorientador: Prof. Dr. Leandro Bittencourt de Oliveira

CURITIBA

2022

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SISTEMA DE BIBLIOTECAS – BIBLIOTECA DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

Moraes, Renata Francieli

Sistemas integrados de produção agropecuária: implicações da presença de lavoura de grãos e árvores sobre a pastagem e a produção animal/ Renata Francieli Moraes. – Curitiba, 2022. 1 recurso online: PDF.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Produção Vegetal).

Orientador: Prof. Dr. Anibal de Moraes

Coorientador: Prof. Dr. Leandro Bittencourt de Oliveira

1. Pastagem. 2. Pecuária. 3. Eucalipto. 4. Sistema de cultivo. I. Moraes, Anibal de. II. Oliveira, Leandro Bittencourt de. III. Universidade Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Produção Vegetal). IV. Título.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO AGRONOMIA
(PRODUÇÃO VEGETAL) - 40001016031P6

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação AGRONOMIA (PRODUÇÃO VEGETAL) da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da tese de Doutorado de **RENATA FRANCIÉLI MORAES** intitulada: **SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA: IMPLICAÇÕES DA PRESENÇA DE LAVOURA DE GRÃOS E ÁRVORES SOBRE A PASTAGEM E A PRODUÇÃO ANIMAL**, sob orientação do Prof. Dr. ANIBAL DE MORAES, que após terem inquirido a aluna e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua **APROVAÇÃO** no rito de defesa.

A outorga do título de doutora está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 02 de Setembro de 2022.

Assinatura Eletrônica

05/09/2022 10:04:27.0

ANIBAL DE MORAES

Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica

08/09/2022 13:40:18.0

JEAN CARLOS MEZZALIRA

Avaliador Externo (CONSULTORIA EM SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA)

Assinatura Eletrônica

14/09/2022 08:52:33.0

TIAGO CELSO BALDISSERA

Avaliador Externo (EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA)

Assinatura Eletrônica

08/09/2022 08:08:52.0

LEANDRO BITTENCOURT DE OLIVEIRA

Coorientador(a)

Rua dos Funcionários, 1540 - CURITIBA - Paraná - Brasil
CEP 80035-050 - Tel: (41) 3350-5601 - E-mail: pgapv@ufpr.br

Documento assinado eletronicamente de acordo com o disposto na legislação federal Decreto 8539 de 08 de outubro de 2015.

Gerado e autenticado pelo SIGA-UFPR, com a seguinte identificação única: 220121

Para autenticar este documento/assinatura, acesse <https://www.prppg.ufpr.br/siga/visitante/autenticacaoassinaturas.jsp> e insira o código 220121

AGRADECIMENTOS

À Deus, por estar sempre me guiando e ser minha força nos momentos difíceis.

Aos meus pais, Ilma Gracietti Moraes e Pedro Paulo Moraes, pela vida, pelo amor incondicional e pelos esforços incessantes para a conclusão dos meus estudos.

Aos meus irmãos, Patrick e Renato, por todo o carinho, incentivo e apoio.

Ao meu namorado, Antonio Eduardo Coelho, pelo amor, companheirismo e ajuda nos momentos difíceis.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Anibal de Moraes, pela acolhida no grupo de pesquisa, pela oportunidade, pelos ensinamentos e pelos anos de convivência.

Ao meu coorientador Prof. Dr. Leandro Bittencourt de Oliveira, pela contribuição e conhecimentos compartilhados.

A todos os professores pela atenção, auxílio e pelos ensinamentos ao longo desses anos.

À minha amiga, Daniela Maria Martin, que trilhamos juntas essa jornada desde o início do mestrado e que foi parte fundamental para a realização desse trabalho.

Aos meus colegas do Núcleo de Inovação Tecnológica em Agropecuária (NITA), Barbara Elis Santos Ruthes, Breno Menezes de Campos, Carlos Franco, Charles Leonel Sanches, Silvano Kruchelski e Thales Baggio Portugal, pelo convívio, pela ajuda e pela amizade.

Aos funcionários do Departamento de Fitotecnia e Fitossanidade pelo auxílio e aos funcionários da Fazenda Experimental Canguiri, por todo o trabalho na área experimental.

A todos os estagiários que passaram pelo NITA ao longo desses anos, por toda a colaboração nas avaliações do experimento.

A Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (Capes), pela concessão da bolsa de estudos.

A todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para este trabalho e fizeram parte da minha formação. Minha eterna gratidão!

“Temos que continuar aprendendo. Temos que estar abertos. E temos que estar prontos para espalhar nosso conhecimento a fim de chegar a uma compreensão mais elevada da realidade.”

Thich Nhat Hanh

RESUMO

O ecossistema pastoril é um ambiente complexo devido as interações que ocorrem simultaneamente entre as plantas e os herbívoros. Quando o componente pastoril é inserido em um sistema agrícola e/ou florestal, são adicionados outros elementos que aumentam ainda mais o nível de complexidade, pela maior quantidade de interações. Com isso, torna-se necessário um maior entendimento da dinâmica da comunidade de espécies forrageiras em sistemas integrados, especialmente em sistemas de cultivo sem uso de pesticidas. Diante disso, este trabalho foi conduzido com objetivo de avaliar os efeitos de diferentes combinações de sistemas integrados de produção agropecuária sobre as variáveis de produção do pasto, distribuição de alturas do pasto, composição de espécies forrageiras e desempenho animal, em Área de Proteção Ambiental. Os tratamentos consistiram em quatro sistemas de produção com pecuária: pecuária (PEC), pecuária-floresta (PF), lavoura-pecuária (LP) e lavoura-pecuária-floresta (LPF). O delineamento experimental foi o de blocos completos casualizados. O método de pastoreio foi o contínuo com lotação variável. Em todos os sistemas o pasto era composto por aveia preta (*Avena strigosa* Schreb), *Megathyrsus maximus* cv. Áries, azevém (*Lolium multiflorum* Lam.) e outras poáceas. Nos sistemas com árvore foi utilizado o *Eucalyptus benthamii* e nos sistemas com a presença da lavoura a cultura agrícola foi o milho (*Zea mays*). Avaliou-se a as variáveis relacionadas a produção do pasto, o desempenho animal, a distribuição das alturas do pasto e a composição das espécies forrageiras. A massa de forragem, taxa de acúmulo, acúmulo total e densidade de forragem foram menores nos sistemas PF e LPF. Apesar disso, a taxa de lotação, o ganho médio diário e o ganho por área de peso vivo animal foram semelhantes entre os sistemas. No inverno a produção de forragem foi menor, o que impactou na redução da taxa de lotação, em contrapartida no verão houve aumento da produção do pasto e conseqüentemente maior taxa de lotação. O manejo por meio de uma meta de altura promoveu uma frequência média de alturas da classe ótima em torno de 46%, com os maiores valores encontrados nos sistemas com árvores que também apresentaram menor heterogeneidade. O sistema de LP teve maior diversidade de espécies devido ao aumento na frequência de azevém e outras poáceas. A distribuição gama foi a que melhor descreveu as frequências de altura dos sistemas estudados. Portanto, a integração com a lavoura não influenciou nas características de produção da pastagem e desempenho animal, porém aumentou a diversidade de espécies. A integração com árvores apresentou menor amplitude de distribuição de altura, indicando menor heterogeneidade do pasto, além disso reduziu a produção de forragem, porém sem afetar o desempenho animal.

Palavras-chave: pastagem, pecuária, eucalipto, sistemas de cultivo, intensificação sustentável

ABSTRACT

The pastoral ecosystem is a complex environment due to the interactions that occur simultaneously between plants and herbivores. When the pastoral component is inserted into an agricultural and/or forestry system, other elements are added that further increase the level of complexity, due to the greater number of interactions. Thus, a better understanding of the community dynamics of forage species in integrated systems is necessary, especially in cropping systems without the pesticide-free. Therefore, this work was carried out with the objective of evaluating the effects of different combinations of integrated crop livestock systems on the variables of pasture production, distribution of pasture height, composition of forage species and animal performance, s in an environmental preservation area (EPA). The treatments consisted of four livestock production systems: livestock (L), livestock-forest (LF), crop-livestock (CL) and crop-livestock-forest (CLF). The experimental design was complete randomized blocks. The grazing method was continuous with variable stocking. In all systems, the pasture consisted of the presence of black oat (*Avena strigosa* Schreb), *Megathyrsus maximus* cv. Aries, ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.) and other poaceae. In the systems with trees, *Eucalyptus benthamii* was used and in the systems with the presence of the crop, the agricultural crop was maize (*Zea mays*). The variables related to pasture production, animal performance, distribution of pasture heights and composition of forage species were evaluated. Herbage mass, accumulation rate, total accumulation and herbage bulk density were lower in LF and CLF systems. Despite this, stocking rate, average daily gain and gain per area of live weight were similar between the systems. In winter, forage production was lower, which had an impact on the reduction of stocking rate, on the other hand, in summer there was an increase in forage production and, consequently, greater stocking rate. Management using a height target promoted a mean frequency of heights of the optimum class of around 46%, with the highest values found in systems with trees that also showed less heterogeneity. The CL system had greater species diversity due to the increased frequency of Italian ryegrass and other grasses. The gamma distribution best described the height frequencies of the systems studied. Therefore, the integration with the crop did not influence the characteristics of forage production and animal performance, but increased the diversity of species. The integration with trees showed a smaller width of height distribution, indicating less heterogeneity of the pasture, it also reduced forage production, but without affecting animal performance.

Keywords: pasture, livestock, eucalyptus, crop systems, sustainable intensification

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

Figura 1 - Temperatura máxima (Tmax), mínima (Tmin) e média (Tmédia), e precipitação acumulada mensal (mm) para o período de abril de 2018 a abril de 2021	24
Figura 2 - Croqui e imagem aérea da disposição dos blocos e dos sistemas pecuária (PEC), pecuária-floresta (PF), lavoura-pecuária (LP) e lavoura-pecuária-floresta (LPF). Pinhais – PR.....	25
Figura 3 – Classes de altura para o período de inverno (a), primavera (b) e verão (c), de acordo com o manejo adotado para as espécies de aveia (classe baixa, menor que 18 cm; classe ótima, 18 a 30 cm; classe alta, acima de 30 cm) e de Aries (classe baixa, menor que 15 cm; classe ótima, 15 a 25 cm; classe alta, acima de 25 cm), nos sistemas de produção pecuária (PEC, pecuária; PF, pecuária-floresta; LP, lavoura-pecuária; LPF, lavoura-pecuária-floresta)	30
Figura 4 - Composição da massa de forragem por espécie em colmo+bainha, lâmina foliar e material senescente nas estações de inverno (a), primavera (b) e verão (c) nos sistemas de produção pecuária (PEC, pecuária; PF, pecuária floresta)	31
Figura 5 - Massa de forragem em cada estação nos diferentes sistemas de produção pecuária (PEC, pecuária; PF, pecuária-floresta; LP, lavoura-pecuária; LPF, lavoura-pecuária-floresta)	32
Figura 6 - Taxa de lotação em cada estação nos diferentes sistemas de produção pecuária (PEC, pecuária; PF, pecuária-floresta; LP, lavoura-pecuária; LPF, lavoura-pecuária-floresta)	34

CAPÍTULO II

Figure 1 - Representation of temporal rotation schemes over seven years and the arrangement of the experimental protocol systems in which the evaluations were conducted (L, livestock; LF, livestock-forestry; CL, crop-livestock; CLF, crop-livestock-forestry)	63
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

Figure 2 - Average sward height in winter (a) and summer (b) in livestock production systems (L, livestock; LF, livestock-forestry; CL, crop-livestock; CLF, crop-livestock-forestry)	63
Figure 3 - Height classes for the winter (a) (low class, smaller than 18 cm; optimum class, 18 to 30 cm; high class, over 30 cm) and summer (b) (low class, smaller than 15 cm; optimum class, 15 to 25 cm; high class, over 25 cm); seasons in livestock production systems (L, livestock; LF, livestock-forestry; CL, crop-livestock; CLF, crop-livestock-forestry)	64
Figure 4 - Frequency of species composition in livestock production systems during the winter (a), transition (b), and summer (c) seasons (L, livestock; LF, livestock-forestry; CL, crop-livestock; CLF, crop-livestock-forestry)	65
Figure 5 - Frequency of sward height distribution for each species and period in the different livestock production systems (L, livestock; LF, livestock-forestry; CL, crop-livestock; CLF, crop-livestock-forestry).....	66
Figure 6 - Fitting the distributions (normal, gamma, log-normal, and Weibull) for the pasture height frequencies in the winter and summer period in livestock production systems (L, livestock; LF, livestock-forestry; CL, crop-livestock; CLF, crop-livestock-forestry).....	68

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

Tabela 1 – Doses e nutrientes utilizados em cada estação para a adubação dos diferentes sistemas de produção pecuária (PEC, pecuária; PF, pecuária-floresta; LP, lavoura-pecuária; LPF, lavoura-pecuária-floresta).	27
Tabela 2 - Taxa de acúmulo de forragem, acúmulo total de forragem e densidade de forragem em cada estação nos diferentes sistemas de produção pecuária (PEC, pecuária; PF, pecuária-floresta; LP, lavoura-pecuária; LPF, lavoura-pecuária-floresta).	33
Tabela 3 - Ganho médio diário de peso vivo (GMD) e ganho total de peso vivo por área por dia (GPV) em cada estação nos diferentes sistemas de produção pecuária (PEC, pecuária; PF, pecuária-floresta; LP, lavoura-pecuária; LPF, lavoura-pecuária-floresta).	35

CAPÍTULO II

Table 1 - Akaike's information criterion for four theoretical distributions fitted for grazing height frequencies in two periods (winter and summer) and four livestock production systems (L, livestock; LF, livestock-forestry; CL, crop- livestock; CLF, crop- livestock-forestry).	67
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	15
1.1	REFERÊNCIAS	17
2	CAPÍTULO I - O efeito das árvores e da lavoura na produtividade da pastagem e a resposta animal em sistemas integrados de produção agropecuária	20
2.1	INTRODUÇÃO.....	22
2.2	MATERIAIS E MÉTODOS.....	23
2.2.1	Área experimental.....	23
2.2.2	Tratamentos e delineamento experimental.....	24
2.2.3	Adubação e manejo do pasto	26
2.2.4	Avaliações do pasto.....	27
2.2.5	Avaliações dos animais	28
2.2.6	Análise estatística	28
2.3	RESULTADOS	29
2.3.1	Características do pasto	29
2.3.2	Desempenho animal.....	33
2.4	DISCUSSÃO.....	35
2.5	CONCLUSÕES.....	38
2.6	REFERÊNCIAS	39
3	CAPÍTULO II - Frequency distribution of sward heights and forage species composition in different integrated crop livestock systems	44
3.1	INTRODUCTION	46
3.2	MATERIAL AND METHODS	47
3.2.1	Experimental area.....	47
3.2.2	Treatments and experimental design.....	48
3.2.3	Fertilization and pasture management.....	49
3.2.4	Pasture evaluations	50
3.2.5	Statistical analysis	51
3.3	RESULTS	52
3.3.1	Average sward height	52
3.3.2	Height frequency and classes.....	52
3.3.3	Frequency of forage species.....	52
3.3.4	Fitting the height distributions	53
3.4	DISCUSSION	54

3.4.1	Pasture management target	54
3.4.2	Height frequency and distribution	54
3.4.3	Forage species composition	56
3.5	CONCLUSIONS	57
3.6	REFERENCES	58
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	69
	REFERÊNCIAS GERAIS	69
	ANEXOS.....	81

1 INTRODUÇÃO GERAL

Com as projeções de aumento da população mundial estima-se que a demanda por alimentos aumente de 35 a 56% até 2050 (Van Dijk et al., 2021), o que torna indispensável a intensificação da produção. Contudo, é primordial o desenvolvimento de sistemas de produção que sejam capazes de conciliar aumento de produtividade com sustentabilidade (Beltran-Peña et al., 2020). Para isso, é necessário a adoção de modelos produtivos que contenham maior diversidade e menor dependência de insumos externos, visando a melhoria da eficiência de produção e minimizando os impactos ao ambiente (Pretty, 2008; Garibaldi et al., 2017). Além disso, a diversificação de espécies promove produções mais estáveis e que apresentam riscos menores quando submetidos a eventos climáticos extremos (Gaudin et al., 2015; Peterson et al., 2018).

Nas últimas décadas a intensificação da produção de alimentos foi baseada especialmente em sistemas de produção especializados, que possuem grande dependência de insumos, pesticidas e de recursos não renováveis (Hedlund et al., 2019; Lemaire et al., 2014). Embora esse modelo produtivo tenha trazido muitos benefícios e progressos para a agricultura, especialmente em relação a ganhos de produtividade, tais avanços foram obtidos com um alto custo ambiental que é incompatível com a crescente demanda por sistemas mais sustentáveis. Entre alguns prejuízos ambientais destaca-se a degradação do solo, redução da biodiversidade, contaminação dos cursos de água e elevação da concentração dos gases do efeito estufa (Franzluebbers et al., 2011).

A alternativa de integração dos componentes agrícola e pecuária tem se tornado uma alternativa promissora para a intensificação sustentável da produção de alimentos (Peterson et al., 2020). Nesse contexto, de acordo com a FAO (2010) os sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA) se destacam por atender boa parte das exigências contemporâneas relacionadas a produção de alimentos e fibras, garantindo a segurança alimentar e a mitigação dos impactos ambientais. O planejamento é o principal diferencial desses sistemas de produção, pois a partir disso é possível explorar os sinergismos das interações entre os compartimentos solo-planta-animal-atmosfera em diferentes escalas espaço-temporais (Moraes et al., 2014; Carvalho et al., 2018).

Quanto maior a diversidade de espécies, maior é o grau de complexidade das interações entre os fatores bióticos (plantas e animais) e abióticos (água, nutrientes, radiação solar e temperatura) envolvidos. Um dos fatores responsáveis pelo incremento na complexidade é a inserção do componente animal, que por meio da desfolha, do pisoteio e da distribuição de dejetos introduz variabilidade ao sistema (Anghinoni et al., 2013). Dependendo da magnitude da heterogeneidade isso pode trazer prejuízos ao sistema, em decorrência do subpastejo em alguns locais e superpastejo em outros, sendo este último o responsável pelo surgimento de manchas com maior pisoteio e solo descoberto, que aumenta a degradação física do solo e o aparecimento de plantas invasoras (Soares et al., 2018). No entanto, a existência de heterogeneidade é um fator importante para o manejo sustentável dos ecossistemas, pois permite aos animais a seleção de uma dieta melhor que a média disponível (Parsons & Dumont, 2003). Porém, é necessário melhor entendimento da dinâmica de ocorrência da heterogeneidade (Provenza et al., 2015), especialmente em sistemas integrados com outros componentes, onde em virtude da complexidade das interações existe uma maior dificuldade de compreensão desses processos.

Além dos efeitos que o processo de pastejo dos animais causa sobre a pastagem, também é importante entender a influência da presença das árvores na dinâmica do crescimento das espécies forrageiras, tendo em vista que a competição por luz é uma das principais limitações a produtividade do pasto (Lima et al., 2019). O sombreamento ocasionado pela copa das árvores tem impacto tanto na quantidade de radiação recebida pelo dossel forrageiro, quanto na qualidade que sofre mudanças na proporção dos comprimentos de onda, resultando em alterações na produtividade e no valor nutricional das espécies forrageiras (Jose et al., 2019). Dessa forma, as plantas desenvolvem estratégias adaptativas que visam minimizar os efeitos das condições de redução da luminosidade. Entre algumas destas adaptações está o aumento da relação parte aérea/raiz, com o objetivo de maximizar a interceptação de luz, para isso ocorre um aumento na área foliar e diminuição na espessura da folha. Além disso, há uma redução nos tecidos de suporte, diminuindo o peso por perfilho e a densidade de perfilhos (Pontes et al., 2017; Gómez et al., 2013). Essas respostas adaptativas costumam variar dependendo da intensidade de sombreamento que as plantas estão submetidas e da espécie utilizada, pois as espécies forrageiras apresentam níveis distintos de tolerância a sombra.

A presente tese está organizada em dois capítulos que investigou o efeito de diferentes arranjos de sistemas integrados de produção agropecuária sobre as características da pastagem e a resposta em desempenho animal. No Capítulo I, é abordado o impacto da presença do componente agrícola e florestal em diferentes períodos do ano sobre as características da pastagem e, conseqüentemente, no desempenho dos animais. No Capítulo II, é apresentado o comportamento das distribuições de altura do pasto e a composição de espécies forrageiras em função da integração com o componente agrícola e florestal.

