

JOILSON RODA ECHEVERRIA

**MORFOGÊNESE E DINÂMICA DO ACÚMULO DE FORRAGEM EM PASTOS
PERENES DE INVERNO CULTIVADOS PUROS OU EM MISTURA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em
Ciência Animal, da Universidade do Estado de Santa
Catarina, como requisito parcial à obtenção do título de
Doutor em Ciência Animal, Área de Concentração:
Produção Animal.

Orientador: André Fischer Sbrissia.

**LAGES
2018**

Ficha catalográfica elaborada pelo(a) autor(a), com
auxílio do programa de geração automática da
Biblioteca Setorial do CAV/UDESC

Echeverria, Joilson Roda

Morfogênese e dinâmica do acúmulo de forragem em
pastos perenes de inverno cultivados puros ou em
mistura / Joilson Roda Echeverria. - Lages , 2018.

76 p.

Orientador: André Fischer Sbrissia

Tese (Doutorado) - Universidade do Estado de Santa
Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias,
Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal, Lages,
2018.

1. Ambientes biodiversos. 2. Estratégia de
crescimento. 3. Fluxo de tecidos. 4. Alongamento
foliar. 5. Senescência foliar. I. Sbrissia, André
Fischer. II. Universidade do Estado de Santa
Catarina. Programa de Pós-Graduação. III. Título.

JOILSON RODA ECHEVERRIA

**MORFOGÊNESE E DINÂMICA DO ACÚMULO DE FORRAGEM EM PASTOS
PERENES DE INVERNO CULTIVADOS PUROS OU EM MISTURA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência Animal, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Ciência Animal, Área de Concentração: Produção Animal.

Banca examinadora:

Orientador: _____
Professor Dr. André Fischer Sbrissia
Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC

Membro: _____
Professor Dr. Sila Carneiro Da Silva
Universidade de São Paulo - USP

Membro: _____
Professor Dr. Carlos Guilherme Silveira Pedreira
Universidade de São Paulo - USP

Membro: _____
Dr. Tiago Celso Baldissera
Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina - EPAGRI

Membro: _____
Professor Dr. Dimas Estrasulas de Oliveira
Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC

Lages, 27 de abril de 2018

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a DEUS por me conceder saúde e a graça de colocar em meu caminho pessoas especiais que me ajudaram nos caminhos da vida e principalmente durante o curso de doutorado.

A minha família, em especial aos meus pais e irmãos pelo apoio e presença constante, mesmo com distância física estiveram sempre comigo em pensamento.

Ao meu orientador Prof. Dr. André Fischer Sbrissia, pela oportunidade concedida em conhecer um universo totalmente novo e poder enxergar a pesquisa por outros aspectos, pelo exemplo de dedicação profissional, meus sinceros agradecimentos pela orientação, motivação e confiança sempre depositada.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de doutorado.

À Universidade do Estado de Santa Catarina pela qualidade de ensino e pela oportunidade de realização do curso.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal, em especial ao Prof. Dr. André Thaler Neto pelo auxílio com as análises estatísticas. E ao professor do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Marcos Benedito Schimalski pelo exemplo de profissionalismo e ensinamentos estatísticos.

Aos integrantes do grupo de pesquisa NUPEP pelo auxílio na condução do experimento, principalmente aos pós-graduandos que participaram de forma direta nas avaliações de campo e laboratório, Tiago Miqueloto, Clóvis David Medeiros Neto, Gabriela Cristina Guzatti e Luana Fidelis Américo, Pablo Zanella, e em especial ao Paulo Gonçalves Duchini pelo auxílio além do campo com discussões e ideias compartilhadas. Aos estagiários e bolsistas, em especial aos que contribuíram de forma direta, Andreza Melo, Maria Tereza Grasel Rodrigues, Gustavo Damaso, Elvys Steinheuser e Arthur Zanferari.

Aos amigos que conquistei em Lages-SC, Evelyn Drielle, Matheus H. Böger, Cleverson de Souza, Márcia Oziembloski, Lorena Gomes, Juliana Martins e João Francisco Jr, Taciana Frigotto, Jonathan Barbosa e Fernando Amaral, pelos momentos de descontração e por serem como extensão de uma família para mim. Aos amigos de longa data, Tiago Falcão, Tainara Bonfim, Rita de Kássia, Amanda Carvalho e Julliana Garcia, mesmo na distância sempre um torcendo pelo outro!