1.1 REFERÊNCIAS

- Anghinoni, I., Carvalho, P. D. F., & Costa, S. D. A. (2013). Abordagem sistêmica do solo em sistemas integrados de produção agrícola e pecuária no subtropical brasileiro. *Tópicos em ciência do solo*, 8(2), 325-380.
- Beltran-Peña, A., Rosa, L., & D'Odorico, P. (2020). Global food self-sufficiency in the 21st century under sustainable intensification of agriculture. *Environmental Research Letters*, 15(9), 095004.
- Carvalho, P. C. D. F., Barro, R. S., Barth Neto, A., Nunes, P. A. D. A., Moraes, A. D., Anghinoni, I., Bredemeier, C., Bayer, C., Martins, A. P., Kunrath, T. R., Santos, D. T., Carmona, F. C., Barros, T., Souza Filho, W., Almeida, G. M., Caetano, L. A. M., Cecagno, D., Arnuti, F., Denardin, L. G. O., Bonetti, J. A., Toni, C. A. G., & Borin, J. B. M. (2018). Integrating the pastoral component in agricultural systems. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 47, 1-12.
- FAO. An international consultation on integrated crop livestock systems for development: The way forward for sustainable production intensification. *Integrated Crop Management*, (13), 64p., 2010.
- Franzluebbers, A. J., Sulc, R. M., & Russelle, M. P. (2011). Opportunities and challenges for integrating North-American crop and livestock systems. *Grassland*

Productivity and Ecosystems Services. CAB International, London, 208-217.

- Garibaldi, L. A., Gemmill-Herren, B., D'Annolfo, R., Graeub, B. E., Cunningham, S. A., & Breeze, T. D. (2017). Farming approaches for greater biodiversity, livelihoods, and food security. *Trends in ecology & evolution*, 32(1), 68-80.
- Gaudin, A. C., Tolhurst, T. N., Ker, A. P., Janovicek, K., Tortora, C., Martin, R. C., & Deen, W. (2015). Increasing crop diversity mitigates weather variations and improves yield stability. *PloS one*, 10(2), 1-20.
- Gómez, S., Guenni, O., & Bravo de Guenni, L. (2013). Growth, leaf photosynthesis and canopy light use efficiency under differing irradiance and soil N supplies in the forage grass *Brachiaria decumbens* Stapf. *Grass and Forage Science*, 68(3), 395-407.
- Hedlund, J., Longo, S. B., & York, R. (2019). Agriculture, pesticide use, and economic development: a global examination (1990–2014). *Rural Sociology*, 85(2), 519-544.
- Jose, S., Walter, D., & Mohan Kumar, B. (2019). Ecological considerations in sustainable silvopasture design and management. *Agroforestry Systems*, 93(1), 317-331.
- Lemaire, G., Franzluebbers, A., de Faccio Carvalho, P. C., & Dedieu, B. (2014). Integrated crop–livestock systems: Strategies to achieve synergy between agricultural production and environmental quality. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 190, 4-8.
- Lima, M. A., Paciullo, D. S., Morenz, M. J., Gomide, C. A., Rodrigues, R. A., & Chizzotti, F. H. (2019). Productivity and nutritive value of *Brachiaria decumbens* and performance of dairy heifers in a long-term silvopastoral system. *Grass and Forage Science*, 74(1), 160-170.
- Moraes, A., Carvalho, P. C. F., Anghinoni, I., Lustosa, S. B. C., de Andrade, S. E. V. G., & Kunrath, T. R. (2014). Integrated crop–livestock systems in the Brazilian

subtropics. *European Journal of Agronomy*, 57, 4-9.

Parsons, A. J., & Dumont, B. (2003). Spatial heterogeneity and grazing processes. *Animal research*, 52(2), 161-179.

Peterson, C. A., Eviner, V. T., & Gaudin, A. C. (2018). Ways forward for resilience research in agroecosystems. *Agricultural Systems*, 162, 19-27.

Peterson, C. A., Deiss, L., & Gaudin, A. C. (2020). Commercial integrated crop-livestock systems achieve comparable crop yields to specialized production systems: A meta-analysis. *PloS one*, 15(5), e0231840.

Pontes, L. D. S., Carpinelli, S., Stafin, G., Porfírio-da-Silva, V., & Santos, B. R. D. (2017). Relationship between sward height and herbage mass for integrated crop-livestock systems with trees. *Grassland Science*, 63(1), 29-35.

Pretty, J. (2008). Agricultural sustainability: concepts, principles and evidence. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 363(1491), 447-465.

Provenza, F. D., Gregorini, P., & Carvalho, P. C. F. (2015). Synthesis: foraging decisions link plants, herbivores and human beings. *Animal Production Science*, 55(3), 411-425.

Soares, A. B., Missio, R. L., Schmitt, D., Aiolfi, R. B., & Deifeld, f. L. C. (2018). Componente animal em sistemas integrados de produção agropecuária. In: Edicarlos Damascena de Souza (Ed.), *Sistemas integrados de produção agropecuária no Brasil*. (p. 187-210). Copiart.

Van Dijk, M., Morley, T., Rau, M. L., & Saghai, Y. (2021). A meta-analysis of projected global food demand and population at risk of hunger for the period 2010–2050. *Nature Food*, 2 (7), 494-501.

2 CAPÍTULO I - O EFEITO DAS ÁRVORES E DA LAVOURA NA PRODUTIVIDADE DA PASTAGEM E A RESPOSTA ANIMAL EM SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA

RESUMO

A integração do componente pastoril com a lavoura ou com árvores pode trazer diversos benefícios para os sistemas. Porém, é necessário um maior entendimento do impacto das interações entre os componentes do sistema sobre a comunidade de espécies forrageiras e a produção animal. Este trabalho foi conduzido com o objetivo de avaliar as características do pasto e a resposta animal em diferentes modelos de sistemas integrados de produção agropecuária sem uso de pesticidas. Para isso, foram investigados quatro sistemas de produção pecuária: pecuária (PEC), pecuária-floresta (PF), lavoura-pecuária (LP) e lavoura-pecuária-floresta (LPF). Durante três anos foram avaliadas as características do pasto e o desempenho de bovinos nas estações de inverno, primavera e verão, em pastos compostos por aveia preta (*Avena strigosa* Schreb), capim áries (*Megathyrsus maximus* cv. Áries), azevém (*Lolium multiflorum* Lam.) e outras poáceas tropicais. Os sistemas PF e LPF apresentaram menor massa de forragem ($2018 \text{ kg}^{-1} \text{ MS ha}^{-1}$), taxa de acúmulo ($36 \text{ kg MS ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$), acúmulo total ($3287 \text{ kg MS ha}^{-1}$) e densidade de forragem ($107 \text{ kg MS cm}^{-1} \text{ ha}^{-1}$). Apesar disso, a taxa de lotação, o ganho médio diário e o ganho por área de peso vivo animal foram semelhantes entre os sistemas, com média de $695 \text{ kg PV ha}^{-1}$, $0,819 \text{ kg animal}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ e $1,9 \text{ kg PV ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$, respectivamente. De forma geral, no inverno a produção de forragem foi menor ($2339 \text{ kg MS ha}^{-1}$), o que impactou na redução da taxa de lotação ($452 \text{ kg PV ha}^{-1}$), em contrapartida no verão houve aumento da produção do pasto ($5243 \text{ kg MS ha}^{-1}$) e conseqüentemente maior taxa de lotação ($1108 \text{ kg PV ha}^{-1}$). Portanto, embora as características do pasto nos sistemas com árvores foram impactadas negativamente, todos os sistemas se mostraram como alternativas viáveis para a produção pecuária.

Palavras-chave: aveia, *Megathyrsus maximus*, manejo de pastagem, sombreamento, desempenho animal

ABSTRACT

The integration of the pastoral component with the crop or with trees can bring several benefits to the systems. However, a better understanding of the impact of interactions between system components on forage species community and animal production is needed. This work was carried out with the objective of evaluating forage characteristics and animal response in different models of integrated crop livestock systems pesticide-free. For this, four livestock production systems were investigated: livestock (L), livestock-forest (LF), crop-livestock (CL) and crop-livestock-forest (CLF). For three years, pasture characteristics and cattle performance were evaluated in the winter, spring and summer seasons, in pastures composed of black oat (*Avena strigosa* Schreb), aries grass (*Megathyrsus maximus* cv. Aries), Italian ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.) and other tropical grasses. The LF and CLF systems showed lower herbage mass ($2018 \text{ kg}^{-1} \text{ DM ha}^{-1}$), accumulation rate ($36 \text{ kg DM ha}^{-1} \text{ day}^{-1}$), total accumulation ($3287 \text{ kg DM ha}^{-1}$) and herbage bulk density ($107 \text{ kg DM cm}^{-1} \text{ ha}^{-1}$). Despite this, stocking rate, average daily gain and gain per area of live weight were similar between the systems, with an average of $695 \text{ kg LW ha}^{-1}$, $0.819 \text{ kg animal}^{-1} \text{ day}^{-1}$ and $1.9 \text{ kg LW ha}^{-1} \text{ day}^{-1}$, respectively. In general, in winter, herbage production was lower ($2339 \text{ kg DM ha}^{-1}$), which had an impact on the reduction of stocking rate ($452 \text{ kg LW ha}^{-1}$), on the other hand, in summer, there was an increase in herbage production ($5243 \text{ DM kg ha}^{-1}$) and, consequently, greater stocking rate ($1108 \text{ kg PV ha}^{-1}$). Therefore, although forage characteristics in tree systems were negatively impacted, all systems proved to be viable alternatives for livestock production.

Keywords: black oat, *Megathyrsus maximus*, pasture management, shading, animal performance

2.1 INTRODUÇÃO

A necessidade de aumentar a produção de alimentos de forma sustentável, pressiona o setor agropecuário por mudanças que conciliem maior eficiência de produção com preservação dos recursos naturais, o que é um desafio para os sistemas agrícolas. Segundo Jaquet et al. (2022), os sistemas produtivos tornaram-se mais especializados e simplificados, acarretando na dependência e aumento do uso de insumos e pesticidas, inclusive em sistemas pastoris. O Brasil é o segundo maior produtor de carnes do mundo (USDA, 2022), com um sistema de produção baseado principalmente no uso de pastagens, que é a forma mais econômica de fornecer alimentos aos animais (Ferraz & Felicio, 2010). Isso reforça a importância de estudos que investigam o desenvolvimento de novos modelos produtivos que visam atender a essa nova demanda.

Nesse sentido, os Sistemas Integrados de Produção Agropecuária (SIPA) representam uma alternativa promissora para a intensificação sustentável da produção pecuária (Salton et al., 2014). Nestes sistemas é possível otimizar a produção por unidade de área e de insumo utilizado, em função do sinergismo entre os componentes solo-planta-animal (Carvalho et al., 2018). Além disso, a integração de diferentes espécies resulta em um aumento na lucratividade e redução de riscos, devido a menor vulnerabilidade às flutuações do mercado e a diversificação das fontes de renda (Ryschawy et al., 2012; Oliveira et al., 2013).

Por outro lado, o aumento da complexidade do sistema amplia o desafio de minimizar as interações negativas que podem ocorrer devido a competição entre os componentes do sistema e maximizar as interações positivas (Jose et al., 2019). Em sistemas integrados com árvores, as alterações no microclima do sub-bosque podem resultar em mudanças na produção da pastagem, devido ao sombreamento que impacta na quantidade e qualidade da luz recebida pelo dossel forrageiro. Além disso, a magnitude da resposta das forrageiras ao sombreamento é variável entre espécies de verão (via fotossintética C4) e espécies de inverno (via fotossintética C3) (Gardner et al., 1985). De maneira geral, dependendo da intensidade do sombreamento as plantas forrageiras desenvolvem alguns mecanismos de adaptação, como redução do perfilhamento, alongamento do colmo, aumento da razão parte aérea/raiz, entre outros (Pontes et al., 2017; Gómez et al., 2013).

Além da redução na radiação, a inserção de árvores afeta o microclima, modificando a sazonalidade da produção do pasto. Por exemplo, por reduzir a amplitude térmica no inverno a ocorrência de geadas é menor na presença de árvores. Isso pode resultar em sistemas que apresentam menor variabilidade de produção ao longo do ano. Por outro lado, a integração de pecuária com lavoura, especialmente em sistemas que não utilizam defensivos químicos, pode influenciar na ciclagem de nutrientes e na composição de espécies, aumentando a eficiência de uso dos nutrientes e a diversidade de plantas, podendo influenciar na produção do pasto e consequentemente no desempenho dos animais em pastejo. Vários estudos recentes em SIPA foram conduzidos utilizando diversas espécies e arranjos de sistemas com objetivo de avaliar a produção do pasto e o desempenho animal (Carvalho et al., 2019; Pontes et al., 2020; Santos et al., 2018), no entanto, são raros os estudos em SIPA em ambiente com redução ou eliminação do uso de pesticidas.

Diante das lacunas de conhecimento ainda existentes a respeito desta temática e os novos caminhos da pesquisa com foco na preservação dos recursos naturais. Este estudo foi realizado com o objetivo de avaliar as características do pasto e a resposta do desempenho animal em diferentes arranjos de integração da pecuária com lavoura e floresta sem uso de pesticidas. Testamos a hipótese de que os sistemas integrados com o componente arbóreo promovem menor sazonalidade de produção quando comparados ao sistema especializado de pecuária e que a presença da lavoura pode beneficiar a produção de forragem e animal.

2.2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.2.1 Área experimental

O experimento foi conduzido na área experimental do Núcleo de Inovação Tecnológica em Agropecuária (NITA), na Fazenda Experimental do Canguiri, em Pinhais - PR, em local pertencente a Área de Proteção Ambiental do Iraí (APA) (25°24'04 "S e 49°07'14"W, altitude média de 920 m). A região tem um clima temperado úmido com verões amenos (Cfb, sistema de classificação de Köppen). A temperatura média máxima é de 22,5 °C e a temperatura média mínima é de 12,5 °C, com precipitação média anual de 1.400 mm. Os dados de temperatura, precipitação e

radiação foram apresentados na Figura 1. A radiação fotossinteticamente ativa foi mensurada diariamente por meio de estações meteorológicas HOBO®RX3000 instaladas a pleno sol, na linha dos renques e entre os renques das árvores.

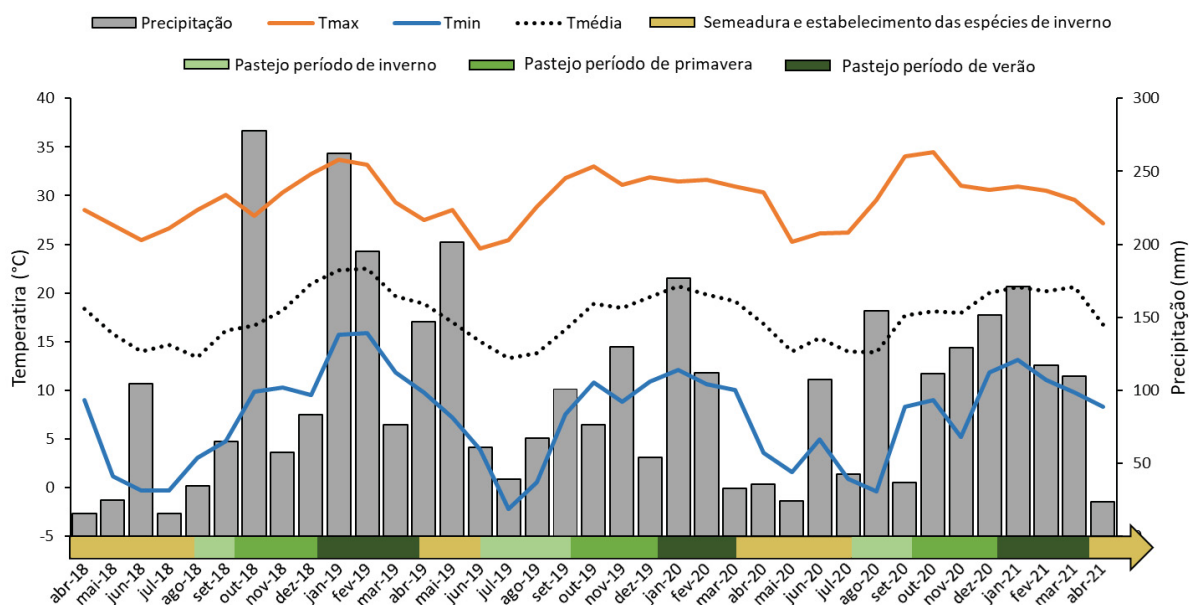


Figura 1 - Temperatura máxima (Tmax), mínima (Tmin) e média (Tmédia), e precipitação acumulada mensal (mm) para o período de abril de 2018 a abril de 2021.

O estudo faz parte de um protocolo experimental de longa duração que foi estabelecido em 2013, visando avaliar diferentes combinações de SIPA, determinada por níveis de diversidade espaço-temporal de espécies agrícola, pastoril e florestal, incluindo os respectivos monocultivos. As espécies utilizadas foram, o milho como cultura agrícola, o capim Áries (*Megathyrsus maximus*) e a aveia preta (*Avena strigosa* Schreb) como forrageiras para o pastejo, e o eucalipto (*Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage) como espécie florestal. Este estudo avaliou três ciclos de pastejo, o primeiro correspondeu ao período de agosto de 2018 a abril de 2019, o segundo de junho de 2019 a março de 2020, e o terceiro de julho de 2020 a abril de 2021.

2.2.2 Tratamentos e delineamento experimental

O delineamento experimental foi o de blocos completos casualizados, com três repetições. Os tratamentos foram compostos por quatro sistemas: pecuária (PEC), pecuária-floresta (PF), lavoura-pecuária (LP) e lavoura-pecuária-floresta (LPF). Totalizando 12 unidades experimentais, cada uma com área entre 1,3 e 2,2 hectares (Figura 2).

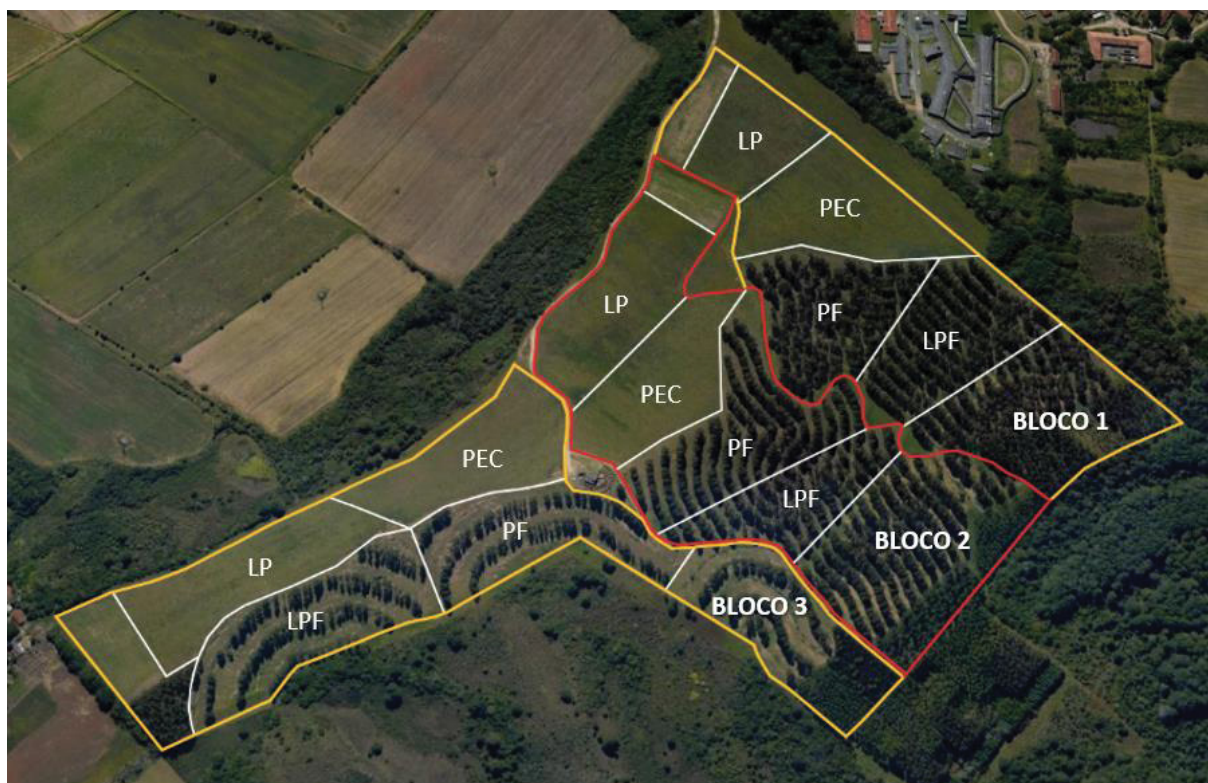


Figura 2 - Croqui e imagem aérea da disposição dos blocos e dos sistemas pecuária (PEC), pecuária-floresta (PF), lavoura-pecuária (LP) e lavoura-pecuária-floresta (LPF). Pinhais – PR.

Em todos os sistemas o pasto de inverno utilizado foi a aveia preta que anualmente foi semeada entre os meses de abril e maio, o azevém que foi estabelecido por ressemeadura natural, e leguminosas como trevo-branco (*Trifolium repens*) e ervilhaca (*Vicia sativa*) que ocorrem casualmente. O pasto de verão utilizado foi o capim Aries, implantado no verão de 2013, e outras poáceas que surgiram de forma espontânea, como *Urochloa* spp., *Cynodon* spp., *Hemarthria altíssima* e *Penisetum clandestinum*.

Nos sistemas integrados com o componente florestal (PF e LPF), o eucalipto foi implantado em 2013, seguindo a curva de nível do solo com espaçamento inicial

de 2 m entre plantas e 14 m entre renques, resultando em uma população de 357 árvores ha⁻¹. Ao longo dos anos foram realizados desbastes, resultando em uma população de árvores no início do experimento em 2018/19 de 175 árvores ha⁻¹ com o mesmo espaçamento inicial de 14 m entre renques, e no último ano de experimento em 2020/21 a população foi reduzida a 53 árvores ha⁻¹ com espaçamento de 28 m entre renques (Kruchelski et al., 2022). O sombreamento médio promovido pela copa das árvores, foi de 36, 42 e 26% nos anos de 2018/19, 2019/20 e 2020/21, respectivamente.

Para os sistemas com integração com a lavoura (LP e LPF), foi realizado o cultivo de milho por uma safra intercalada por três anos de pasto. No terceiro ano de avaliação deste estudo os sistemas LP e LPF não tiveram pastejo, pois neste ciclo a aveia cultivada antes do milho foi utilizada somente como cultura de cobertura para produção de palhada para o plantio direto do milho.

2.2.3 Adubação e manejo do pasto

A semeadura da aveia preta foi realizada entre os meses de abril e maio na densidade de 80 kg ha⁻¹. Em 2020 também foi feita a semeadura do azevém na densidade de 40 kg ha⁻¹. Para a realização da semeadura foi realizada uma roçada baixa do pasto de verão e em seguida feita a semeadura no sistema de plantio direto e sem uso de herbicidas para dessecação. Neste período os animais foram retirados da área para o estabelecimento do pasto de inverno. A adubação foi feita semestralmente, no primeiro semestre do ano no estabelecimento do pasto de inverno e no segundo semestre no período de rebrote do pasto de verão, nas doses demonstradas na Tabela 1.

Tabela 1 – Doses e nutrientes utilizados em cada estação para a adubação dos diferentes sistemas de produção pecuária (PEC, pecuária; PF, pecuária-floresta; LP, lavoura-pecuária; LPF, lavoura-pecuária-floresta).

Ano	Estação	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
		kg ha ⁻¹		
2018	Inverno	90	80	110
	Verão	180	70	70
2019	Inverno	90	-	-
	Verão	130	90	90
2020	Inverno	90	-	-
	Verão	180	70	70

O método de pastoreio utilizado foi o contínuo com taxa de lotação variável, com três animais testes por piquete e número variável de animais reguladores, de acordo com o método *put-and-take* (MOTT & LUCAS, 1952). O manejo do pasto foi realizado visando manter a altura média de 24 cm para a aveia preta durante o inverno, e 20 cm para o capim Áries no verão.

2.2.4 Avaliações do pasto

As medidas de altura do pasto foram realizadas quinzenalmente em 150 pontos por piquete, em caminhamento em zigue-zague utilizando um bastão graduado (*sward stick*) (Barthram, 1985). Em cada ponto de medida na altura de lâmina foliar foi realizado a identificação das espécies em aveia, azevém, Áries e demais poáceas.

A massa de forragem, taxa de acúmulo, densidade e acúmulo, foram estimados a partir de amostras coletadas a cada 28 dias. A massa de forragem (kg MS ha⁻¹) foi determinada a partir de três cortes da forragem rente ao solo utilizando um quadro de 0,25 m². Antes da realização do corte, foram feitas medidas de altura em 10 pontos dentro do quadro, para a determinação da densidade da forragem (kg MS cm⁻¹ ha⁻¹), que é resultado na massa de forragem dividido pela altura do pasto. A taxa de acúmulo e o acúmulo de forragem foram estimados pelo método do triplo emparelhamento (Moraes et al., 1990), utilizando três gaiolas de exclusão de pastejo por unidade experimental. Nos sistemas com árvores as gaiolas foram alocadas em locais distintos

em relação as árvores para maior representatividade, sendo uma gaiola no terço central entre os renques de árvores, e duas no terço próximo ao renque. O acúmulo de forragem foi calculado pela diferença da massa de forragem de dentro da gaiola (dia 28) e a massa de fora da gaiola (dia zero). O acúmulo total de forragem (kg ha^{-1} MS) foi quantificado somando-se o acúmulo de forragem em cada ciclo de avaliação dentro de cada estação. A taxa de acúmulo ($\text{kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ MS) foi obtida dividindo o acúmulo de forragem pelo número de dias entre as avaliações. Para os cálculos da pastagem nos sistemas com árvores, foi utilizada a área total do piquete, incluindo a área com a presença das árvores.

As amostras coletadas para a massa de forragem nos sistemas PEC e PF no terceiro ano de avaliação, foram separadas por espécie, em aveia, azevém, Aries e demais poáceas, e por componente morfológico, em lâmina foliar, caule+bainha e material senescente. Todas as amostras foram secadas a 65°C até atingir peso constante e posteriormente pesadas.

2.2.5 Avaliações dos animais

Foram utilizados novilhos da raça Angus e cruzas com peso vivo inicial de $241,19 \pm 50,31$ kg, $135,75 \pm 30,85$ kg e $177,00 \pm 42,05$ kg, para os ciclos de avaliação de 2018/19, 2019/20 e 2020/21, respectivamente. Para a estimativa do desempenho animal foi realizada a pesagem dos animais a cada 28 dias. O ganho médio diário ($\text{kg PV animal}^{-1} \text{ dia}^{-1}$) foi obtido dividindo-se o ganho de peso pelos dias de pastejo. O ganho de peso vivo por área ($\text{kg PV ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$) resultou da multiplicação do ganho de peso dos animais testes pela taxa de lotação média do piquete dividido pelo peso vivo médio dos testes, e por fim dividido pela área total do piquete e número de dias. A taxa de lotação (kg PV ha^{-1}) foi calculada como a soma entre o peso vivo médio dos animais testes e o peso vivo médio dos animais reguladores multiplicado pelo número de dias que permaneceram em cada piquete, dividido pelo número de dias em pastejo.

2.2.6 Análise estatística

Para todas as variáveis os dados foram divididos em três estações: inverno, primavera e verão. Os dados foram submetidos à análise de variância utilizando o software R, versão 3.6.3 (R Development Core Team, 2020). Foram testados modelos lineares mistos com diferentes efeitos aleatórios utilizando a função “lmer” do pacote “lme4” (Bates, Mächler, Bolker, & Walker, 2015), e o modelo melhor ajustado aos dados foi selecionado pelo critério de informação de Akaike (AIC). Para todas as variáveis estudadas o modelo utilizado incluiu efeitos fixos para sistemas, estação e suas interações, e efeitos aleatórios para ano, piquete e interação período × ano. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

2.3 RESULTADOS

2.3.1 Características do pasto

A altura do pasto manteve ao longo das estações em todos os sistemas um predomínio no percentual de alturas dentro da faixa considerada como ótima para o manejo da espécie de inverno, a aveia, e para a espécie de verão, o Aries (Figura 3). A classe ótima representou 50, 45 e 47% das alturas no inverno, primavera e verão, respectivamente. Entre os sistemas o PF apresentou o maior percentual dentro da classe de altura ótima, com 53%, seguido do LPF, PEC e LP com 48, 47 e 39%, respectivamente. Entre as classes baixas e altas, a primeira foi mais expressiva no inverno, porém com o passar do tempo, houve um declínio das alturas menores com a ascensão das alturas maiores, o que resultou em maiores percentuais da classe alta no verão.

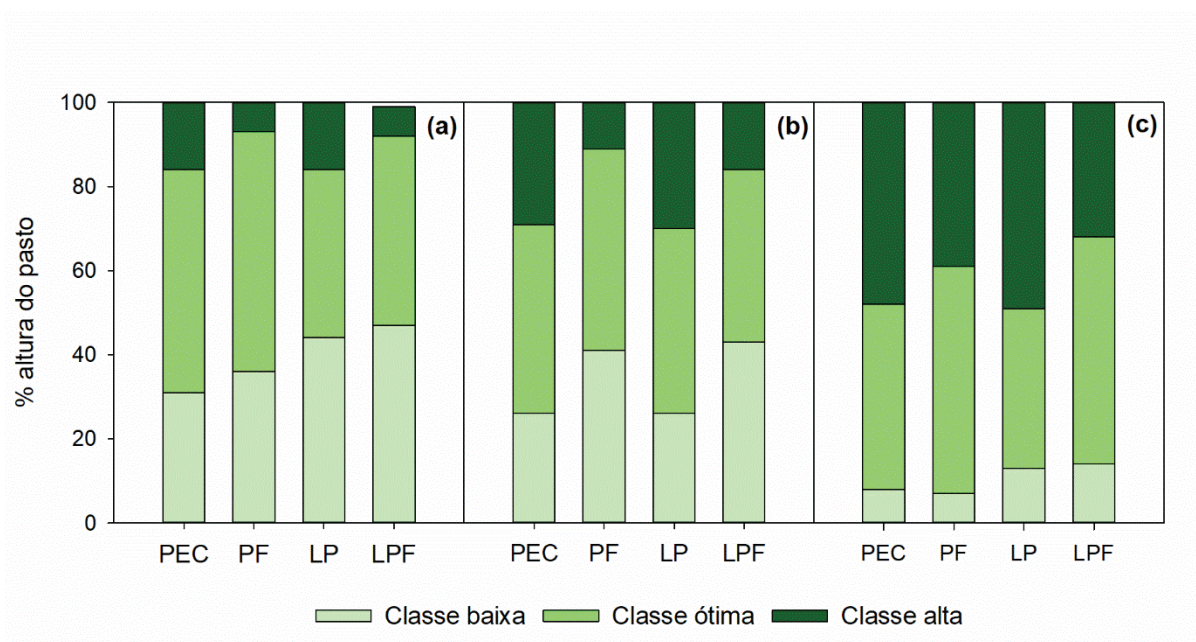


Figura 3 – Classes de altura para o período de inverno (a), primavera (b) e verão (c), de acordo com o manejo adotado para as espécies de aveia (classe baixa, menor que 18 cm; classe ótima, 18 a 30 cm; classe alta, acima de 30 cm) e de Aries (classe baixa, menor que 15 cm; classe ótima, 15 a 25 cm; classe alta, acima de 25 cm), nos sistemas de produção pecuária (PEC, pecuária; PF, pecuária-floresta; LP, lavoura-pecuária; LPF, lavoura-pecuária-floresta). Os valores correspondem a média dos anos de 2018/19, 2019/20 e 2020/21.

A composição de espécies forrageiras no inverno apresentou predomínio de aveia no sistema PEC (52%), ao contrário do PF que teve maior proporção de Aries (69%) e também de azevém (14%) (Figura 4). Já na primavera com a redução da proporção de aveia e azevém, houve um aumento do Aries que mostrou valores próximos entre os sistemas. No verão em ambos os sistemas houve um leve aumento na proporção de Aries, porém aumentou de forma expressiva a quantidade de colmos e conseqüente observou-se uma diminuição de lâminas foliares.

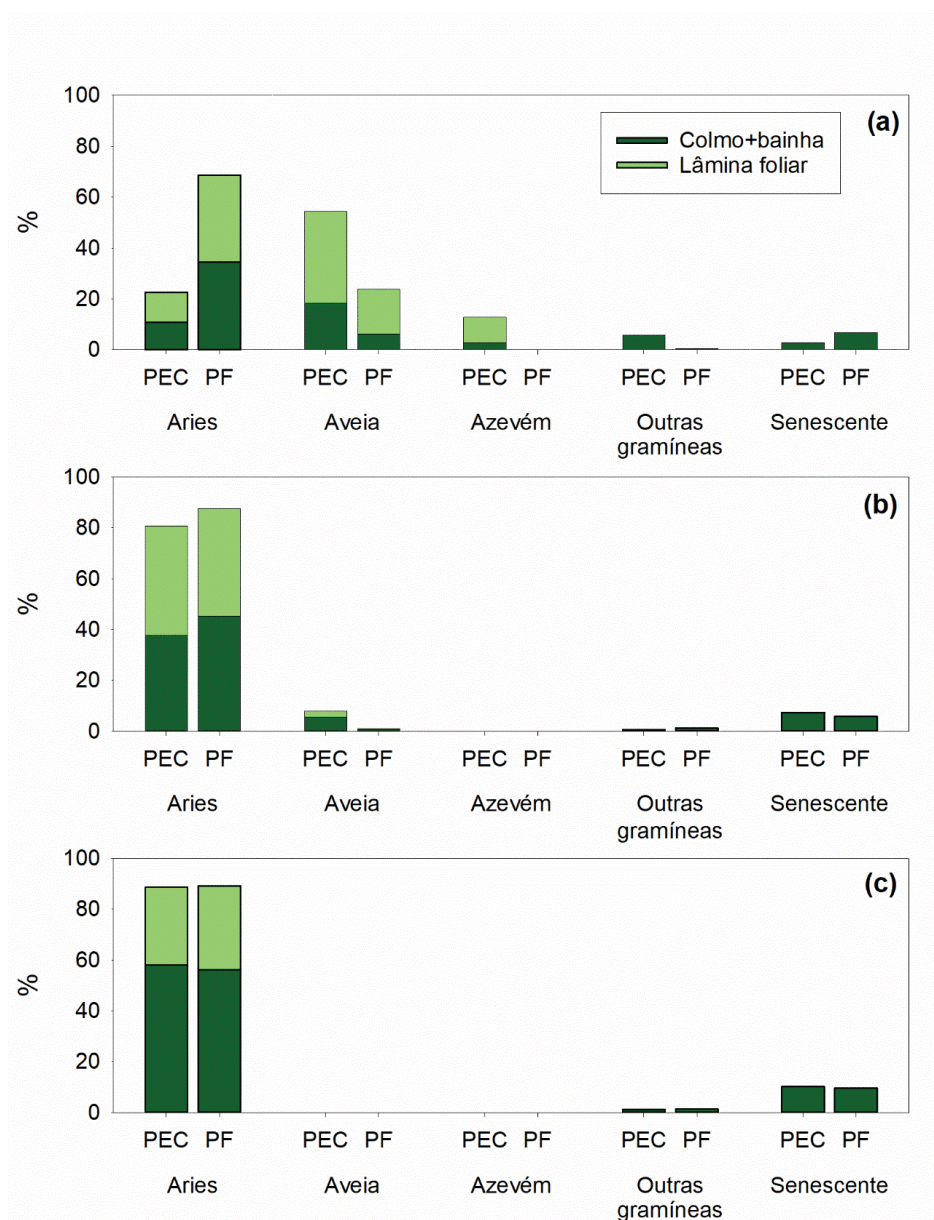


Figura 4 - Composição da massa de forragem por espécie em colmo+bainha, lâmina foliar e material senescente nas estações de inverno (a), primavera (b) e verão (c) nos sistemas de produção pecuária (PEC, pecuária; PF, pecuária floresta). Os valores correspondem ao ano de 2020/21.

A massa de forragem foi afetada pela interação entre sistema e estação ($p < 0,001$) (Figura 5). No inverno, a massa de forragem foi 36% maior no sistema PEC em comparação ao sistema LPF. Diferença similar foi obtida durante a primavera, porém a massa de forragem foi maior no sistema LP em relação ao LPF. Já no verão a massa de forragem foi 28% maior nos sistemas PEC e LP em relação aos sistemas arborizados (PF e LPF). De forma geral, na média das estações a maior massa de forragem foi obtida no verão.

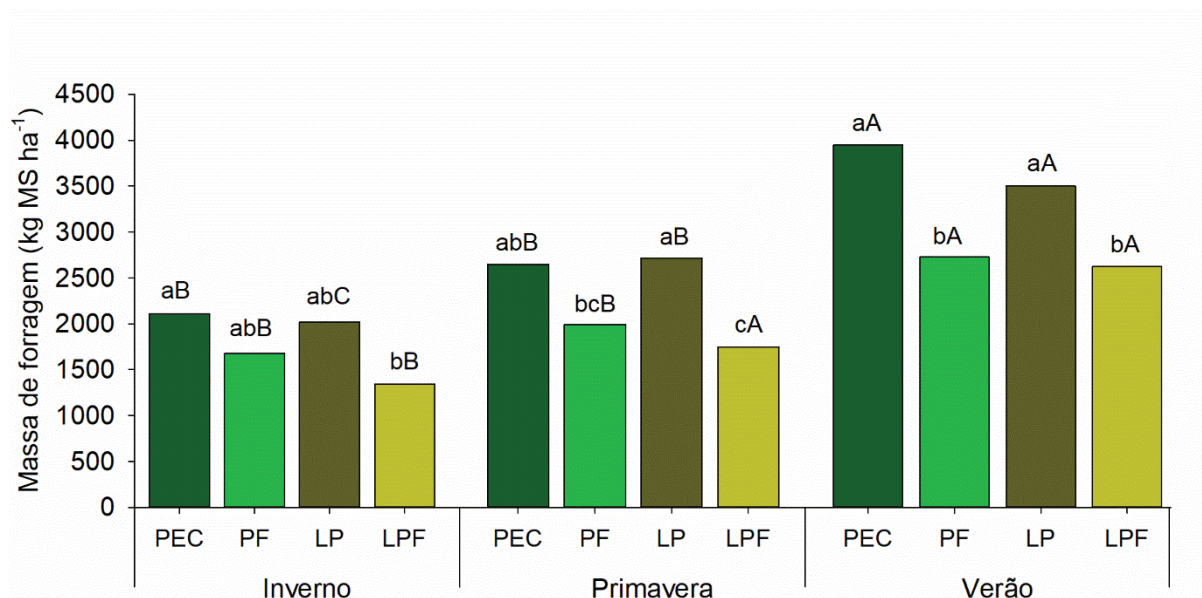


Figura 5 - Massa de forragem em cada estação nos diferentes sistemas de produção pecuária (PEC, pecuária; PF, pecuária-floresta; LP, lavoura-pecuária; LPF, lavoura-pecuária-floresta). Médias seguidas por letras distintas maiúsculas para estações e minúscula para sistemas diferem pelo teste de Tukey ($p \leq 0.05$).

A taxa de acúmulo de forragem apresentou diferença entre os sistemas ($p < 0,001$) e estações avaliadas ($p = 0,007$) (Tabela 2). Assim como o acúmulo total de forragem também foi diferente entre os sistemas ($p < 0,001$) e estações ($p < 0,001$). A presença das árvores nos sistemas PF e LPF reduziu a taxa de acúmulo em 40%, o que explica o menor acúmulo total de forragem nestes sistemas em relação aos sistemas PEC e LP. A taxa de acúmulo e acúmulo total de forragem no inverno foram menores em comparação a primavera e verão. A densidade de forragem foi maior nos sistemas PEC e LP e menores nos sistemas PF e LPF, e foi constatado maior densidade de forragem no verão em comparação ao inverno.

Tabela 2 - Taxa de acúmulo de forragem, acúmulo total de forragem e densidade de forragem em cada estação nos diferentes sistemas de produção pecuária (PEC, pecuária; PF, pecuária-floresta; LP, lavoura-pecuária; LPF, lavoura-pecuária-floresta).

	Sistemas				Estações			Valor P			
	PEC	PF	LP	LPF	Inverno	Primaver a		Verão	Sistemas	Estações	S x E
Taxa de acúmulo (kg ha ⁻¹ dia ⁻¹)	60,2 a	35,1 b	59,0 a	36,0 b	29,7 B	56,0 A	56,9 A	56,9 A	<0,001	0,007	0,231
Acúmulo total (kg ha ⁻¹)	5266 a	3249 b	5271 a	3324 b	2339 B	5250 A	5243 A	5243 A	<0,001	<0,001	0,113
Densidade (kg cm ⁻¹ ha ⁻¹)	141 a	113 b	147 a	101 b	101 B	130 AB	146 A	146 A	<0,001	0,005	0,142

Médias seguidas por letras distintas maiúsculas para estações e minúscula para sistemas diferem pelo teste de Tukey (p ≤ 0,05).