RESUMO

Esta tese testou a hipótese central de que gramíneas perenes de inverno com diferentes estratégias de crescimento cultivadas em mistura e manejadas com desfolhas frequentes e lenientes em habitat fértil podem coexistir e apresentar produção de forragem similar ao monocultivo da espécie mais produtiva na mesma mistura. O objetivo deste trabalho foi avaliar as características morfogênicas e estruturais e a dinâmica do acúmulo de forragem em gramíneas perenes de inverno cultivadas puras e em mistura. Foram utilizadas três gramíneas perenes de inverno com formas/tamanhos e habilidades competitivas distintas: *Arrhenatherum elatius* L. cv. SCS314 Santa Vitória, *Dactylis glomerata* L. cv. Ambar e *Festuca arundinacea* Schreb. O experimento foi realizado seguindo um delineamento inteiramente casualizado com quatro tratamentos (que corresponderam ao cultivo puro das três espécies e a mistura das mesmas espécies) e três repetições. Os pastos receberam o mesmo manejo de adubação e de corte (desfolhas quando interceptassem no máximo 95% da luz incidente e severidade de desfolhação de 50% da altura pré-corte, que corresponderam a 20 e 10 cm de altura média do dossel, respectivamente). Entre os anos de 2014 e 2016 foram avaliadas as características morfogênicas e estruturais dos pastos por meio da técnica de perfilhos marcados, a densidade populacional de perfilhos e o índice de área foliar em pré e pós-corte por meio de amostragem destrutiva. A partir dos dados obtidos via fluxo de tecidos e densidade populacional de perfilhos foram calculadas as taxas de acúmulo de forragem. Os dados de morfogênese foram avaliados por meio de dois métodos multivariados: análise fatorial e análise de agrupamento. Pela análise fatorial foram gerados três fatores que explicaram cerca de 75% da variação dos dados, onde o primeiro mostrou associação positiva da *A. elatius* com características de espécies com maior velocidade de renovação de tecidos e de forma inversa para *F. arundinacea*. No segundo fator *D. glomerata* apresentou relação positiva de características com estratégia de crescimento baseada na competição por recursos. No terceiro fator, plantas cultivadas em mistura, independente da espécie, apresentaram correlação negativa com comprimento final de folhas intactas. Foi possível pela análise de agrupamentos e com a construção de um dendrograma, verificar que cada espécie pertence a grupos funcionais diferentes, correlacionando as variáveis com a habilidade competitiva de cada uma delas. *A. elatius* e *D. glomerata*, espécies competidoras e utilizadoras de recursos têm menor distância euclidiana entre si e maior distanciamento do grupo composto por *F. arundinacea*, plantas conservadoras de recursos. A dinâmica do acúmulo de forragem de cada espécie ocorreu por vias diferentes, de acordo com a habilidade competitiva de cada espécie. As espécies *A. elatius* e *D. glomerata* investiram em alongamento foliar enquanto que *F. arundinacea* em baixa senescência foliar. Em pastos da mistura, a espécie *D. glomerata* representou a maior proporção no acúmulo de forragem e na densidade populacional de perfilhos. Espécies perenes de inverno cultivadas em ambientes férteis, submetidas a desfolhações frequentes e lenientes e com diferentes habilidades competitivas, quando cultivadas puras ou em associação, não apresentam diferenças morfogênicas e estruturais, em relação à forma de cultivo. As produções de forragem de pastos da mistura foram, de maneira geral, similares aos monocultivos mais produtivos.

Palavras chave: Alongamento foliar. Ambientes biodiversos. Estratégia de crescimento. Fluxo de tecidos. Senescência foliar.