2.3.2 Desempenho animal

A taxa de lotação por área foi impactada pela interação entre sistemas e estações (p < 0,005) (Figura 6). Entretanto, a magnitude da diferença foi maior entre as estações, onde foi observado no verão um aumento da taxa de lotação de 57% quando comparado a primavera e de 59% em relação ao inverno.

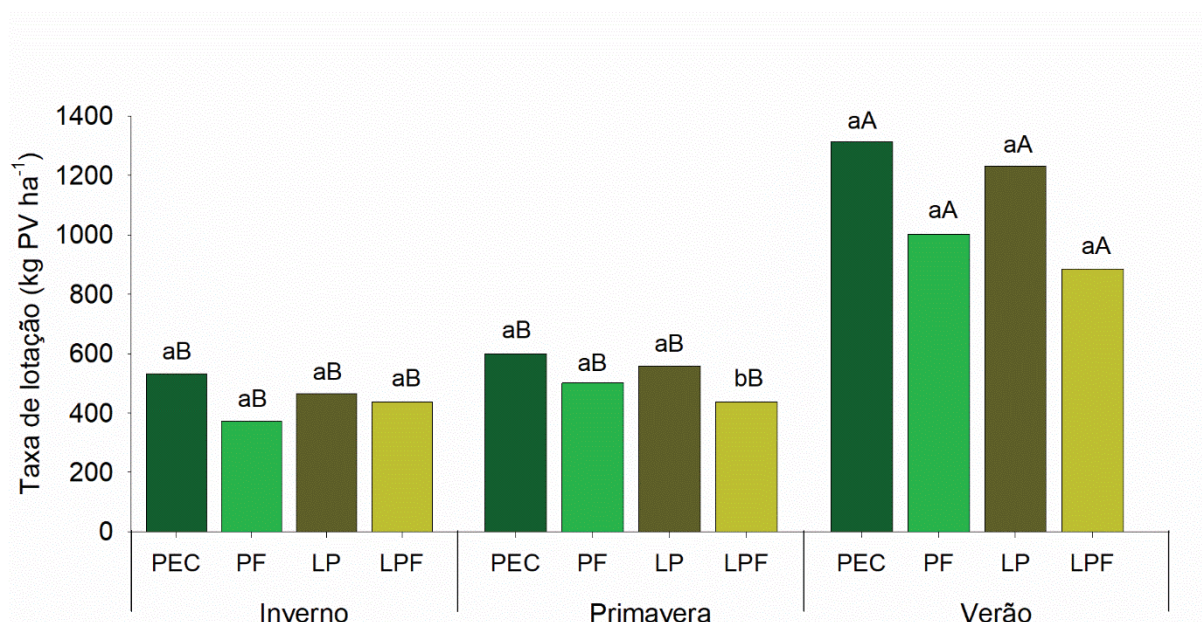


Figura 6 - Taxa de lotação em cada estação nos diferentes sistemas de produção pecuária (PEC, pecuária; PF, pecuária-floresta; LP, lavoura-pecuária; LPF, lavoura-pecuária-floresta). Médias seguidas por letras distintas maiúsculas para estações e minúscula para sistemas diferem pelo teste de Tukey ($p \leq 0.05$).

Para o ganho médio diário não houve diferença significativa entre os sistemas ($p > 0,05$), porém os resultados foram distintos entre as estações ($p = 0,01$), onde o maior ganho médio diário foi obtido na primavera e o menor no período do verão (Tabela 3). Para o ganho total de peso vivo dos animais por área os sistemas ($p = 0,061$) e as estações ($p = 0,371$) não diferiram entre si.

Tabela 3 - Ganho médio diário de peso vivo (GMD) e ganho total de peso vivo por área por dia (GPV) em cada estação nos diferentes sistemas de produção pecuária (PEC, pecuária; PF, pecuária-floresta; LP, lavoura-pecuária; LPF, lavoura-pecuária-floresta).

	Sistemas				Estações			Valor P		
	PEC	PF	LP	LPF	Inverno	Primavera	Verão	Sistemas	Estações	S × E
	GMD (kg animal ⁻¹ dia ⁻¹)	0,77	0,84	0,85	0,82	0,85 AB	0,99 A	0,62 B	0,444	0,010
GPV (kg PV ha ⁻¹ dia ⁻¹)	2,0	1,7	2,2	1,7	2,0	1,9	1,8	0,061	0,371	0,086

Médias seguidas por letras distintas maiúsculas para estações diferem pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

2.4 DISCUSSÃO

As alturas do pasto dentro do intervalo de manejo para a aveia (Mezzalira et al., 2014) e para o Aries (Zanini et al., 2012; Negri et al., 2019), foram predominantes nos sistemas ao longo das estações (Figura 3). Isso indica que a adoção do critério de altura para o manejo do pasto possibilitou a manutenção de alturas que são favoráveis ao processo de consumo pelos animais. Esse é um desafio, especialmente por se tratar de uma pastagem perene de verão que é sobresemeada com espécie anual de inverno, devido as diferenças nas características de cada espécie e nas alturas de manejo. Principalmente na primavera, o manejo da altura do pasto foi essencial pois permitiu o reestabelecimento do Aries fazendo com que os valores de massa de forragem fossem mantidos e até aumentados, como constatado nos sistemas LP e LPF (Figura 5).

Assim como a massa de forragem, a densidade foi afetada pelo componente arbóreo (Tabela 2), o que corrobora com Santos et al. (2018) que constataram redução na densidade de *Urochloa brizantha* cv. Piatã e Carvalho et al. (2019) com *U. brizantha* cv. Marandu, ambos os estudos com sistemas integrados com eucalipto. Além disso, o sombreamento influencia no alongamento do colmo e das folhas da planta, que acaba atingindo mais rapidamente a meta de altura (Belsky et al., 2011). Em relação ao colmo há uma redução no teor de lignina e afrouxamento da parede celular, resultando em colmos mais finos e fracos (Hussain et al., 2019). No inverno a densidade de forragem foi menor devido a estrutura da aveia e do azevém que possuem maior proporção de folhas e menor de colmos em comparação com o Aries (Figura 4).

A taxa de acúmulo e o acúmulo total por estação foram afetados pela presença da árvore (Tabela 2). O sombreamento provocado pelo componente arbóreo reduziu a intensidade de radiação fotossinteticamente ativa que chega até o dossel forrageiro, em 33% na linha de árvores e em 18% entre os renques, em relação aos sistemas a pleno sol. Em estudo de Rodrigues et al. (2014), foi encontrado menor relação de comprimento de onda vermelho/vermelho distante e consequente redução na produção de matéria seca de *Urochloa decumbens*, próximo ao renque de eucalipto em comparação com o entre renque, o que demonstra que tanto a quantidade como a qualidade da luz são influenciadas pela presença das árvores.

A proporção de folha é uma característica importante para o crescimento do pasto, pois este componente da planta é essencial para a realização do processo de fotossíntese. Entretanto, no verão apesar da proporção de folhas do capim Aries ter sido semelhante entre os sistemas PEC e PF (Figura 4), a resposta em acúmulo de forragem foi diferente entre os sistemas. Isso evidencia a importância da radiação para a produção de forragem, especialmente para as gramíneas C4 de verão, que tem seu ponto de saturação luminosa em cerca de 85%, podendo o sombreamento afetar negativamente seu rendimento. Em contrapartida, gramíneas C3 de inverno atingem a saturação luminosa em torno de 50% do pleno sol, porém quando submetidas as mesmas condições de luminosidade que as forrageiras C4 apresentam menor potencial de produção de forragem (Gardner et al., 1985; Pang et al. 2017).

A utilização de gramíneas anuais de inverno em sobressemeadura em pastos perenes de verão é uma prática comum em região de clima subtropical, visando o

aumento da produção de forragem e redução na sazonalidade dessa produção. Entretanto, a menor precipitação no inverno (Figura 1) afetou o crescimento do pasto nessa estação, e por consequência houve redução na taxa de lotação (Figura 6) para que altura do pasto fosse mantida dentro do intervalo recomendado. A primavera é um período que ocorrem mudanças nas condições meteorológicas, como por exemplo, aumento de temperatura e precipitação (Figura 1), que influencia no crescimento das forrageiras de verão resultando em maior taxa de acúmulo e massa de forragem. No entanto, por ser um período de transição entre as gramíneas de inverno e de verão, a taxa de lotação ainda permaneceu menor em comparação com o verão para atender a meta de altura de manejo.

O maior crescimento do pasto e massa de forragem disponível no verão não refletiu positivamente no ganho médio diário dos animais, que inclusive apresentou os menores valores em relação a primavera. Portanto, se a quantidade não foi limitante essa resposta pode ser atribuída a menor qualidade das espécies forrageiras de verão em relação as gramíneas de inverno, que de forma geral, apresentam valor nutricional inferior e mais estruturas protetoras contra a predação, como por exemplo, aumento do teor de parede celular (Valente et al., 2016). Segundo estudo de Portugal (2020) conduzido no mesmo protocolo experimental, as forrageiras apresentaram 26% menos proteína bruta e o consumo de massa seca por peso vivo foi 32% menor no verão em relação ao inverno. Outra característica importante é a composição morfológica do capim Aries, que apresentou maior quantidade de colmos e material senescente no verão (Figura 4). Além disso, forrageiras de verão apresentam maior heterogeneidade vertical, com maior densidade no estrato inferior e menor no estrato pastejável, o que pode reduzir a massa de bocado e aumentar o tempo de pastejo. Porém, em épocas de maior temperatura e radiação os animais reduzem o tempo de pastejo durante o dia, que associado a menor massa de bocado pode implicar na diminuição no ganho médio diário dos animais (Sollenberger & Burns, 2001). Entretanto, vale ressaltar que no verão o valor de ganho médio diário de 0,62 kg PV dia⁻¹ foi semelhante ao encontrado em outros estudos em SIPA, que variou entre 0,49 a 0,99 kg PV dia⁻¹ (Carvalho et al., 2019; Santos et al., 2018), e no inverno e primavera os valores também foram semelhantes ao encontrado por Pontes et al. (2017) e Kunrath et al. (2014).

A combinação entre as diferenças do ganho médio diário e da taxa de lotação, resultaram em valores semelhantes de ganho de peso vivo por área entre as estações (Tabela 3). No inverno devido a menor taxa de lotação o ganho de peso vivo por área foi impulsionado pelo ganho médio diário, por outro lado no verão, o aumento da taxa de lotação compensou o menor ganho médio diário dos animais. Embora houvesse diferença entre os sistemas para as características de produção do pasto, como maior massa de forragem, taxa de acúmulo e acúmulo total de forragem nos sistemas PEC e LP, a mesma resposta não foi observada para o ganho de peso vivo por área que foi similar entre os sistemas.

Portanto, é possível afirmar que os sistemas com árvores apresentaram maior potencial em transformar massa seca de forragem em produção de carne. Isso pode ser demonstrado ao se calcular a relação entre a quantidade de peso vivo produzido por mesma unidade de forragem produzida. Nesse sentido, na média das estações os sistemas PF e LPF produziram 48 e 47 g PV/kg MS, respectivamente, contra somente 33 g PV/kg MS no sistema PEC e 37 g PV/kg MS no sistema LP. No comparativo entre as estações o inverno apresentou maior relação com produção de 67 g PV/kg MS, enquanto na primavera foi de 34 g PV/kg MS e no verão de 32 g PV/kg MS. O aumento dessa relação no inverno pode ser atribuído a presença da aveia e do azevém, que como mencionado anteriormente são espécies que apresentam maior qualidade em relação as gramíneas de verão.

2.5 CONCLUSÕES

A introdução de árvores no sistema reduziu o crescimento e a produção do pasto, e não refletiu em menor sazonalidade de produção. Apesar disso, o desempenho animal foi semelhante aos sistemas PEC e LP. O que sugere, que os sistemas com árvores possuem maior potencial de transformar massa seca de forragem em produção de carne. Já a integração com a lavoura não influenciou as características da pastagem que apresentou massa de forragem, taxa de acúmulo, acúmulo total e densidade de forragem semelhante ao sistema PEC.

2.6 REFERÊNCIAS

- Barthram, G. T. (1985). Experimental techniques: The HFRO sward stick. In M. M. Alcock (Ed.), *The Hill farming research organization Biennial report 1984/1985* (pp. 29–30). Penicuik, UK: HFRO.
- Bates, D., Mächler, M., Bolker, B., & Walker, S. (2015). Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. *Journal of Statistical Software*, 67 (1), 1–48. doi: 10.18637/jss.v067.i01
- Belesky, D. P., Burner, D. M., & Ruckle, J. M. (2011). Tiller production in cocksfoot (*Dactylis glomerata*) and tall fescue (*Festuca arundinacea*) growing along a light gradient. *Grass and Forage Science*, 66(3), 370-380.
- Carvalho, P. C. D. F., Barro, R. S., Barth Neto, A., Nunes, P. A. D. A., Moraes, A. D., Anghinoni, I., ... & Borin, J. B. M. (2018). Integrating the pastoral component in agricultural systems. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 47.
- Carvalho, P., Domiciano, L. F., Mombach, M. A., do Nascimento, H. L. B., Cabral, L. D. S., Sollenberger, L. E., ... & Pedreira, B. C. (2019). Forage and animal production on palisadegrass pastures growing in monoculture or as a component of integrated crop–livestock–forestry systems. *Grass and Forage Science*, 74(4), 650-660.
- Crusciol, C. A. C., Pariz, C. M., Costa, N. R., Castilhos, A. M., Costa, C., Andreotti, M., & Meirelles, P. R. L. (2018). Sistemas integrados de produção agropecuária: consórcio de culturas graníferas com forrageiras tropicais. In: Edicarlos Damascena de Souza (Ed.), *Sistemas integrados de produção agropecuária no Brasil*. (p. 187-210). Copiart.
- Domiciano, L. F., Mombach, M. A., Carvalho, P., Da Silva, N. M. F., Pereira, D. H., Cabral, L. S., ... & Pedreira, B. C. (2016). Performance and behaviour of Nellore steers on integrated systems. *Animal Production Science*, 58(5), 920-929.

- Feltran-Barbieri, R., & Féres, J. G. (2021). Degraded pastures in Brazil: improving livestock production and forest restoration. *Royal Society Open Science*, 8(7), 201854.
- Ferraz, J. B. S., & de Felício, P. E. (2010). Production systems—An example from Brazil. *Meat Science*, 84(2), 238-243.
- Gardner, F. P., Pearce, R. B., & Mitchell, R. L. (2017). *Physiology of crop plants*. Scientific publishers.
- Hussain, S., Iqbal, N., Ting, P., Khan, M. N., Liu, W. G., & Yang, W. Y. (2019). Weak stem under shade reveals the lignin reduction behavior. *Journal of Integrative Agriculture*, 18(3), 496-505.
- Jose, S., Walter, D., & Mohan Kumar, B. (2019). Ecological considerations in sustainable silvopasture design and management. *Agroforestry Systems*, 93(1), 317-331.
- Kruchelski, S., Trautenmüller, J. W., Orso, G. A., Triches, G. P., Porfírio-da-Silva, V., & de Moraes, A. (2022). Growth and productivity of *Eucalyptus benthamii* in integrated crop–livestock systems in southern Brazil. *Agroforestry Systems*, 1-13.
- Kunrath, T. R., Cadenazzi, M., Brambilla, D. M., Anghinoni, I., de Moraes, A., Barro, R. S., & de Faccio Carvalho, P. C. (2014). Management targets for continuously stocked mixed oat × annual ryegrass pasture in a no-till integrated crop–livestock system. *European Journal of Agronomy*, 57, 71-76.
- Lechenet, M., Dessaint, F., Py, G., Makowski, D., & Munier-Jolain, N. (2017). Reducing pesticide use while preserving crop productivity and profitability on arable farms. *Nature Plants*, 3(3), 1-6.
- Lin, B. B. (2011). Resilience in agriculture through crop diversification: adaptive management for environmental change. *BioScience*, 61(3), 183-193.

- Mezzalana, J. C., Carvalho, P. C. F., 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. *Applied Animal Behaviour Science*, 153, 1–9. <http://dx.doi.org/10.1016/j.applanim.2013.12.014>
- Moraes, A.D., Moojen, E.L. e Maraschin, G.E., 1990. Comparação de métodos de estimativa de taxas de crescimento em uma pastagem submetida a diferentes pressões de pastejo. *Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia*, 27, p.332.
- Mott, G. O., & Lucas, H. L. (1952). The design, conduct and interpretation of grazing trials on cultivated and improved pastures. In: International Grassland Congress (pp. 1380 – 1395). PN (Proceedings).
- Negri, R., Dos Santos, G. B., de Paulo Macedo, V., Da Silveira, M. F., Wlodarski, L., & Kluska, S. (2019). Morphogenesis and tiller density of Aruana grass managed at different heights under sheep grazing. *Semina: Ciências Agrárias*, 40 (5), 2341-2350. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2019v40n5Supl1p2341>
- Oliveira, C. A. O., Bremm, C., Anghinoni, I., de Moraes, A., Kunrath, T. R., & de Faccio Carvalho, P. C. (2013). Comparison of an integrated crop–livestock system with soybean only: Economic and production responses in southern Brazil. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 29(3), 230-238.
- Oliveira, E., Assmann, A. L., Assmann, T. S., & Mezzadri, F. (2018). Estado da arte e estudos de caso em sistemas integrados de produção agropecuária no sul do Brasil. In: Edicarlo Damascena de Souza (Ed.), *Sistemas integrados de produção agropecuária no Brasil*. (p. 187-210). Copiart.
- Pang, K., Van Sambeek, J. W., Navarrete-Tindall, N. E., Lin, C. H., Jose, S., & Garrett, H. E. (2017). Responses of legumes and grasses to non-, moderate, and dense shade in Missouri, USA. I. Forage yield and its species-level plasticity. *Agroforestry Systems*, 93(1), 11-24.

- Paraná. Decreto nº 1753, de 06 de Maio de 1996. Área de Proteção Ambiental do Iraí. Curitiba, PR.
- Pezzopane, J. R. M., Nicodemo, M. L. F., Bosi, C., Garcia, A. R., & Lulu, J. (2019). Animal thermal comfort indexes in silvopastoral systems with different tree arrangements. *Journal of thermal biology*, 79, 103-111.
- Pontes, L. D. S., Carpinelli, S., Stafin, G., Porfírio-da-Silva, V., & Santos, B. R. D. (2017). Relationship between sward height and herbage mass for integrated crop-livestock systems with trees. *Grassland Science*, 63(1), 29-35.
- Pontes, L. D. S., Stafin, G., Moletta, J. L., & Porfírio-da-Silva, V. (2020). Performance of Purunã beef heifers and pasture productivity in a long-term integrated crop-livestock system: the effect of trees and nitrogen fertilization. *Agroforestry Systems*, 94(5), 1713-1723.
- Portugal, T. B (2020). Sistemas integrados de produção agropecuária: desempenho animal, emissão de metano e controle de ectoparasitos em bovinos. Tese de doutorado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil.
- R Core Team. (2016). R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. Retrieved from <https://www.R-project.org/>.
- Rodrigues, C. O. D., Araújo, S. A. D. C., Viana, M. C. M., Rocha, N. S., Braz, T. G. D. S., & Villela, S. D. J. (2014). Light relations and performance of signal grass in silvopastoral system. *Acta Scientiarum Animal Sciences*, 36, 129-136.
- Ryschawy, J., Choisis, N., Choisis, J. P., Joannon, A., & Gibon, A. (2012). Mixed crop-livestock systems: an economic and environmental-friendly way of farming?. *Animal*, 6(10), 1722-1730.
- Salton, J. C., Mercante, F. M., Tomazi, M., Zanatta, J. A., Concenço, G., Silva, W. M., & Retore, M. (2014). Integrated crop-livestock system in tropical Brazil: Toward a

sustainable production system. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 190, 70-79.

Santos, D. C., Júnior, R. G., Vilela, L., Maciel, G. A., & de Souza França, A. F. (2018). Implementation of silvopastoral systems in Brazil with *Eucalyptus urograndis* and *Brachiaria brizantha*: productivity of forage and an exploratory test of the animal response. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 266, 174-180.