ABSTRACT

This thesis tested the central hypothesis that perennial winter grasses with different growth strategies cultivated in a mixture and managed with frequent and lenient defoliation and in fertile habitat can coexist and present forage production similar to the monoculture of the most productive species. The objective of this work was to evaluate the morphogenesis and structural characteristics and the dynamics of forage accumulation in pure and mixed winter perennial grasses. Three winter perennial grasses with different forms/sizes and competitive abilities were used: *Arrhenatherum elatius* L. cv. SCS314 Santa Vitória, *Dactylis glomerata* L. cv. Ambar and *Festuca arundinacea* Schreb. The experiment was conducted in a completely randomized design with four treatments (corresponding to the pure cultivation of the three species and the mixture of the them) and three replications. The pastures received the same management of fertilization and cut (defoliated when they reached a maximum of 95% of interception of the incident light and the severity of 50% of the pre-cut height, which corresponded to 20 cm and 10 cm of average canopy height, respectively). Between 2014 and 2016, the morphogenetic and structural characteristics of the pastures were evaluated through the marked tillers technique, tiller population density and leaf area index pre and post cutting by means of destructive sampling. From data obtained via tissue flow and tiller population density was estimated forage accumulation rate. Morphogenesis data were submitted to two multivariate methods: factorial and cluster analysis. Three factors were generated by the factorial analysis, in which the first one showed a positive association of *A. elatius* with species characterized by a higher rate of tissue turnover and inversely for *F. arundinacea*. In the second factor *D. glomerata* presented positive relation characteristics of species with growth strategy based on competition for resources. In the third factor, plants cultivated in mixture, independent of the species, showed negative correlation with final leaf length. It was possible by the analysis of clusters and the construction of a dendrogram, to verify that each species belongs to different groups, correlating the variables with the competitive ability of each one. *A. elatius* and *D. glomerata*, so-called competitor and resource-users, had a smaller euclidean distance between them and a greater distance from the group constituting *F. arundinacea*, a resource conserving plants. We observed that there were not, for any species and variable analyzed, differences related to the form of cultivation (pure or in association). Pastures of the mixture showed accumulation of forage similar to the most productive monocultures (*A. elatius* and *F. arundinacea*). The dynamics of forage accumulation of each species occurred by different routes, according to the competitive ability of each species. The species *A. elatius* and *D. glomerata* invest in leaf elongation while *F. arundinacea* in low leaf senescence. In pastures of the mixture, the species *D. glomerata* presented the highest proportion in the forage accumulation and in the population density of tiller. We conclude that perennial winter species cultivated in fertile environments, intensively managed and with different competitive abilities, when cultivated pure or in association, do not present morphogenic and structural differences. The forage yields of the mixture were similar to the most productive monocultures.

Key words: Biodiverse environments. Growth strategy. Leaf elongation. Leaf senescence. Tissue flow.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Temperaturas média, mínima e máxima, precipitação e radiação solar ao longo do período experimental. Fonte: CPTEC/INPE..... 35
- Figura 2 - Análise de agrupamentos (dendograma) de perfilhos de *Arrhenatherum elatius*, *Dactylis glomerata* e *Festuca arundinacea* cultivados em monocultivo e em associação das três espécies durante dois anos de avaliação..... 42
- Figura 3 - Taxa de acúmulo líquido de forragem ($\text{kg MS. ha}^{-1}\text{dia}^{-1}$) (A), taxa de crescimento foliar ($\text{kg MS. ha}^{-1}\text{dia}^{-1}$) (B), taxa de senescência foliar ($\text{kg MS. ha}^{-1}\text{dia}^{-1}$) (C) e taxa de alongamento foliar ($\text{cm.perfilho graus.dias}^{-1}$) (D) nos dois anos avaliados nas diferentes épocas do ano..... 59
- Figura 4 - Taxa de crescimento foliar ($\text{kg MS. ha}^{-1}\text{dia}^{-1}$) (A), taxa de senescência foliar ($\text{kg MS. ha}^{-1}\text{dia}^{-1}$) (B), densidade populacional de perfilhos (perfilho.m^{-2}) (C) e índice de área foliar pré-corte (D) em pastos formado por plantas perenes de inverno cultivadas em monocultivo e em pastos da mistura nos dois anos de avaliação..... 61
- Figura 5 - Densidade populacional de perfilhos (perfilhos.m^{-2}) (A), Índice de área foliar pré (B) e Índice de área foliar pós-corte (C) ao longo dos dois anos de avaliação nas épocas do ano..... 64
- Figura 6 - Contribuição de cada espécie (%) na taxa de acúmulo líquido de forragem (A), na densidade populacional de perfilhos (B) e no IAF pós-corte (C) em pastos da mistura ao longo dos anos de avaliação em cada época do ano..... 66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Características morfológicas e estruturais utilizadas nas análises multivariadas com seus respectivos valores (médias de dois anos de avaliação).....	39
Tabela 2 -	<i>Eigenvalue</i> , diferença, variação em cada fator e variação acumulada e correlações entre os fatores e as variáveis originais de gramíneas perenes de inverno cultivados em monocultivo e em associação das três espécies durante dois anos de avaliação.....	40
Tabela 3 -	Análise de agrupamento de gramíneas perenes de inverno cultivados em monocultivo e em associação das três espécies durante dois anos.....	43
Tabela 4 -	Quantidade de calcário dolomítico, fósforo (P_2O_5), potássio (K_2O) e nitrogênio (N) aplicados em cada ano.....	51
Tabela 5 -	Alturas em pré e pós-corte (cm) em pastos formados por espécies perenes de inverno cultivadas em monocultivo e em mistura das três espécies (médias dos dois anos experimentais).....	56
Tabela 6 -	Níveis de significância associados às causas de variação das características que envolvem a dinâmica de acúmulo de forragem em pastos formados por espécies perenes de inverno cultivadas em monocultivo e em mistura das três espécies.....	57
Tabela 7 -	Taxa de acúmulo líquido de forragem ($kg\ MS.\ ha^{-1}\ dia^{-1}$), taxa de crescimento foliar ($kg\ MS.\ ha^{-1}\ dia^{-1}$), senescência ($kg\ MS.\ ha^{-1}\ dia^{-1}$), alongamento foliar ($cm.\ perfilho\ graus.\ dias^{-1}$) e senescência foliar ($cm.\ perfilho\ graus.\ dias^{-1}$) em pastos formados por espécies perenes de inverno cultivadas puras e em mistura nas épocas do ano (médias dos dois anos experimentais).....	58
Tabela 8 -	Densidade populacional de perfilhos ($perfilhos.m^{-2}$), índice de área foliar no pré e pós-corte, em pastos formado por espécies perenes de inverno cultivadas em monocultivo e em mistura nas épocas do ano (médias dos dois anos experimentais).....	63