Sollenberger, L. E., & Burns, J. C. (2001). Canopy characteristics, ingestive behaviour and herbage intake in cultivated tropical grasslands. International Grassland Congress, pp. 321-327

USDA, 2022. Foreign Agricultural Service – Livestock and Poultry: World Markets and Trade. Disponível em: <https://www.fas.usda.gov/data/livestock-and-poultry-world-markets-and-trade>

Valente, T. N. P., Lima, E. D. S., Gomes, D. I., Santos, W. B. R. D., Cesário, A. S., & Santos, S. D. C. (2016). Anatomical differences among forage with respect to nutrient availability for ruminants in the tropics: A review. *African Journal of Agricultural Research*, 11(18), 1585-1592.

Zanini, G. D., Santos, G. T. & Sbrissia, A. F. (2012). Frequencies and intensities of defoliation in Aruana guineagrass swards: accumulation and morphological composition of forage. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 41, (4) 905-913. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982012000400011>

3 CAPÍTULO II - DISTRIBUIÇÃO DA FREQUÊNCIA DE ALTURAS DO PASTO E COMPOSIÇÃO DE ESPÉCIES FORRAGEIRAS EM DIFERENTES SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA

Frequency distribution of sward heights and forage species composition in different integrated crop livestock systems

ABSTRACT

Sward height is a practical measurement to help establish goals that reflect the pasture structure. However, the production system and the interactions between the system components in continuous grazing can generate pastures with different levels of heterogeneity and may influence species diversity. The present work sought to investigate the frequency distribution of sward height and characterize the species composition in different models of integrated crop livestock systems. For this, four livestock production systems were investigated: livestock, livestock-forestry, crop-livestock and crop-livestock-forestry. Height and species frequencies were evaluated over two years in pastures composed of black oat (*Avena strigosa* Schreb), Aries grass (*Megathyrsus maximus* cv. Aries), Italian ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.), and other tropical grasses in the summer, transition, and winter periods. Height frequencies were separated into three classes (low, optimal, and high) in winter (<18; 18 to 30; >30 cm) and summer (<15; 15 to 25; >25 cm), and fitted to four distributions (normal, log-normal, gamma, and Weibull). Management using a height target promoted a mean frequency of heights of the optimum class of around 46%, with the highest values found in systems with trees that also showed less heterogeneity. The crop-livestock system had greater species diversity due to the increased frequency of Italian ryegrass and other grasses. The gamma distribution best described the height frequencies of the systems studied.

Keywords: gamma; heterogeneity; selective grazing; continuous grazing; Weibull.

3.1 INTRODUCTION

The interaction between herbivores and plants promotes changes in vegetation structure and composition. At the same time, this change influences animals' ingestive behavior, establishing a cause-and-consequence relationship (Carvalho et al., 2009; Parsons & Dumont, 2003). This process is responsible for creating and maintaining heterogeneity in pasture ecosystems, which allows the animals to exercise selectivity (Pauler et al., 2020) and consequently enables the harvest of better quality forage than the average pasture.

As a result, there is the formation of areas of frequently grazed and lower heights, alternating with higher areas defoliated with less intensity and the existence of a range of intermediate heights. The change in these proportions varies according to grazing method, stocking rate, species composition, and time of year (Gibb & Ridout, 1986). However, this mosaic with different heights may remain stable throughout the grazing season (Cid & Brizuela, 1998).

Although heterogeneity plays an important role in performing selective grazing, the pasture characterization is often summarized by mean values of sward height, regardless of variability. This description is appropriate in situations where distributions are symmetric. However, Gibb & Ridout (1986) showed that height frequencies have a skewed distribution in continuous grazing. Therefore, other distributions may be more suitable to describe frequencies that may be asymmetric, bimodal, or have a plateau shape. In this sense, bimodal, gamma, log-normal, and Weibull distributions have shown better fits to height frequencies with some level of positive skewness (Barthram et al., 2005).

Variability in space and time of height frequencies affects agronomic aspects, such as pasture productivity, and ecological perspectives, such as plant diversity (Tonn

et al., 2019). A detailed description of heterogeneity is crucial to establishing pasture management goals that can improve the structure and productivity of pastoral systems (Pontes-Prates et al., 2020). Consequently, this increase in production efficiency is paramount to achieving sustainable agricultural intensification.

Integrated crop livestock systems (ICLS) have been recognized as an alternative for sustainable intensification (FAO, 2010) while increasing diversity, improving nutrient cycling, mitigating greenhouse gases, increasing profitability, and land-use efficiency (Moraes et al., 2014). However, the arrangements' effect of integrated systems with livestock on the heterogeneity and composition of the plant community of a pasture due to the increased species diversification in the system and its environmental modifications is not known. Therefore, knowledge of the complex interaction between the pasture component and the others is necessary to develop more efficient and sustainable management strategies.

In this context, this study investigated the effects of different ICLS arrangements on sward height frequency distributions and grass community composition under continuous grazing. It was hypothesized that there is an increase in sward height heterogeneity in systems that integrate with the tree component and that species composition is strongly influenced by integration with the crop.

3.2 MATERIAL AND METHODS

3.2.1 Experimental area

The experiment was conducted at the Canguiri Experimental Farm of the Federal University of Paraná - UFPR, located in the municipality of Pinhais - PR (25°23'30"S and 49°07'30"), with an average altitude of 920 m. According to the

Köppen classification, the climate is Cfb, i.e., a humid temperate climate with mild summers, characterized by an average annual precipitation of 1400 mm, a maximum average temperature of 22.5 °C, and a minimum average temperature of 12.5 °C.

This study evaluated two grazing cycles, the first from August 2018 to April 2019 and the second from June 2019 to March 2020. The experiment area is part of a long-term experimental protocol with different ICLS arrangements established in 2013. The forage species implemented were Aries grass (*Megathyrsus maximus*) and black oat (*Avena strigosa* Schreb). The forest species was comprised of *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cabbage. Moreover, maize (*Zea Mays*) was used as an agricultural crop.

3.2.2 Treatments and experimental design

The treatments consisted of four arrangements of integrated agricultural production systems, being: livestock (L), livestock-forestry (LF), crop-livestock (CL), and crop-livestock-forestry (CLF). The experimental design used was randomized blocks with three repetitions, totaling 12 plots with areas between 1.3 and 2.2 hectares.

In all systems, black oats were used as winter pasture that was sown annually between April and May, with the presence of Italian ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.) by natural reseeding. As a summer pasture, Aries grass, established in 2013, along with other grasses that emerged spontaneously, was used.

In the systems with crop (CL and CLF), maize was grown by direct seeding without desiccation, for one crop intercropped with three years of pasture (Figure 1). Eucalyptus was used for the systems with the tree components (LF and CLF) with an initial spacing of 2 m between plants and 14 m between rows. In fall 2017, thinning was carried out to remove 50% of the trees, and in fall 2019, an additional

12.5% of the initial population was removed, but the same spacing between rows was maintained.

3.2.3 Fertilization and pasture management

Black oats were sown in May 2018 and April 2019 at a density of 80 kg ha⁻¹. Sowing was performed after mowing around five centimeters high of the summer pasture, in the no-till system, and without using herbicides for desiccation. In the first year, winter fertilization was performed with 90 kg ha⁻¹ of N, 80 kg ha⁻¹ of P₂O₅, and 110 kg ha⁻¹ of K₂O. In the summer, 180 kg ha⁻¹ of N, 70 kg ha⁻¹ of P₂O₅, and 70 kg ha⁻¹ of K₂O were applied. In the second year, 90 kg ha⁻¹ of N was applied in winter, 130 kg ha⁻¹ of N, 90 kg ha⁻¹ of P₂O₅, and 90 kg ha⁻¹ of K₂O in summer. In all years, urea, natural phosphate, and potassium chloride were added to the fertilizer form.

The adopted grazing method was continuous with a variable stocking rate, with three permanent test animals per paddock and a variable number of regulating animals, according to the put-and-take method (Mott & Lucas, 1952). The black oat pasture management during winter was carried out to maintain an average height of 24 cm (Mezzalira et al., 2014), and in summer, the management goal was 20 cm for Aries grass (Zanini et al., 2012a; Negri et al., 2019). From the moment the frequency of winter species (black oats + Italian ryegrass) was lower than 50% for three consecutive evaluations, the management criterion at 20 cm, referring to Aries grass, was adopted.

As the experimental area is located within the Environmentally Protected Area of the Irai River Basin, established by Decree No. 1753 of May 6, 1996, which prohibits the use of agrochemicals and other biocides, three mowing cuttings were made every

year in all systems, at a height of approximately 40 cm, aimed at controlling invasive plants.

3.2.4 Pasture evaluations

Height measurements were taken at seven and 15-day intervals for the first and second years of evaluation, respectively. Measurements were made at 150 points per paddock in a zigzag pattern using a sward stick (Barthram, 1985). The species identification of black oats, Italian ryegrass, Aries, and other grasses was performed at each measurement point in the leaf blade height to determine the frequency of species composition. The other grasses were mainly composed of the following species: *Urochloa* spp., *Cynodon* spp., *Hemarthria altissima*, and *Penisetum clandestinum*, which appeared spontaneously in the area.

Each year was divided into two seasons to evaluate height frequencies and distributions according to the height management performed for each period. When the frequency of black oats + Italian ryegrass was above 50%, it was classified as the winter period, and when the Aries + grass frequencies were above 50% for three consecutive evaluations, they were classified as the summer period. In each period, three classes of pasture height were defined according to the "Rotatinuous stocking" concept, which establishes an optimal pasture height corresponding to the highest forage consumption by animals per unit of time, with a maximum lowering of 40% of the height compared to the optimal height, aiming to keep the ingestion rate constant (Carvalho, 2013). In winter, heights smaller than 18 cm were considered low class. The optimal class included heights between 18 and 30 cm, and the high class included heights greater than 30 cm. For the summer period, the heights smaller than 15 cm were considered low, the optimum class included heights between 15 and 25 cm, and the high class included heights greater than 25 cm.

In evaluating forage species composition, three seasons were adopted based on the frequency of species identified during height measurements. When the frequency of black oats + Italian ryegrass was above 60%, it was classified as the winter period; when the frequency of black oats + Italian ryegrass or Aries + grasses was between 40 and 60%, it was classified as the transition period; and when the frequency of Aries + grasses was above 60%, it was classified as the summer period.

3.2.5 Statistical analysis

The data set was subjected to analysis of variance using R software, version 3.6.3 (R Development Core Team, 2020). Linear mixed models with distinct random effects were tested, and the best fit model to the data was selected by Akaike's information criterion (AIC). The "lmer" function from the "lme4" package (Bates, Mächler, Bolker, & Walker, 2015) was used. The model to analyze the sward height included fixed effects for systems, period according to the height management (summer and winter) and their interactions, and random effects for year and paddock. For the analyses related to foraging species composition, fixed effects were considered for the system, period according to species composition (winter, transition, and summer) and their interactions, and random effects for year and paddock. The means were compared by the Tukey test ($p < 0.05$).

The package "fitdistrplus" was used for fitting the distributions (Delignette-Muller & Dutang, 2015). Initially, the function "plotdist" was used to generate an empirical distribution, and then the function "descdist" was used to graphically compare the following distributions: normal, log-normal, gamma, and Weibull. The distributions visually closest to the data were fitted by the "fitdist" function and then compared and selected based on the AIC criterion.

3.3 RESULTS

3.3.1 Average sward height

The average heights observed in the winter were 16.6% below the previously established target height (24 cm) (Figure 2), with no significant difference between the systems. In the summer period, the heights observed in the LF and CLF systems were similar to the expected average height, while the L system showed a greater average height than those with trees ($p < 0.05$), not differing from the CL.

3.3.2 Height frequency and classes

The frequencies of low heights were similar in all systems in the winter period (Figure 3). In the summer, the CLF system showed a higher frequency of low heights than the CL ($p < 0.05$), with a similar frequency to the other systems. The same behavior was observed in the optimal height class for the winter period. In summer, the LF system showed a higher frequency of optimal height class than the CL and L systems ($p < 0.05$), not differing from the CLF system. There was no significant effect of systems for the greater height class in winter, but in summer, the CL system had the highest frequency compared to the tree systems ($p < 0.05$).

3.3.3 Frequency of forage species

Figure 4 shows the species composition for the different production systems studied in three periods. There was no difference in the frequency of black oats among the systems in the three periods ($p > 0.05$), while Italian ryegrass was found at a higher frequency in the CL system in the winter and transition periods ($p < 0.05$). In summer,

Italian ryegrass appeared less frequently, but similarly among the systems studied. There was no significant effect on the frequency of Aries and other grasses in the winter and transition periods, while in the summer, the CL system showed a lower frequency of Aries and a higher frequency of other grasses compared to the other systems ($p < 0.05$).

Figure 5 illustrates the relationship between the different species and their respective heights in the three periods for each system. In the winter, the L and CL systems presented a higher frequency of black oats than the systems with trees (LF and CLF), where the L system presented a higher frequency of greater heights than the CL system. In the transition period, black oats were higher in the systems with trees (CLF and LF). The summer period had a larger number of observations, i.e., it was longer. In this period, the CL system showed a higher frequency of other grasses and greater height variability than the LF system, which had less height variability.

3.3.4 Fitting the height distributions

The AIC criterion information used to choose the distribution model that best fits the data is presented in Table 1. The AIC value of the theoretical normal, gamma, log-normal, and Weibull distributions was tested on each system in the winter and summer. Except for the CLF system in winter that had a better fit to the Weibull distribution, the other systems in both periods had their data better fitted to the gamma distribution. The gamma, log-normal, and Weibull distributions generally fit better than the normal distribution, according to the AIC criterion.

Figure 6 shows the relationship between the histograms of frequency of sward heights and the frequency distributions adjusted for each theoretical distribution. In the winter period, the L and CL systems had a higher frequency of heights above 40 cm

than systems with the tree component, in which the frequencies were concentrated closer to the average. In summer, this trend continued; however, in the L and CL systems, there was an increase in the frequency of these greater heights compared to winter.

3.4 DISCUSSION

3.4.1 Pasture management target

Although the average height observed in all systems in winter is lower than the intended target, it is within the optimal range recommended for black oat management (Figure 2). According to Mezzalira et al. (2014), black oat height between 18 and 30 cm provides animals with pasture structures that favor greater bite mass and ingestion rate. In studies by Zanini et al. (2012b) with *Megathyrus maximus* cv Aruana with similar structural characteristics to Aries (Moreira et al., 2010), the 95% light interception corresponds to a height of 30 cm, and the grazing interval between 15 and 30 cm resulted in a greater number of tillers, lower rates of thatch elongation and leaf senescence, and greater leaf accumulation, compared to management below or above these heights. Even though no management criteria were established for Aries based on the sward structure effect on the ingestion process, light interception is a widely used management parameter. Therefore, although the non-forested systems have heights greater than the pre-established goal in summer, the average height is within the recommended range of the light interception criterion.

3.4.2 Height frequency and distribution

For continuous grazing, Carvalho et al. (2019) point out that maintaining a high frequency of optimal heights is a challenge for grazing optimization. Unlike rotational grazing, in which there is greater control over when and where animals should graze, in continuous grazing, the free grazing animal needs to search for optimal structures on its own. In this context, stocking rate control is essential to maintain an optimal average height formed by patches at different regrowth times. This was verified in this study, where the highest height frequency was found in the optimal class for the winter (between 39 and 58%) and summer (between 39 and 50%) seasons, especially in the wooded systems (Figure 3).

In contrast to the data presented in this study, Gibb & Ridout (1986) observed that due to the selective behavior of the animals, the proportion of areas grazed with greater frequency increased over the occupation period; consequently, a mosaic was formed with a predominance of lower areas, a decrease in the frequency of near-average heights, and a small increase in higher heights, resulting in a bimodal distribution. This behavior may be associated with high grazing intensities, where there is an increase in areas with lower to average heights due to intense grazing and small patches with higher heights due to rejection by feces presence (Nunes et al., 2019; Shiyomi et al., 1998).

Although the bimodal distribution was reported as the best-described grazing height frequency in mixed pastures of perennial ryegrass and white clover (Gibb & Ridout 1986), its fit was only matched to the normal distribution that fits symmetrical distributions alone, which does not occur with grazing height data. Given this, other distributions began to be tested, and better fits were obtained for positively skewed data, such as the log-normal, gamma, and Weibull distributions (Barthram et al., 2005; Carvalho et al., 2010; Dobos et al., 2009).

In the systems studied in this paper, the gamma distribution was the one that best described the heterogeneity of the pasture, except for the CLF system in the winter period, in which the Weibull distribution had a better fit (Table 1). The gamma distribution is close to the normal distribution but has the advantage of fitting better to positively skewed data, while the Weibull distribution fits data with positive or negative skewness (Barthram et al., 2005). In general, the systems with trees showed a higher frequency of heights near the average optimal management height, while the L and CL systems were more heterogeneous, especially in summer (Figure 6). This behavior may be related to better-distributed grazing in the area in the shaded environments due to the proximity of the tree clumps (Larson-Praplan et al., 2015) and also to the lower sward growth due to shading (Silva et al., 2016), while in the L and CL systems, in periods of higher temperatures, the animals concentrate grazing in specific areas, such as near water troughs. In addition, the greater presence of other grasses in full-sun systems can influence the animal selection process, increasing the heterogeneity of the pasture.

3.4.3 Forage species composition

The species composition was different between systems within the periods studied, except for oats (Figure 4). As o black oats are sown annually, their frequency was similar among the systems. The frequency of Italian ryegrass was higher in the CL system. In the winter preceding the 2016/17 maize crop, grazing was not performed, aiming to produce more straw to reduce weed pressure on the grain crop, thus increasing the Italian ryegrass seed bank by increasing the number of viable seeds and consequently increasing the frequency of the species in subsequent cycles. The lower Aries frequency in the CL system in summer is explained by its suppression

in the 2016/17 summer crop due to the high amount of black oat straw and its competition with maize. These factors caused a decrease in the Aries density, favoring a higher frequency of other species that already existed in the area, but in a minor way. This response is mainly related to the growth habits of these other grasses, which are mostly prostrate species. Fedrigo et al. (2017) reported that prostrate species have an adaptive strategy of tolerance to grazing, which ensures their persistence even in situations of intense defoliation. Aries' lower frequency in the CL system was also reflected in the animals' consumption, as Portugal (2020) found in the same experimental protocol that Aries' contribution to cattle diet intake was lower compared to the other systems and, consequently, that of other grasses was higher. In the CLF system, despite the maize crop in the summer harvest, Aries frequency was not affected because the region near the tree rows where the seeder does not pass benefits the permanence of Aries, thus favoring the production of seeds that are easily dispersed to the areas between rows after the maize harvest.

3.5 CONCLUSIONS

Management in continuous grazing in systems integrated with trees promoted a greater frequency of near-average heights, which showed smaller amplitude of height distribution, indicating less heterogeneity. This can be attributed to the more uniform shading of the forest arrangement, resulting in better grazing distribution in the area.

On the other hand, the systems without the presence of the arboreal component, mainly the CL, presented higher grass diversity due to the higher frequency of species that emerged spontaneously. This suggests that, in the absence

of the forest component for the maintenance of higher frequencies of Aries grass, a new input of seeds may be necessary, especially after maize cultivation.

The gamma distribution best described the frequency of heights for the systems and periods studied, except for the CLF system in winter, when the Weibull model presented the best fit. Therefore, although the systems presented differences in forage species composition or height classes due to integration with tillage and trees, using a height target resulted in similar distributions.

ACKNOWLEDGMENTS

We thank all MSc, PhD and undergraduate students of the Núcleo de Inovação Tecnológica em Agropecuária (UFPR) for their help during the experiment and the Brazilian Research Agency (CAPES) for the financial support provided for this work.

CONFLICT OF INTERESTS

The authors declare no conflicts of interest in this study.

3.6 REFERENCES

- Barthram, G. T., Duff, E. I., Elston, D. A., Griffiths, J. H., Common, T. G. & Marriott C. A. (2005). Frequency distributions of sward height under sheep grazing. *Grass and Forage Science*, 60 (1), 4-16. doi.org/10.1111/j.1365-2494.2005.00444.x
- Barthram, G. T. (1985). Experimental techniques: The HFRO sward stick. In M. M. Alcok (Ed.), *The Hill farming research organization Biennial report 1984/1985* (pp. 29–30). Penicuik, UK: HFRO.
- Bates, D., Mächler, M., Bolker, B., & Walker, S. (2015). Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. *Journal of Statistical Software*, 67 (1), 1–48. doi:

10.18637/jss.v067.i01

- Carvalho, P. D. F. (2013). Harry Stobbs Memorial Lecture: Can grazing behavior support innovations in grassland management. *Tropical Grasslands*, 1(2), 137-155. [https://doi.org/10.17138/tgft\(1\)137-155](https://doi.org/10.17138/tgft(1)137-155)
- Carvalho, P. C. F., da Rocha, L. M., Baggio, C., Macari, S., Kunrath, T. R., de Moraes A. (2010). Característica produtiva e estrutural de pastos mistos de aveia e azevém manejados em quatro alturas sob lotação contínua. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 39 (9), 1857-1865. doi.org/10.1590/S1516-35982010000900001.
- Carvalho, P. C. F., Mezzalira, J. C., Fonseca, L., Wesp, C. D. L., da Trindade, J. K., Neves, F. P., ... Poli, C. H. E. C. (2009). Do bocado ao sitio de pastejo: Manejo em 3D para compatibilizar a estrutura do pasto e o processo de pastejo. In: *VII Simposio e III Congresso de Forragicultura e Pastagens* (pp. 116–137). Lavras, Brazil. (Proceedings, in Portuguese).
- Carvalho, P. C. F., Prates, A. P., Moojen, F. G., Szymczak, L. S., Nunes, P. A. A., Silva Neto, G. F., Savian, J. V. & Eloy, L. (2019). Métodos de pastoreio: uma perspectiva alternativa a décadas de debate e pouco avanço conceitual. *Anais do V Simpapasto V Simpósio de Produção Animal a Pasto*. Maringá-Paraná.
- Cid, M. S., & Brizuela, M. A. (1998). Heterogeneity in tall fescue pastures created and sustained by cattle grazing. *Journal of Range Management*, 51, 644–649. <https://doi.org/10.2307/4003606>
- Delignette-Muller, M. L., Dutang, C. (2015). Fitdistrplus: An R Package for Fitting Distributions. *Journal of Statistical Software*, 64(4), 1–34. <http://www.jstatsoft.org/v64/i04/>
- Dobos, R. C., K. Sinclair, G. N. Hinch, & W. J. Fulkerson (2009). Frequency distribution of sward height of kikuyu (*Pennisetum clandestinum*) grass pastures intensively grazed by dairy cows. *Animal Production Science* 49(7), 574-585. doi.org/10.1071/EA08263

- FAO. *An international consultation on integrated crop livestock systems for development: The way forward for sustainable production intensification*. Integrated Crop Management, (13), 64p., 2010.
- Fedriço, J. K., Pablo F. A., Azambuja Filho, J., Oliveira, L. V. , Jaurena, M. , Laca, E. A., Overbeck, G. E. & Nabinger, C. (2017). Temporary grazing exclusion promotes rapid recovery of species richness and productivity in a long-term overgrazed Campos grassland. *Restoration Ecology* 26(4), 677-685. doi.org/10.1111/rec.12635
- Gibb, M. J. & Ridout, M. S. (1986). The fitting of frequency distributions to height measurements on grazed swards. *Grass and Forage Science* 41(3), 247-249. doi.org/10.1111/j.1365-2494.1986.tb01810.x
- Larson-Praplan, S., George, M. R., Buckhouse, J. C., & Laca, E. A. (2015). Spatial and temporal domains of scale of grazing cattle. *Animal Production Science*, 55(3), 284-297. http://dx.doi.org/10.1071/AN14641
- Mezzalana, J. C., Carvalho, P. C. F., 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. *Applied Animal Behaviour Science*, 153, 1–9. http://dx.doi.org/10.1016/j.applanim.2013.12.014
- Moraes, A., Carvalho, P. C. F., Anghinoni, I., Brasil, S., Lustosa, C., de Andra Costa, S. E. V. G., Kunrath, T. R. (2014). Integrated crop-livestock systems in the Brazilian subtropics. *European Journal of Agronomy*, 57, 4–9. https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.10.004
- Moreira, D. E., De Camargo, E. F., Moletta, J. L., De Oliveira, J. & Martins, A. S. (2010). Avaliação da Massa de Forragem, Taxa de Acúmulo Diário e Características Estruturais de Cultivares de *Panicum Maximum* nos Campos Gerais do Paraná. *XIX Encontro Anual de Iniciação Científica–EAIC*.

- Mott, G. O., & Lucas, H. L. (1952). The design, conduct and interpretation of grazing trials on cultivated and improved pastures. In: *International Grassland Congress* (pp. 1380 – 1395). PN (Proceedings).
- Negri, R., Dos Santos, G. B., de Paulo Macedo, V., Da Silveira, M. F., Wlodarski, L., & Kluska, S. (2019). Morphogenesis and tiller density of Aruana grass managed at different heights under sheep grazing. *Semina: Ciências Agrárias*, 40 (5), 2341-2350. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2019v40n5Supl1p2341>
- Nunes, P. A. A., Bredemeier, C., Bremm, C., Caetano, L. A. M., De Almeida, G. M., De Souza Filho, W., Anghinoni, I. & Carvalho, P. C. F. (2019). Grazing intensity determines pasture spatial heterogeneity and productivity in an integrated crop-livestock system. *Grassland Science*, 65(1), 49-59. doi.org/10.1111/grs.12209
- Paraná. Decreto nº 1753, de 06 de Maio de 1996. Área de Proteção Ambiental do Iraí. Curitiba, PR.
- Parsons, A. J., Dumont, B. Spatial heterogeneity and grazing processes. (2003). *Animal Research*, 52, 161-179. <https://doi.org/10.1051/animres:2003013>
- Pontes-Prates, A.; Carvalho, P. C. F.; Laca, E. A. (2020). Mechanisms of grazing management in heterogeneous swards. *Sustainability*, 12(20), 1-17. <https://doi.org/10.3390/su12208676>
- Portugal, T. B (2020). Sistemas integrados de produção agropecuária: desempenho animal, emissão de metano e controle de ectoparasitos em bovinos. Doctoral thesis, Federal University of Paraná, Curitiba, Brazil.
- R Core Team. (2016). R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. Retrieved from <https://www.R-project.org/>.
- Santos, D. C, Guimarães Júnior, R. G., Vilela, L., Pulrolnik, K., Bufon, V. B., & de Souza França, A. F. (2016). Forage dry mass accumulation and structural

characteristics of Piatã grass in silvopastoral systems in the Brazilian savannah. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 233, 16-24.

Shiyomi, M., Okada, M., Takahashi, S. & Tang, Y. (1998). Spatial pattern changes in aboveground plant biomass in a grazing pasture. *Ecological research*, 13(3), 313-322. doi: 10.1046/j.1440-1703.1998.00266.x

Tonn, B., Raab, C., & Isselstein, J. (2018). Sward patterns created by patch grazing are stable over more than a decade. *Grass and Forage Science*, (74) 104-114. <https://doi.org/10.1111/gfs.12389>

Zanini, G. D., Santos, G. T. & Sbrissia, A. F. (2012a). Frequencies and intensities of defoliation in Aruana guineagrass swards: accumulation and morphological composition of forage. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 41, (4) 905-913. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982012000400011>

Zanini, G. D., Santos, G. T. & Sbrissia, A. F. (2012b). Frequencies and intensities of defoliation in Aruana guineagrass swards: morphogenetic and structural characteristics. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 41, (8) 1848-1857. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982012000800007>

TABLES AND FIGURES

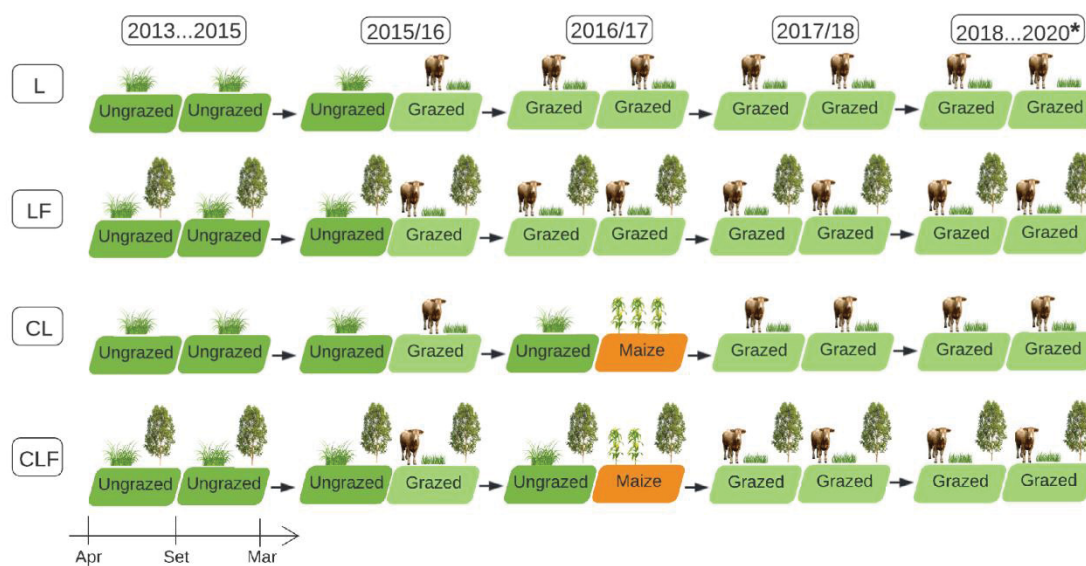


Figure 1 - Representation of temporal rotation schemes over seven years and the arrangement of the experimental protocol systems in which the evaluations were conducted (L, livestock; LF, livestock-forestry; CL, crop-livestock; CLF, crop-livestock-forestry). *Corresponds to the evaluation period.

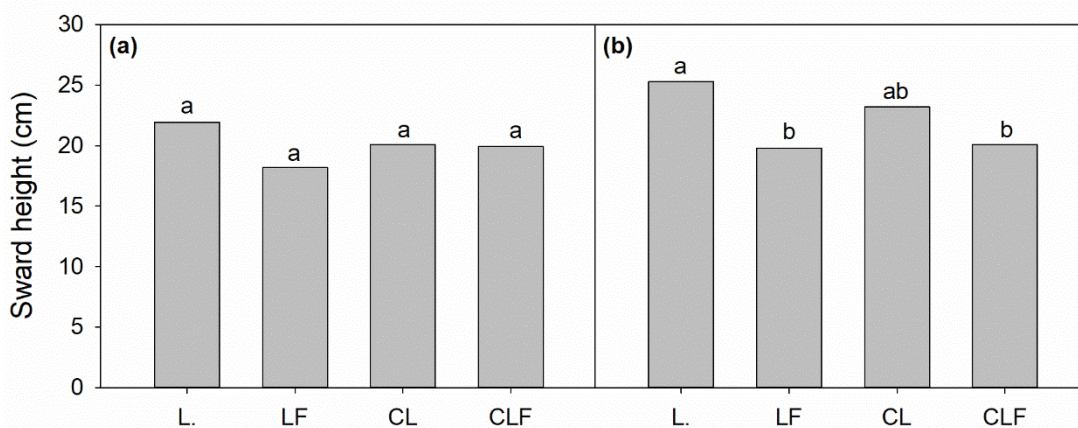


Figure 2 - Average sward height in winter (a) and summer (b) in livestock production systems (L, livestock; LF, livestock-forestry; CL, crop-livestock; CLF, crop-livestock-forestry). Different letters represent significant differences between systems according to Tukey's test ($p < 0.05$).

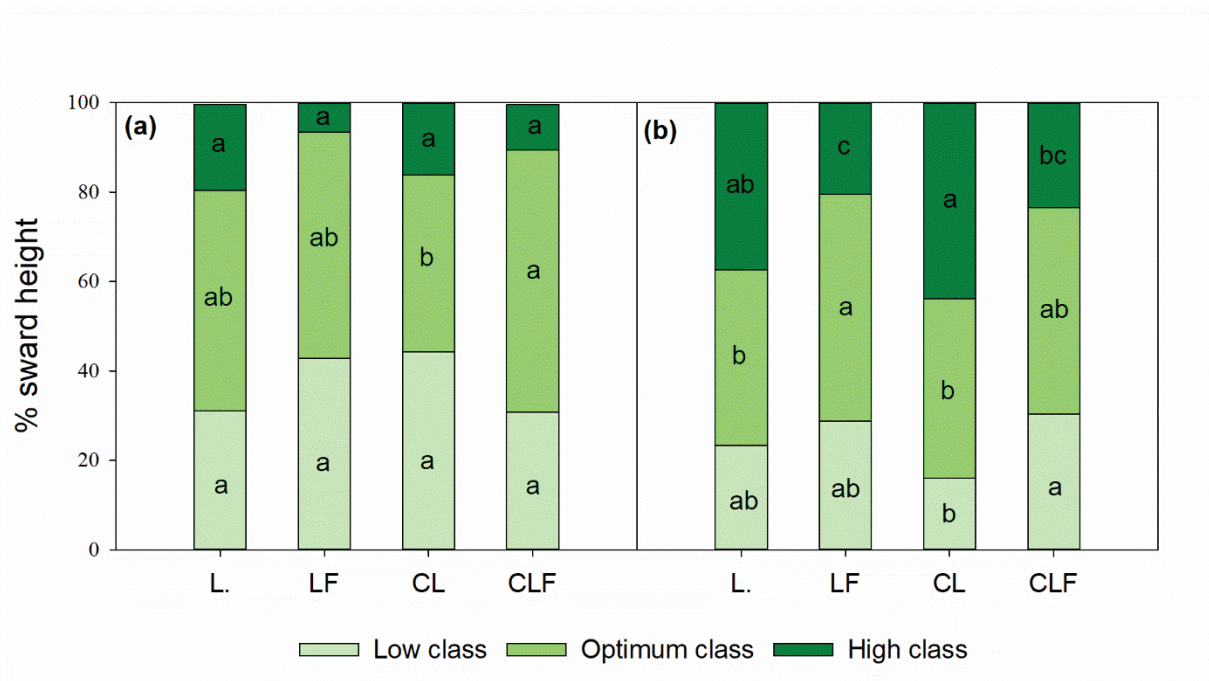


Figure 3 - Height classes for the winter (a) (low class, smaller than 18 cm; optimum class, 18 to 30 cm; high class, over 30 cm) and summer (b) (low class, smaller than 15 cm; optimum class, 15 to 25 cm; high class, over 25 cm); seasons in livestock production systems (L, livestock; LF, livestock-forestry; CL, crop-livestock; CLF, crop-livestock-forestry). According to Tukey's test ($p < 0.05$), different letters represent significant differences among systems.

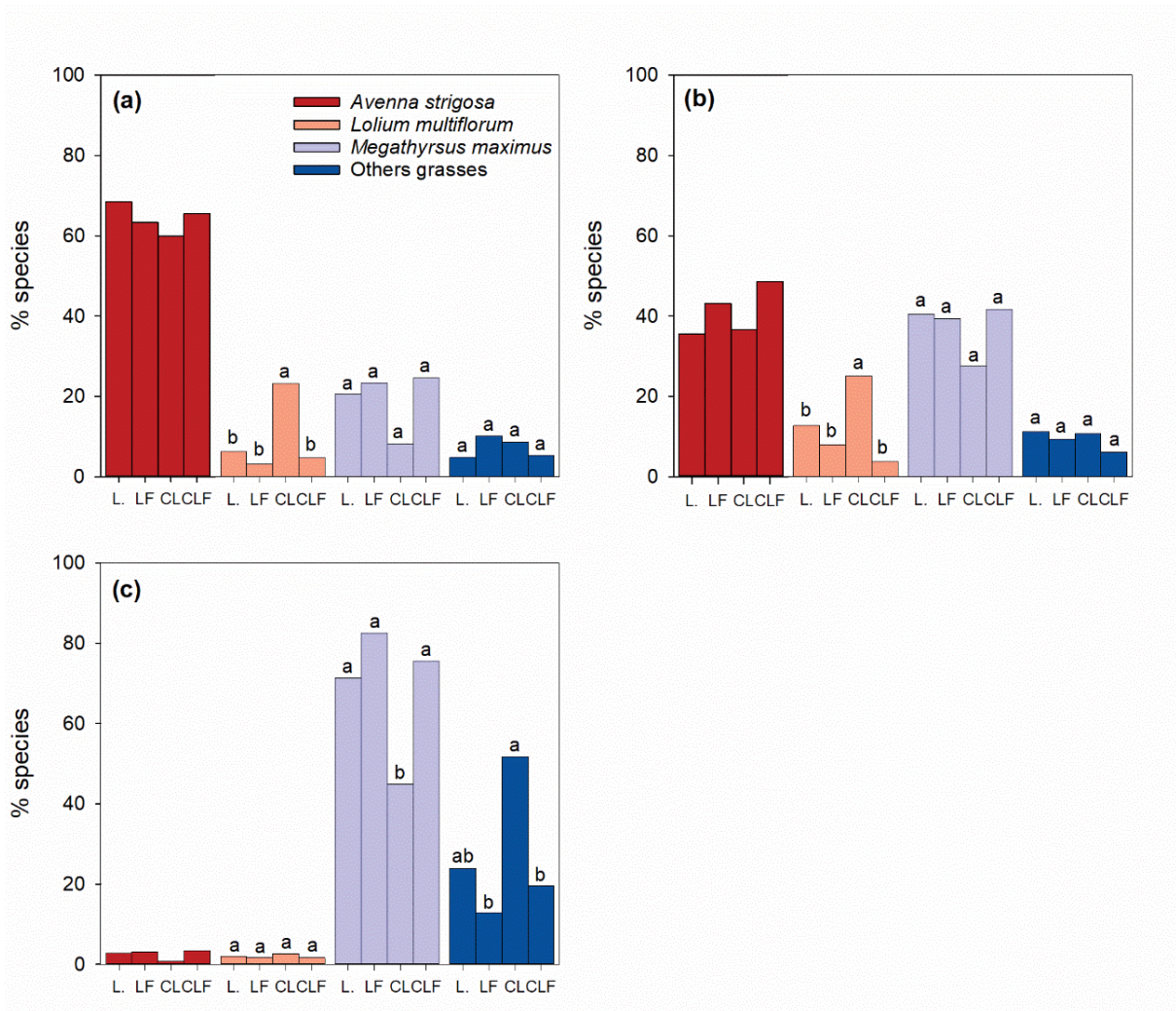


Figure 4 - Frequency of species composition in livestock production systems during the winter (a), transition (b), and summer (c) seasons (L, livestock; LF, livestock-forestry; CL, crop-livestock; CLF, crop-livestock-forestry). According to Tukey's test ($p < 0.05$), different letters represent significant differences among systems.

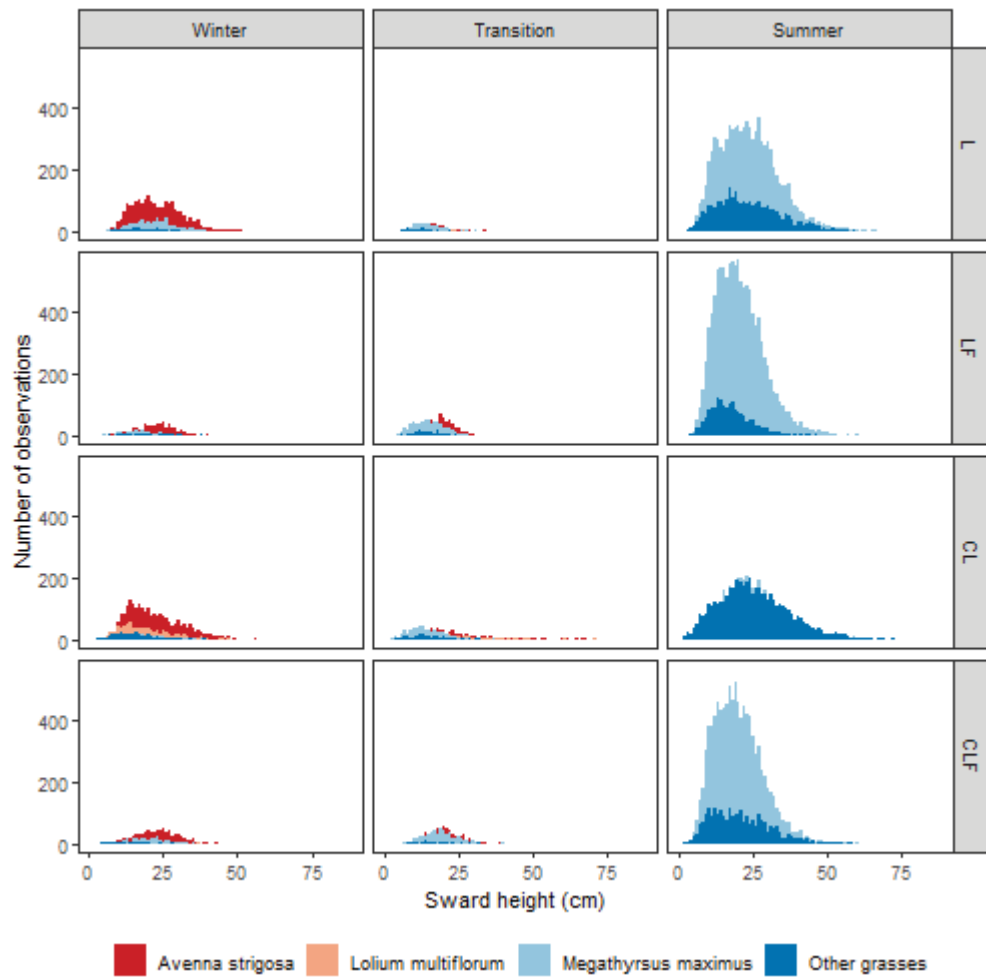


Figure 5 - Frequency of sward height distribution for each species and period in the different livestock production systems (L, livestock; LF, livestock-forestry; CL, crop-livestock; CLF, crop- livestock-forestry).