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	17
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	19
2.1	REFERÊNCIAS.....	25
3	HIPÓTESES.....	29
4	OBJETIVOS.....	31
5	MORFOGÊNESE EM GRAMÍNEAS PERENES DE INVERNO CULTIVADAS EM MONOCULTIVO E EM MISTURA.....	33
5.1	RESUMO.....	33
5.2	INTRODUÇÃO.....	33
5.3	MATERIAL E MÉTODOS.....	35
5.4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	38
5.5	CONCLUSÕES.....	45
5.6	REFERÊNCIAS.....	45
6	DINÂMICA DO ACÚMULO DE FORRAGEM EM GRAMÍNEAS PERENES DE INVERNO CULTIVADAS EM MONOCUTIVO E EM MISTURA.....	49
6.1	RESUMO.....	49
6.2	INTRODUÇÃO.....	49
6.3	MATERIAL E MÉTODOS.....	51
6.4	RESULTADOS.....	56
6.4.1	Taxa de acúmulo líquido de forragem.....	57
6.4.2	Taxa de crescimento foliar.....	60
6.4.3	Taxa de senescência foliar.....	62
6.4.4	Taxa de alongamento foliar.....	62
6.4.5	Taxa de senescência foliar.....	63
6.4.6	Densidade populacional de perfilhos.....	63
6.4.7	Índice de área foliar pré-corte.....	65
6.4.8	Índice de área foliar pós-corte.....	65
6.4.9	Contribuição de cada espécie na mistura nas taxas de acúmulo líquido, densidade populacional de perfilhos e índice de área foliar no pós- corte.....	65

6.5	DISCUSSÃO.....	67
6.6	CONCLUSÕES.....	70
6.7	REFERÊNCIAS.....	70
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	75

1 INTRODUÇÃO

O Brasil, país com dimensões continentais, apresenta condições favoráveis para a produção de diversas plantas forrageiras e em diferentes épocas do ano. Na região sul a redução da produtividade e qualidade das pastagens nativas e cultivadas ocorre principalmente entre meados do outono e da primavera. Por esse motivo, cada vez mais se utiliza o sistema de cultivo de gramíneas perenes de clima tropical cultivadas com espécies anuais de inverno visando à redução do período de déficit forrageiro. No entanto, além de ser necessário implantar as pastagens anuais de inverno todos os anos, demandando gastos, esse sistema apresenta dois períodos de “vazio forrageiro”. O primeiro ocorre no outono, quando as espécies presentes na área reduzem a produtividade e a qualidade da forragem produzida e as espécies de inverno ainda não estão prontas para serem pastejadas. O segundo aparece em meados da primavera, momento esse em que as espécies hibernais cultivadas entram em estágio de desenvolvimento reprodutivo e as espécies nativas ou cultivadas estão iniciando seu desenvolvimento, não estando aptas ainda ao pastejo.