Table 1 - Akaike's information criterion for four theoretical distributions fitted for grazing height frequencies in two periods (winter and summer) and four livestock production systems (L, livestock; LF, livestock-forestry; CL, crop- livestock; CLF, crop- livestock-forestry).

Period	Systems			
	L	LF	CL	CLF
Normal distribution				
Winter	24702.4	12082.0	41185.3	16063.4
Summer	96661.0	99279.0	79263.9	95093.0
Gamma distribution				
Winter	24290.1[†]	11968.1	39886.5	16052.4
Summer	95252.6	97364.5	78429.5	93522.2
Log-normal distribution				
Winter	24398.4	12043.9	39918.6	16214.9
Summer	95851.2	97542.6	79240.1	93988.9
Weibull distribution				
Winter	24546.1	12004.9	40351.0	16036.7
Summer	95592.8	98507.3	78530.0	94096.7

[†] Values in bold indicate the lowest AIC value for each system in each period.

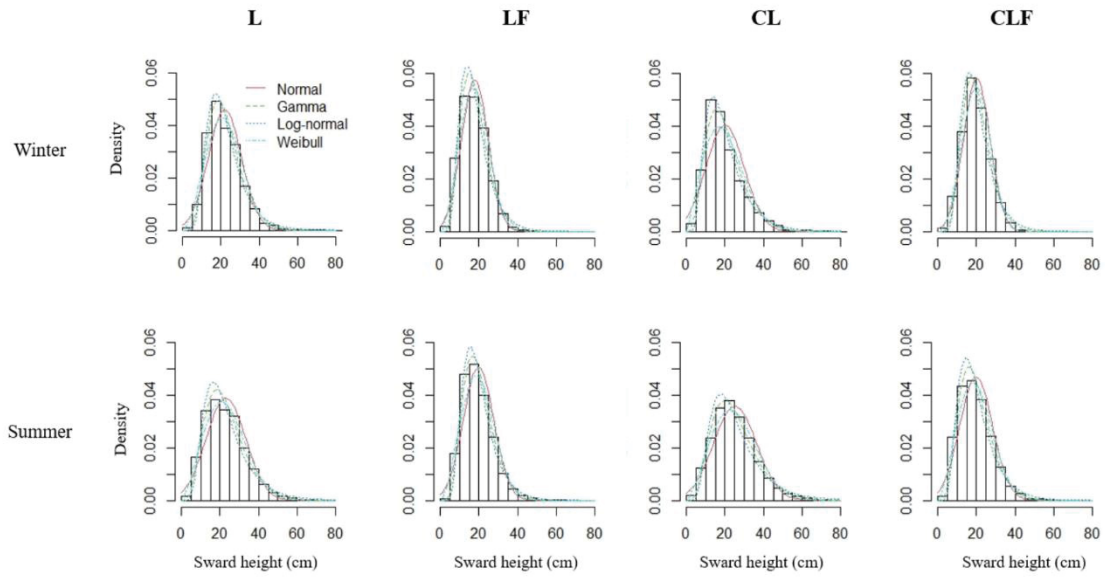


Figure 6 - Fitting the distributions (normal, gamma, log-normal, and Weibull) for the pasture height frequencies in the winter and summer period in livestock production systems (L, livestock; LF, livestock-forestry; CL, crop- livestock; CLF, crop- livestock-forestry).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nos últimos anos é crescente a procura por informações voltadas ao desenvolvimento de sistemas sustentáveis de produção agropecuária, buscando auxiliar produtores a atender a demanda por alimentos de forma aliada a preservação dos recursos naturais. Nesse sentido, a presente tese vem para contribuir com estas questões, pois os sistemas integrados de produção agropecuária são apontados como uma alternativa de modelo de produção sustentável.

No capítulo I, verificamos que a integração com a lavoura não afetou as variáveis estudadas, em contrapartida nos sistemas com árvores houve redução da produção do pasto. Embora, o componente arbóreo tenha reduzido a produção de forragem, apresentou maior potencial de transformar massa de forragem em ganho animal, essa maior eficiência de utilização de recursos resultou em desempenho animal semelhante entre os sistemas.

No capítulo II, verificamos que a integração com a lavoura aumentou a diversidade de espécies forrageiras que surgiram de forma espontânea. Já o componente arbóreo diminuiu a amplitude da distribuição das alturas do pasto, indicando menor heterogeneidade.

De acordo com os resultados obtidos nos dois capítulos, é possível concluir que tanto a integração com a lavoura quanto com as árvores, influenciaram no ambiente pastoril. No entanto, é preciso destacar que no presente estudo os sistemas de produção foram implantados e mantidos sem o uso de defensivos químicos para o controle de plantas invasoras, pragas ou doenças na pastagem. Isso possibilitou o aumento na diversidade de espécies, especialmente nos sistemas integrados com a lavoura. E apesar da não utilização de defensivos químicos com o intuito de favorecer as espécies forrageiras, os resultados em produtividade animal na média dos sistemas foram 424% superiores à produtividade média nacional. O que comprova que os sistemas integrados de produção agropecuária são um caminho para aumentar a eficiência produtiva buscando a sustentabilidade.

Em relação aos sistemas estudados, o ganho de peso vivo por área não apresentou diferença estatística ($p=0,06$). Em razão da importância econômica desta variável julgamos pertinente explorá-la neste momento. Ao longo de um ano, os

sistemas a pleno sol (PEC e LP) apresentaram em média uma produção de ganho de peso de 119 kg PV⁻¹ ha⁻¹ a mais em relação aos sistemas arborizados (PF e LPF). Esse valor foi superior à produtividade média do Brasil, que registrou um ganho de aproximadamente 97,5 kg PV⁻¹ ha⁻¹ (Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil, 2022), portanto na prática, essa diferença pode refletir em ganhos econômicos significativos. Por outro lado, deve-se levar em consideração que os sistemas com menor produtividade animal possuem um incremento na produção por meio da madeira oriunda das árvores, sendo necessário a quantificação econômica do sistema como um todo, além dos benefícios em relação ao bem-estar animal.

Diante do exposto, é possível concluir que a construção de conhecimento por meio da pesquisa é fundamental para a compreensão do funcionamento das diversas possibilidades de arranjos, rotações e espécies que podem ser utilizadas em um sistema integrado de produção agropecuária. Com isso, é possível a difusão desse conhecimento e uso estratégico no planejamento dos sistemas de produção, de forma a atender a demanda por eficiência produtiva associada aos preceitos de sustentabilidade. Além de contribuir direcionando pesquisas futuras, que poderão trazer um maior entendimento sobre as relações entre componentes nos SIPAs.

REFERÊNCIAS GERAIS

- Anghinoni, I., Carvalho, P. D. F., & Costa, S. D. A. (2013). Abordagem sistêmica do solo em sistemas integrados de produção agrícola e pecuária no subtropical brasileiro. *Tópicos em ciência do solo*, 8(2), 325-380.
- Barthram, G. T., Duff, E. I., Elston, D. A., Griffiths, J. H., Common, T. G. & Marriott C. A. (2005). Frequency distributions of sward height under sheep grazing. *Grass and Forage Science*, 60 (1), 4-16.
- Barthram, G. T. (1985). Experimental techniques: The HFRO sward stick. In M. M. Alcock (Ed.), *The Hill farming research organization Biennial report 1984/1985* (pp. 29–30). Penicuik, UK: HFRO.
- Bates, D., Mächler, M., Bolker, B., & Walker, S. (2015). Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. *Journal of Statistical Software*, 67 (1), 1–48.
- Belesky, D. P., Burner, D. M., & Ruckle, J. M. (2011). Tiller production in cocksfoot (*Dactylis glomerata*) and tall fescue (*Festuca arundinacea*) growing along a light gradient. *Grass and Forage Science*, 66(3), 370-380.
- Beltran-Peña, A., Rosa, L., & D'Odorico, P. (2020). Global food self-sufficiency in the 21st century under sustainable intensification of agriculture. *Environmental Research Letters*, 15(9), 095004.
- Carvalho, P., Domiciano, L. F., Mombach, M. A., do Nascimento, H. L. B., Cabral, L. D. S., Sollenberger, L. E., ... & Pedreira, B. C. (2019). Forage and animal production on palisadegrass pastures growing in monoculture or as a component of integrated crop–livestock–forestry systems. *Grass and Forage Science*, 74(4), 650-660.
- Carvalho, P. C. F., Prates, A. P., Moojen, F. G., Szymczak, L. S., Nunes, P. A. A., Silva Neto, G. F., Savian, J. V. & Eloy, L. (2019). Métodos de pastoreio: uma perspectiva alternativa a décadas de debate e pouco avanço conceitual. *Anais do V Simpapasto*

V Simpósio de Produção Animal a Pasto. Maringá-Paraná.

- Carvalho, P. C. D. F., Barro, R. S., Barth Neto, A., Nunes, P. A. D. A., Moraes, A. D., Anghinoni, I., ... & Borin, J. B. M. (2018). Integrating the pastoral component in agricultural systems. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 47, 1-12
- Carvalho, P. D. F. (2013). Harry Stobbs Memorial Lecture: Can grazing behavior support innovations in grassland management. *Tropical Grasslands*, 1(2), 137-155.
- Carvalho, P. C. F., da Rocha, L. M., Baggio, C., Macari, S., Kunrath, T. R., de Moraes A. (2010). Característica produtiva e estrutural de pastos mistos de aveia e azevém manejados em quatro alturas sob lotação contínua. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 39 (9), 1857-1865.
- Carvalho, P. C. F., Mezzalira, J. C., Fonseca, L., Wesp, C. D. L., da Trindade, J. K., Neves, F. P., ... Poli, C. H. E. C. (2009). Do bocado ao sitio de pastejo: Manejo em 3D para compatibilizar a estrutura do pasto e o processo de pastejo. In: *VII Simpósio e III Congresso de Forragicultura e Pastagens* (pp. 116–137). Lavras, Brazil. (Proceedings, in Portuguese).
- Cid, M. S., & Brizuela, M. A. (1998). Heterogeneity in tall fescue pastures created and sustained by cattle grazing. *Journal of Range Management*, 51, 644–649.
- Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil - CNA. (2022). *Competitividade da pecuária de corte brasileira é destaque no cenário internacional*. <https://cnabrasil.org.br/publicacoes/competitividade-da-pecuaria-de-corte-brasileira-e-destaque-no-cenario-internacional>
- Crusciol, C. A. C., Pariz, C. M., Costa, N. R., Castilhos, A. M., Costa, C., Andreotti, M., & Meirelles, P. R. L. (2018). Sistemas integrados de produção agropecuária: consórcio de culturas graníferas com forrageiras tropicais. In: Edicarlos Damascena de Souza (Ed.), *Sistemas integrados de produção agropecuária no Brasil*. (p. 187-210). Copiart.

- Delignette-Muller, M. L., Dutang, C. (2015). Fitdistrplus: An R Package for Fitting Distributions. *Journal of Statistical Software*, 64(4), 1–34.
- Dobos, R. C., K. Sinclair, G. N. Hinch, & W. J. Fulkerson (2009). Frequency distribution of sward height of kikuyu (*Pennisetum clandestinum*) grass pastures intensively grazed by dairy cows. *Animal Production Science* 49(7), 574-585.
- Domiciano, L. F., Mombach, M. A., Carvalho, P., Da Silva, N. M. F., Pereira, D. H., Cabral, L. S., ... & Pedreira, B. C. (2016). Performance and behaviour of Nellore steers on integrated systems. *Animal Production Science*, 58(5), 920-929.
- FAO. *An international consultation on integrated crop livestock systems for development: The way forward for sustainable production intensification*. Integrated Crop Management, (13), 64p., 2010.
- Fedrigo, J. K., Pablo F. A., Azambuja Filho, J., Oliveira, L. V. , Jaurena, M. , Laca, E. A., Overbeck, G. E. & Nabinger, C. (2017). Temporary grazing exclusion promotes rapid recovery of species richness and productivity in a long-term overgrazed Campos grassland. *Restoration Ecology* 26(4), 677-685.
- Feltran-Barbieri, R., & Féres, J. G. (2021). Degraded pastures in Brazil: improving livestock production and forest restoration. *Royal Society Open Science*, 8(7), 201854.
- Ferraz, J. B. S., & de Felício, P. E. (2010). Production systems—An example from Brazil. *Meat Science*, 84(2), 238-243.
- Franzluebbers, A. J., Sulc, R. M., & Russelle, M. P. (2011). Opportunities and challenges for integrating North-American crop and livestock systems. *Grassland Productivity and Ecosystems Services*. CAB International, London, 208-217.
- Gardner, F. P., Pearce, R. B., & Mitchell, R. L. (2017). *Physiology of crop plants*. Scientific publishers.

- Garibaldi, L. A., Gemmill-Herren, B., D'Annolfo, R., Graeub, B. E., Cunningham, S. A., & Breeze, T. D. (2017). Farming approaches for greater biodiversity, livelihoods, and food security. *Trends in ecology & evolution*, 32(1), 68-80.
- Gaudin, A. C., Tolhurst, T. N., Ker, A. P., Janovicek, K., Tortora, C., Martin, R. C., & Deen, W. (2015). Increasing crop diversity mitigates weather variations and improves yield stability. *PloS one*, 10(2), 1-20.
- Gibb, M. J. & Ridout, M. S. (1986). The fitting of frequency distributions to height measurements on grazed swards. *Grass and Forage Science* 41(3), 247-249.
- Gómez, S., Guenni, O., & Bravo de Guenni, L. (2013). Growth, leaf photosynthesis and canopy light use efficiency under differing irradiance and soil N supplies in the forage grass *Brachiaria decumbens* Stapf. *Grass and Forage Science*, 68(3), 395-407.
- Hedlund, J., Longo, S. B., & York, R. (2019). Agriculture, pesticide use, and economic development: a global examination (1990–2014). *Rural Sociology*, 85(2), 519-544.
- Hussain, S., Iqbal, N., Ting, P., Khan, M. N., Liu, W. G., & Yang, W. Y. (2019). Weak stem under shade reveals the lignin reduction behavior. *Journal of Integrative Agriculture*, 18(3), 496-505.
- Jose, S., Walter, D., & Mohan Kumar, B. (2019). Ecological considerations in sustainable silvopasture design and management. *Agroforestry Systems*, 93(1), 317-331.
- Kruchelski, S., Trautenmüller, J. W., Orso, G. A., Triches, G. P., Porfírio-da-Silva, V., & de Moraes, A. (2022). Growth and productivity of *Eucalyptus benthamii* in integrated crop–livestock systems in southern Brazil. *Agroforestry Systems*, 1-13.
- Kunrath, T. R., Cadenazzi, M., Brambilla, D. M., Anghinoni, I., de Moraes, A., Barro, R. S., & de Faccio Carvalho, P. C. (2014). Management targets for continuously stocked mixed oat × annual ryegrass pasture in a no-till integrated crop–livestock

system. *European Journal of Agronomy*, 57, 71-76.

Larson-Praplan, S., George, M. R., Buckhouse, J. C., & Laca, E. A. (2015). Spatial and temporal domains of scale of grazing cattle. *Animal Production Science*, 55(3), 284-297.

Lechenet, M., Dessaint, F., Py, G., Makowski, D., & Munier-Jolain, N. (2017). Reducing pesticide use while preserving crop productivity and profitability on arable farms. *Nature Plants*, 3(3), 1-6.

Lemaire, G., Franzluebbbers, A., de Faccio Carvalho, P. C., & Dedieu, B. (2014). Integrated crop–livestock systems: Strategies to achieve synergy between agricultural production and environmental quality. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 190, 4-8.

Lima, M. A., Paciullo, D. S., Morenz, M. J., Gomide, C. A., Rodrigues, R. A., & Chizzotti, F. H. (2019). Productivity and nutritive value of *Brachiaria decumbens* and performance of dairy heifers in a long-term silvopastoral system. *Grass and Forage Science*, 74(1), 160-170.

Lin, B. B. (2011). Resilience in agriculture through crop diversification: adaptive management for environmental change. *BioScience*, 61(3), 183-193.

Mezzalira, J. C., Carvalho, P. C. F., 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. *Applied Animal Behaviour Science*, 153, 1–9.

Moraes, A., Carvalho, P. C. F., Anghinoni, I., Lustosa, S. B. C., de Andrade, S. E. V. G., & Kunrath, T. R. (2014). Integrated crop–livestock systems in the Brazilian subtropics. *European Journal of Agronomy*, 57, 4-9.

Moraes, A.D., Moojen, E.L. e Maraschin, G.E., 1990. Comparação de métodos de estimativa de taxas de crescimento em uma pastagem submetida a diferentes pressões de pastejo. *Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia*, 27, p.332.

- Moreira, D. E., De Camargo, E. F., Moletta, J. L., De Oliveira, J. & Martins, A. S. (2010). Avaliação da Massa de Forragem, Taxa de Acúmulo Diário e Características Estruturais de Cultivares de *Panicum Maximum* nos Campos Gerais do Paraná. XIX Encontro Anual de Iniciação Científica–EAIC.
- Mott, G. O., & Lucas, H. L. (1952). The design, conduct and interpretation of grazing trials on cultivated and improved pastures. In: International Grassland Congress (pp. 1380 – 1395). PN (Proceedings).
- Negri, R., Dos Santos, G. B., de Paulo Macedo, V., Da Silveira, M. F., Wlodarski, L., & Kluska, S. (2019). Morphogenesis and tiller density of Aruana grass managed at different heights under sheep grazing. *Semina: Ciências Agrárias*, 40 (5), 2341-2350.
- Nunes, P. A. A., Bredemeier, C., Bremm, C., Caetano, L. A. M., De Almeida, G. M., De Souza Filho, W., Anghinoni, I. & Carvalho, P. C. F. (2019). Grazing intensity determines pasture spatial heterogeneity and productivity in an integrated crop-livestock system. *Grassland Science*, 65(1), 49-59.
- Oliveira, C. A. O., Bremm, C., Anghinoni, I., de Moraes, A., Kunrath, T. R., & de Faccio Carvalho, P. C. (2013). Comparison of an integrated crop–livestock system with soybean only: Economic and production responses in southern Brazil. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 29(3), 230-238.
- Oliveira, E., Assmann, A. L., Assmann, T. S., & Mezzadri, F. (2018). Estado da arte e estudos de caso em sistemas integrados de produção agropecuária no sul do Brasil. In: Edicarlo Damascena de Souza (Ed.), *Sistemas integrados de produção agropecuária no Brasil*. (p. 187-210). Copiart.
- Pang, K., Van Sambeek, J. W., Navarrete-Tindall, N. E., Lin, C. H., Jose, S., & Garrett, H. E. (2017). Responses of legumes and grasses to non-, moderate, and dense shade in Missouri, USA. I. Forage yield and its species-level plasticity. *Agroforestry Systems*, 93(1), 11-24.

- Paraná. Decreto nº 1753, de 06 de Maio de 1996. Área de Proteção Ambiental do Iraí. Curitiba, PR.
- Parsons, A. J., & Dumont, B. (2003). Spatial heterogeneity and grazing processes. *Animal research*, 52(2), 161-179.
- Peterson, C. A., Eviner, V. T., & Gaudin, A. C. (2018). Ways forward for resilience research in agroecosystems. *Agricultural Systems*, 162, 19-27.
- Peterson, C. A., Deiss, L., & Gaudin, A. C. (2020). Commercial integrated crop-livestock systems achieve comparable crop yields to specialized production systems: A meta-analysis. *PloS one*, 15(5), e0231840.
- Pezzopane, J. R. M., Nicodemo, M. L. F., Bosi, C., Garcia, A. R., & Lulu, J. (2019). Animal thermal comfort indexes in silvopastoral systems with different tree arrangements. *Journal of thermal biology*, 79, 103-111.
- Pontes-Prates, A.; Carvalho, P. C. F.; Laca, E. A. (2020). Mechanisms of grazing management in heterogeneous swards. *Sustainability*, 12(20), 1-17. <https://doi.org/10.3390/su12208676>
- Pontes, L. D. S., Carpinelli, S., Stafin, G., Porfírio-da-Silva, V., & Santos, B. R. D. (2017). Relationship between sward height and herbage mass for integrated crop-livestock systems with trees. *Grassland Science*, 63(1), 29-35.
- Pontes, L. D. S., Stafin, G., Moletta, J. L., & Porfírio-da-Silva, V. (2020). Performance of Purunã beef heifers and pasture productivity in a long-term integrated crop-livestock system: the effect of trees and nitrogen fertilization. *Agroforestry Systems*, 94(5), 1713-1723.
- Portugal, T. B (2020). Sistemas integrados de produção agropecuária: desempenho animal, emissão de metano e controle de ectoparasitos em bovinos. Tese de doutorado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil.

- Pretty, J. (2008). Agricultural sustainability: concepts, principles and evidence. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 363(1491), 447-465.
- Provenza, F. D., Gregorini, P., & Carvalho, P. C. F. (2015). Synthesis: foraging decisions link plants, herbivores and human beings. *Animal Production Science*, 55(3), 411-425.
- R Core Team. (2016). R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. Retrieved from <https://www.R-project.org/>.
- Rodrigues, C. O. D., Araújo, S. A. D. C., Viana, M. C. M., Rocha, N. S., Braz, T. G. D. S., & Villela, S. D. J. (2014). Light relations and performance of signal grass in silvopastoral system. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 36, 129-136.
- Ryschawy, J., Choisis, N., Choisis, J. P., Joannon, A., & Gibon, A. (2012). Mixed crop-livestock systems: an economic and environmental-friendly way of farming?. *Animal*, 6(10), 1722-1730.
- Salton, J. C., Mercante, F. M., Tomazi, M., Zanatta, J. A., Concenço, G., Silva, W. M., & Retore, M. (2014). Integrated crop-livestock system in tropical Brazil: Toward a sustainable production system. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 190, 70-79.
- Santos, D. C., Júnior, R. G., Vilela, L., Maciel, G. A., & de Souza França, A. F. (2018). Implementation of silvopastoral systems in Brazil with *Eucalyptus urograndis* and *Brachiaria brizantha*: productivity of forage and an exploratory test of the animal response. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 266, 174-180.
- Santos, D. C., Guimarães Júnior, R. G., Vilela, L., Pulrolnik, K., Bufon, V. B., & de Souza França, A. F. (2016). Forage dry mass accumulation and structural characteristics of Piatã grass in silvopastoral systems in the Brazilian

savannah. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 233, 16-24.

Shiyomi, M., Okada, M., Takahashi, S. & Tang, Y. (1998). Spatial pattern changes in aboveground plant biomass in a grazing pasture. *Ecological research*, 13(3), 313-322.

Soares, A. B., Missio, R. L., Schmitt, D., Aiolfi, R. B., & Deifeld, F. L. C. (2018). Componente animal em sistemas integrados de produção agropecuária. In: Edicarlos Damascena de Souza (Ed.), *Sistemas integrados de produção agropecuária no Brasil*. (p. 187-210). Copiart.

Sollenberger, L. E. & Burns, J. C. (2001). Canopy characteristics, ingestive behaviour and herbage intake in cultivated tropical grasslands. *International Grassland Congress*, pp. 321-327

Tonn, B., Raab, C., & Isselstein, J. (2018). Sward patterns created by patch grazing are stable over more than a decade. *Grass and Forage Science*, (74) 104-114.

USDA, 2022. Foreign Agricultural Service – Livestock and Poultry: World Markets and Trade. Disponível em: <https://www.fas.usda.gov/data/livestock-and-poultry-world-markets-and-trade>

Valente, T. N. P., Lima, E. D. S., Gomes, D. I., Santos, W. B. R. D., Cesário, A. S., & Santos, S. D. C. (2016). Anatomical differences among forage with respect to nutrient availability for ruminants in the tropics: A review. *African Journal of Agricultural Research*, 11(18), 1585-1592.

Van Dijk, M., Morley, T., Rau, M. L., & Saghai, Y. (2021). A meta-analysis of projected global food demand and population at risk of hunger for the period 2010–2050. *Nature Food*, 2 (7), 494-501.

Zanini, G. D., Santos, G. T. & Sbrissia, A. F. (2012). Frequencies and intensities of defoliation in Aruana guineagrass swards: accumulation and morphological

composition of forage. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 41, (4) 905-913.

Zanini, G. D., Santos, G. T. & Sbrissia, A. F. (2012). Frequencies and intensities of defoliation in Aruana guineagrass swards: morphogenetic and structural characteristics. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 41, (8) 1848-1857.

ANEXOS

AUTHOR GUIDELINES

Announcement - Online Publication from 2022

Grass and Forage Science will be published in online-only format effective with the 2022 volume. This is a proactive move towards reducing the environmental impact caused by the production and distribution of printed journal copies and will allow the journal to invest in further innovation, digital development and sustainability measures. Published articles will continue to be disseminated quickly through the journal's broad network of indexing services, including ISI, MEDLINE and Scopus. Articles will also continue to be discoverable through popular search engines such as Google. All colour images will now be reproduced digitally and published free of charge.

Sections

1. **Submission and Peer Review Process**
2. **Article Types**
3. **After Acceptance**
4. **Appendix**

1. Submission and Peer Review Process

Once the submission materials have been prepared in accordance with the Author Guidelines, manuscripts should be submitted online at <https://submission.wiley.com/journal/GFS>

For help with submissions, please contact: GFSeditorialoffice@wiley.com.

This journal does not charge submission fees.

Article Preparation Support

[Wiley Editing Services](#) offers expert help with English Language Editing, as well as translation, manuscript formatting, figure illustration, figure formatting, and graphical abstract design – so you can submit your manuscript with confidence.

Also, check out our resources for [Preparing Your Article](#) for general guidance about writing and preparing your manuscript.

Open Access

This journal is a subscription journal that offers an open access option. You'll have the option to choose to make your article open access after acceptance, which will be subject to an APC. You can [read more about APCs](#) and whether you may be eligible for waivers or discounts, through your institution, funder, or country waiver.

Preprint policy:

Please find the Wiley preprint policy [here](#).

This journal accepts articles previously published on preprint servers.

Grass and Forage Science will consider for review articles previously available as preprints. You may also post the submitted version of a manuscript to a preprint server at any time. You are requested to update any pre-publication versions with a link to the final published article.

Data Sharing and Data Availability

This journal encourages and peer reviews data sharing. Review [Wiley's Data Sharing policy](#) where you will be able to see and select the data availability statement that is right for your submission.

Data Citation

Please review [Wiley's Data Citation policy](#).

Data Protection

By submitting a manuscript to or reviewing for this publication, your name, email address, and affiliation, and other contact details the publication might require, will be used for the regular operations of the publication. Please review [Wiley's Data Protection Policy](#) to learn more.

Funding

You should list all funding sources in the Acknowledgments section. You are responsible for the accuracy of their funder designation. If in doubt, please check the [Open Funder Registry](#) for the correct nomenclature.

Authorship

All listed authors should have contributed to the manuscript substantially and have agreed to the final submitted version. Review [editorial standards](#) and scroll down for a description of authorship criteria.

ORCID

This journal requires ORCID. Please refer to [Wiley's resources on ORCID](#).

Reproduction of Copyright Material

If excerpts from copyrighted works owned by third parties are included, credit must be shown in the contribution. It is your responsibility to also obtain written permission for reproduction from the copyright owners. For more information visit [Wiley's Copyright Terms & Conditions FAQ](#).

The corresponding author is responsible for obtaining written permission to reproduce the material "in print and other media" from the publisher of the original source, and for supplying Wiley with that permission upon submission.

Title Page

The title page should contain:

- i. A brief informative title containing the major key words. The title should not contain abbreviations (see [Wiley's best practice SEO tips](#));
- ii. A short running title of less than 40 characters;
- iii. The full names of the authors;
- iv. The author's institutional affiliations where the work was conducted, with a footnote for the author's present address if different from where the work was conducted;
- v. Acknowledgments.

Main Text File

The main text file should be in Word and include:

- A short informative title containing the major key words. The title should not contain abbreviations
- The full names of the authors with institutional affiliations where the work was conducted, with a footnote for the author's present address if different from where the work was conducted;
- Acknowledgments;
- Abstract or no more than 250 words.
- Up to six keywords;
- Main body: formatted as introduction, materials & methods, results, discussion, conclusion
- Statements for Data Availability, Funding & Conflict of Interest should be placed next to the Acknowledgements before the Reference Section.
- For clinical or medical trials where the manuscript deals with medical measurements of outcomes from diets or supplements Ethics Approval and Patient Consent statements are required.
- References;
- Tables (each table complete with title and footnotes);
- Figure legends: Legends should be supplied as a complete list in the text. Figures should be uploaded as separate files (see below).

Reference Style

This journal uses APA reference style. Review your [reference style guidelines](#) prior to submission.

Figures and Supporting Information

Figures, supporting information, and appendices should be supplied as separate files. You should review the [basic figure requirements](#) for manuscripts for peer review, as well as the more detailed post-acceptance figure requirements. View [Wiley's FAQs](#) on supporting information.

Peer Review

This journal operates under a single-blind [peer review model](#). Papers will only be sent to review if the Editor-in-Chief determines that the paper meets the appropriate quality and relevance requirements.

In-house submissions, i.e. papers authored by Editors or Editorial Board members of the title, will be sent to Editors unaffiliated with the author or institution and monitored carefully to ensure there is no peer review bias.

Wiley's policy on the confidentiality of the review process is [available here](#).

Guidelines on Publishing and Research Ethics in Journal Articles

The journal requires that you include in the manuscript details IRB approvals, ethical treatment of human and animal research participants, and gathering of informed consent, as appropriate. You will be expected to declare all conflicts of interest, or none, on submission. Please review Wiley's policies surrounding [human studies, animal studies, clinical trial registration, biosecurity, and research reporting guidelines](#).

This journal follows the core practices of the [Committee on Publication Ethics \(COPE\)](#) and handles cases of research and publication misconduct accordingly (<https://publicationethics.org/core-practices>).

This journal uses iThenticate's CrossCheck software to detect instances of overlapping and similar text in submitted manuscripts. Read [Wiley's Top 10 Publishing Ethics Tips for Authors](#) and [Wiley's Publication Ethics Guidelines](#).

2. Article Types

Article Type	Description	Word Limit	Abstract/Structure	Other Requirements
Book Reviews	Commissioned by the Editor	1000 limit	No	
Editorial	Commissioned by the editor	Brief article to introduce a volume, issue or special issue of 800 words including references.	No	
Letter to the Editor	Correspondence about articles published in GFS or topical themes.	800 words, no more than 1 display item		

<p>Methods and Techniques Notes</p>	<p>A methods and techniques note is a paper that describes a new method or technique or a significant improvement in a recognised method. The paper should state the importance of the methodology to grassland or forage science and the situations in which it can be applied. Authors must provide sufficient details of methods and results (including controls, accuracy, precision) to allow the method to be assessed and repeated. Where possible the results of the new method or technology should be compared to existing methods.</p>	<p>Authors should make clear during submission whether the manuscript is to be considered for publication as a full paper, short communication, or methods and techniques note</p>		
<p>Original Article</p>	<p>A full-length research paper that describes novel research that is within the scope of Grass and Forage Science.</p>	<p>There is no word limit for Original Articles which should be using the following general structure: Manuscript structure: Abstract (250 words maximum); Keywords; Introduction; Materials and Methods; Results; Discussion; Conclusion (if applicable)*; Acknowledgements (if applicable); References.</p>	<p>Yes, Structured</p>	<p>Data Availability Statement</p>

Review Article	Full length review papers are welcomed.	Manuscript structure: Abstract (250 words maximum); keywords; Introduction; Content-appropriate headings; References	Yes, structured	Data Availability Statement
Short Communications	A short communication is a short paper that describes timely results from an experiment testing a novel hypothesis. The short communication is subject to the same review standards as an Original Article with the acknowledgment that the results may be more limited in scope or serve to prompt further research. A short communication may also be suitable for the publication of negative results. The format of the short communication is the same as an original article without additional subheadings, while Results & Discussion should be combined.	As a guide a short communication should contain a total of no more than 5 tables and figures.	No	

3. AFTER ACCEPTANCE

Wiley Author Services

When an accepted article is received by Wiley's production team, the corresponding author will receive an email asking them to login or register with [Wiley Author Services](#). You will be asked to sign a publication license at this point as well as pay for any applicable APCs.

Copyright & Licensing

You may choose to publish under the terms of the journal's standard copyright agreement, or Open Access under the terms of a Creative Commons License.

Standard [re-use and licensing rights](#) vary by journal. Note that [certain funders](#) mandate a particular type of CC license be used. This journal uses the CC-BY/CC-BY-NC/CC-BY-NC-ND [Creative Commons License](#).

Self-Archiving Definitions and Policies: Note that the journal's standard copyright agreement allows for [self-archiving](#) of different versions of the article under specific conditions.

Proofs

Authors will receive an e-mail notification with a link and instructions for accessing HTML page proofs online. Authors should also make sure that any renumbered tables, figures, or references match text citations and that figure legends correspond with text citations and actual figures. Proofs must be returned within 48 hours of receipt of the email.

Article Promotion Support

[Wiley Editing Services](#) offers professional video, design, and writing services to create shareable video abstracts, infographics, conference posters, lay summaries, and research news stories for your research – so you can help your research get the attention it deserves.

Author Name Change Policy

In cases where authors wish to change their name following publication, Wiley will update and republish the paper and redeliver the updated metadata to indexing services. Our editorial and production teams will use discretion in recognizing that name changes may be of a sensitive and private nature for various reasons including (but not limited to) alignment with gender identity, or as a result of marriage, divorce, or religious conversion. Accordingly, to protect the author's privacy, we will not publish a correction notice to the paper, and we will not notify co-authors of the change. Authors should contact the journal's Editorial Office with their name change request.

4. Appendix

Graphical TOC/Abstract

The journal's table of contents/abstract will be presented in graphical form with a brief abstract. The table of contents entry must include the article title, the authors' names (with the corresponding author indicated by an asterisk), no more than 80 words or 3 sentences of text summarizing the key findings presented in the paper and a figure that best represents the scope of the paper. Table of contents entries should be submitted to ScholarOne as 'Supplementary material for review' during the initial manuscript submission process. The image supplied should fit within the dimensions of 50mm x 60mm and be fully legible at this size.

Resource Identification Initiative

The journal supports the [Resource Identification Initiative](#), which aims to promote research resource identification, discovery, and reuse. This initiative, led by the [Neuroscience Information Framework](#) and the [Oregon Health & Science University Library](#), provides unique identifiers for antibodies, model organisms, cell lines, and tools including software and databases. These IDs, called Research Resource Identifiers (RRIDs), are machine-readable and can be used to search for all papers where a particular resource was used and to increase access to critical data to help researchers identify suitable reagents and tools.

You will be asked to use RRIDs to cite the resources used in your research where applicable in the text, similar to a regular citation or Genbank Accession number. For antibodies, you should include in the citation the vendor, catalogue number, and RRID both in the text upon first mention in the Methods section. For software tools and databases, please provide the name of the resource followed by the resource website, if available, and the RRID. For model organisms, the RRID alone is sufficient.

Additionally, you must include the RRIDs in the list of keywords associated with the manuscript.

To Obtain Research Resource Identifiers (RRIDs):

1. Use the [Resource Identification Portal](#), created by the Resource Identification Initiative Working Group.
2. Search for the research resource (please see the section titled "Search Features and Tips" for more information).
3. Click on the "Cite This" button to obtain the citation and insert the citation into the manuscript text.

If there is a resource that is not found within the [Resource Identification Portal](#), you are asked to register the resource with the appropriate resource authority. Information on how to do this is provided in the “Resource Citation Guidelines” section of the Portal.

If any difficulties in obtaining identifiers arise, please contact rii-help@scicrunch.org for assistance.

Example Citations:

Antibodies: "Wnt3 was localized using a rabbit polyclonal antibody C64F2 against Wnt3 (Cell Signaling Technology, Cat# 2721S, RRID: AB_2215411)"

Model Organisms: "Experiments were conducted in *c. elegans* strain SP304 (RRID:CGC_SP304)"

Cell lines: "Experiments were conducted in PC12 CLS cells (CLS Cat# 500311/p701_PC-12, RRID:CVCL_0481)"

Tools, Software, and Databases: "Image analysis was conducted with CellProfiler Image Analysis Software, V2.0 (<http://www.cellprofiler.org>, RRID:nif-0000-00280)"

Species Names

Upon its first use in the title, abstract, and text, the common name of a species should be followed by the scientific name (genus, species, and authority) in parentheses. For well-known species, however, scientific names may be omitted from article titles. If no common name exists in English, only the scientific name should be used.

Genetic Nomenclature

Sequence variants should be described in the text and tables using both DNA and protein designations whenever appropriate. Sequence variant nomenclature must follow the current HGVS guidelines; see varnomen.hgvs.org, where examples of acceptable nomenclature are provided.

Sequence Data

Nucleotide sequence data can be submitted in electronic form to any of the three major collaborative databases: DDBJ, EMBL, or GenBank. It is only necessary to submit to one database as data are exchanged between DDBJ, EMBL, and GenBank on a daily basis. The suggested wording for referring to accession-number information is: ‘These sequence data have been submitted to the DDBJ/EMBL/GenBank databases under accession number U12345’. Addresses are as follows:

- DNA Data Bank of Japan (DDBJ): ddbj.nig.ac.jp
- EMBL Nucleotide Archive: ac.uk/ena
- GenBank: ncbi.nlm.nih.gov/genbank

Proteins sequence data should be submitted to either of the following repositories:

- Protein Information Resource (PIR): georgetown.edu
- SWISS-PROT: ch/sprot/sprot-top

Structural Data

For papers describing structural data, atomic coordinates and the associated experimental data should be deposited in the appropriate databank (see below). **Please note that the data in databanks must be released, at the latest, upon publication of the article.** We trust in the cooperation of our authors to ensure that atomic coordinates and experimental data are released on time.

- **Organic and organometallic compounds:** Crystallographic data should not be sent as Supporting Information, but should be deposited with the *Cambridge Crystallographic Data Centre* (CCDC) at cam.ac.uk/services/structure%5Fdeposit.
- **Inorganic compounds:** *Fachinformationszentrum Karlsruhe* (FIZ; fiz-karlsruhe.de).
- **Proteins and nucleic acids:** *Protein Data Bank* (org/pdb).
- **NMR spectroscopy data:** *BioMagResBank* (wisc.edu).

Cover Image Submissions

This journal accepts artwork submissions for Cover Images. This is an optional service you can use to help increase article exposure and showcase your research. For more information, including artwork guidelines, pricing, and submission details, please visit the [Journal Cover Image page](#).

[Wiley Editing Services](#) offers a professional cover image design service that creates eye-catching images, ready to be showcased on the journal cover.

Additional Guidelines for Cover Pictures, Visual Abstracts, Frontispieces and Table of Contents Graphics

- Concepts illustrated in graphical material must clearly fit with the research discussed in the accompanying text.
- Images featuring depictions or representations of people must not contain any form of objectification, sexualization, stereotyping, or discrimination. We also ask authors to consider community diversity in images containing multiple depictions or representations of people.
- Inappropriate use, representation, or depiction of religious figures or imagery, and iconography should be avoided.
- Use of elements of mythology, legends, and folklore might be acceptable and will be decided on a case-by-case basis. However, these images must comply with the guidelines on human participants when they are present.
- Generally, authors should consider any sensitivities when using images of objects that might have cultural significance or may be inappropriate in the context (for example, religious texts, historical events, and depictions of people).
- Legal requirements:
- All necessary copyright permission for the reproduction of the graphical elements used in visuals must be obtained prior to publication.
- Clearance must be obtained from identifiable people before using their image on the cover or the like and such clearance must specify that it will be used on the cover. Use within text does not require such clearance unless it discloses sensitive personal information such as medical information. In all situations involving disclosure of such personal info, specific permission must be obtained. And images of individuals should not be used in a false manner.