Em regiões com elevada altitude no sul do Brasil ou em lugares com temperaturas médias baixas, as espécies perenes de inverno como aveia perene (*Arrhenatherum elatius* L.), dactilis (*Dactylis glomerata* L.) e a festuca (*Festuca arundinacea* Schreb.) vêm atraindo interesse crescente por parte da pesquisa e do setor produtivo por vegetarem durante grande parte do ano e apresentarem produção coincidente com os dois “vazios forrageiros”. No entanto, existem poucos estudos com essas espécies e, quando se trata do cultivo em associação entre elas, as informações são praticamente inexistentes.

A maioria dos estudos em ambientes pastoris biodiversos, particularmente com pastos naturais ou misturas de plantas cultivadas, tem encontrado relação positiva entre o funcionamento do ecossistema (produção primária e estabilidade produtiva) com a utilização de espécies de diferentes tipos funcionais. No entanto, não são claros os motivos pelos quais ambientes multiespecíficos têm capacidade de produzir maior massa de forragem e tornar o ambiente mais estável em comparação com as mesmas espécies em monocultivo. Acredita-se que o funcionamento do ecossistema dependa de três mecanismos básicos: complementaridade, facilitação e efeito de amostragem. Além disso, alguns trabalhos sugerem que não apenas o número de espécies, mas a presença de diferentes grupos funcionais contribui para o aumento da estabilização e da produção primária.

Contudo, o entendimento dos processos morfofisiológicos e a sua interação com o ambiente é fundamental para o entendimento dos mecanismos de funcionamento da planta

forrageira em pastos multiespecíficos. Portanto, estudos que visem entender os motivos pelos quais os ambientes pastoris multiespecíficos têm se mostrado mais produtivos e/ou com produções similares ao monocultivo mais produtivo entre as espécies que os compõem ainda são necessários para que pesquisas com pastagens consorciadas avancem em técnicas de manejo e permitam sistemas de produção rentáveis e com um importante papel no aumento da funcionalidade dos ecossistemas pastoris. Diante do exposto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar as características morfogênicas e estruturais e a dinâmica do acúmulo de forragem em pastos cultivados puros e em mistura de *Arrhenatherum elatius*, *Dactylis glomerata* e *Festuca arundinacea*.

2 REVISÃO DE LITERATURA

A diversidade de espécies de plantas forrageiras e seu efeito sobre a produção primária e a estabilidade do ecossistema pastagem tem sido objeto de estudos há algum tempo (HECTOR et al., 1999; LEHMAN; TILMAN, 2000; CARDINALE et al., 2013). Em sua maioria, esses trabalhos indicam que o aumento da diversidade de espécies aumenta a produção de forragem, a retenção de nutrientes e a resistência às invasões de plantas daninhas. Entretanto, segundo Sanderson et al. (2007), em pastagens onde se busca máxima produção de forragem o tipo e a participação de cada espécie que compõe essas pastagens devem ser considerados e, não apenas a quantidade de espécies utilizadas como a estratégia de uso mais apropriada. Nesse sentido, estudo realizado por Tracy e Sanderson (2004) sugere que o consórcio de até três espécies bem adaptadas às condições ambientais do local de cultivo resulta em maiores acúmulos de forragem e estabilidade produtiva que o simples plantio associado de uma grande quantidade de espécies.

Aumentos em biodiversidade também têm sido relacionado positivamente com maior estabilidade (COTTINGHAM et al., 2001; GRIFFIN et al., 2009; HECTOR et al. 2010) e têm sido apontado como uma importante ferramenta para atenuar os impactos causados pelas mudanças climáticas (MAESTRE et al., 2012). Segundo Pimm (1984), a estabilidade de um ecossistema leva em conta sua resistência às perturbações e sua capacidade de recuperação, denominada resiliência. Tilman e Downing (1994), avaliando a relação entre esses dois componentes da estabilidade e a riqueza de espécies em diferentes comunidades, concluíram que tanto a resistência quanto a resiliência aumentam com incrementos no número de espécies que compõem a comunidade. No estudo conduzido por esses autores, a resistência das comunidades à falta d'água apresentou relação assintótica positiva com a diversidade de espécies e a biomassa produzida após um período de seca foi semelhante àquela antes da imposição do estresse hídrico para as comunidades com mais de cinco espécies.

Outro benefício importante da biodiversidade de espécies em pastagens é a melhoria da qualidade biológica do solo decorrente da melhor distribuição de raízes. Zak et al. (2003) observaram maior biomassa e atividade microbiana, bem como aumento na taxa de mineralização de nitrogênio nos pastos com maior diversidade de espécies, características que estiveram associadas com maior produção de forragem, porém sem um efeito do maior número de espécies *per se*. Mais recentemente, estudo realizado por Lange et al. (2015) durante 10 anos concluiu que pastagens com maior diversidade de espécies aumentaram a atividade microbiana e, conseqüentemente, o sequestro de carbono em relação a pastagens

com menor biodiversidade. De acordo com esse estudo, aumentos do estoque de carbono no solo também incrementaram a atividade microbiana, de modo que a manutenção da riqueza de espécies em ambientes pastoris mantém de forma cíclica e crescente esses dois benefícios. Nesse sentido, um número cada vez maior de estudos tem confirmado a importância de ambientes mais biodiversos na formação de ecossistemas multifuncionais em que aumentos na produção primária e manutenção da estabilidade produtiva dos pastos têm sido intimamente relacionados com benefícios ambientais.

As teorias que explicam os efeitos da biodiversidade de espécies sobre processos do ecossistema apresentam certas divergências. Alguns pesquisadores sugerem que, em vez da biodiversidade propriamente dita, algumas poucas espécies com forte impacto nos processos do ecossistema e a crescente probabilidade de essas espécies terem sido incluídas nos agrupamentos de alta diversidade poderiam ser responsáveis pelas correlações entre a biodiversidade e o funcionamento do ecossistema (NAEEM, 2002). Em outras palavras, os resultados poderiam ser fabricados pelo projeto experimental (efeito de amostragem).

No entanto, Tilman et al. (1997) descreveram que a importância de determinadas espécies e sua maior taxa de ocorrência em agrupamentos com maior número de espécies poderiam ser também uma característica importante dos sistemas naturais. Em estudo realizado por Loreau e Hector (2001) foram utilizadas técnicas estatísticas que separaram os efeitos da biodiversidade e determinadas espécies, concluindo que o efeito de amostragem pode não ser a causa do aumento de produção primária e estabilidade, mas sim resultado da complementariedade entre as espécies que compõem esses ecossistemas.

Hector et al. (1999) avaliaram o efeito do número de espécies e do número de grupos funcionais sobre a produtividade de ecossistemas pratenses. Foram utilizados três grupos funcionais (gramíneas, leguminosas entre outras plantas herbáceas) e número de espécies variando de um a 32. Os autores ressaltaram o efeito de complementariedade que ocorreu em grupos com maior diversidade, e que a complementariedade pode ser devida, em grande parte, ao efeito de uma leguminosa presente na mistura (no caso *Trifolium pratense*). Concluíram que grupos com menor diversidade apresentaram relação linear inversa com a produtividade.

A complementariedade de nicho é frequentemente utilizada como explicação mais provável para os efeitos de biodiversidade modificada, principalmente se tanto a “diferenciação de nicho” como a “facilitação” estiverem incluídas na definição. As características de uma espécie determinam como, quando e onde ela utiliza os recursos (o nicho). Embora todos os indivíduos de uma mesma espécie compartilhem essas características, eles geralmente se diferenciam entre espécies (diferenciação de nicho).

Portanto, a diferenciação de nicho permite que as espécies coexistam, evitem uma forte concorrência e, conseqüentemente, desempenhem um processo com eficiência (JONSSON; MALMQVIST, 2003).

Naeem et al. (1994) sugeriram que o maior número de plantas em um ecossistema permite melhor distribuição tridimensional e ocupação dos espaços do dossel. Segundos esses autores, a complementariedade arquitetônica observada em pastagens multiespecíficas sugere uma explicação mecanicista para a relação positiva entre biodiversidade e produtividade. Como todas as funções de um ecossistema são dependentes das entradas de energia no sistema, é sugestivo que a maior produção e, conseqüentemente, melhor interceptação de luz nas comunidades com maior diversidade de espécies possa contribuir indiretamente para a maior absorção de nutrientes (N, P, K) e água e para o processo de decomposição da matéria orgânica. Sendo assim, quanto maior a eficiência produtiva das pastagens maior será o impacto de sua multifuncionalidade.

Fridley (2001) defendeu que o funcionamento do ecossistema (produtividade) depende dos três mecanismos, ou seja, não seria possível separar o efeito de cada um, conceituando-os da seguinte forma: (i) complementaridade, as espécies que compõem o ecossistema utilizam os recursos de forma complementar, já que possuem exigências diferentes, otimizando a utilização pela comunidade e explica a maior produtividade dos cultivos consorciados comparado ao monocultivo; (ii) facilitação, ocorre quando a atividade de uma espécie aumenta a disponibilidade de um recurso ou reduz o estresse ambiental, beneficiando a produção de uma outra espécie; e (iii) efeito de amostragem, o aumento da produtividade é explicado pelo efeito estatístico, ou seja, em um ecossistema quanto maior o número de espécies maior a probabilidade de se incluir espécies muito produtivas.

A perda de espécies pode, portanto, reduzir o número de nichos utilizados, aumentar a concorrência e baixar a velocidade do processo, afetando negativamente o funcionamento do ecossistema. As interações positivas entre espécies, como a facilitação, por exemplo, são potencialmente muito importantes no funcionamento do ecossistema. Embora vários estudos tenham comprovado a facilitação entre alguns pares de espécies (CARDINALE et al., 2002), não se sabe bem até que ponto tais interações são comuns ou importantes nos ecossistemas. Contudo, tanto a diferenciação de nicho como a facilitação provavelmente são importantes para manter a velocidade tanto do processo quanto do funcionamento do ecossistema. Assim, no caso de perda de espécie, o funcionamento do ecossistema poderia ser afetado negativamente seja pelo aumento da competição, pela lacuna de nicho ou pela perda de interações facilitadoras.

Acredita-se que o funcionamento do ecossistema seja dependente não apenas do número de espécies, mas também dos caracteres funcionais das espécies presentes (HOOPER; VITOUSEK, 1997). Portanto, comunidades com maior diversidade de caracteres funcionais, isto é, com maior diversidade funcional, devem operar de forma mais eficiente (TILMAN et al., 1997).

Grime (1974) desenvolveu um modelo conceitual baseado em três determinantes da vegetação herbácea: competição, estresse e distúrbio. O mesmo autor definiu o estresse como algo normalmente imposto por meio das condições físicas do ambiente (*e.g.*, baixa radiação solar, deficiência hídrica e de nutrientes essenciais), e o distúrbio como sendo decorrente da atividade de pastejo exercida por animais, ataque de patógenos e pelas atividades realizadas pelo homem. Assim, as plantas poderiam ser classificadas basicamente em três grupos funcionais: competidoras, estresse-tolerantes e ruderais. No entanto, Grime (1977) sugeriu que dificilmente alguma planta apresentará características exclusivas de um dos grupos, podendo apresentar características intermediárias entre eles. Desse modo, novos tipos funcionais são denominados a partir de estratégias secundárias, em acordo com interações na habilidade competitiva das plantas (espécie competitiva-ruderal; espécie competidora estresse-tolerante; ruderal estresse-tolerante; e planta competidora-ruderal estresse-tolerante).

Em estudo com plantas forrageiras, Cruz et al. (2002) sugeriram a utilização de tipos funcionais nesses ecossistemas como uma forma de simplificação da complexidade da pastagem e a generalização dos processos pela leitura funcional da vegetação por meio de dois processos: utilização de recursos (captura ou conservação de recursos) e adaptação a desfolhas (desfolhas frequentes e severas ou desfolhas pouco frequentes e lenientes). A interação entre os mecanismos envolvidos nas estratégias adaptativas pelas plantas poderia, assim, ser utilizada para classificar as espécies em quatro grupos funcionais (interação entre elas).

Segundo Tilman e Lehman (2001), a diversidade de espécies, indicada apenas pelo número de espécies, e suas abundâncias relativas na comunidade, pode não ser adequada para descrever a vegetação e mostrar as relações dessa com os fatores de ambiente. Sendo assim, a medida de diversidade, em muitos casos, não leva em consideração a composição de espécies na comunidade, a qual é reconhecida como a principal característica a influenciar os processos ecossistêmicos (TILMAN et al., 1996; AARSSSEN, 1997). Díaz e Cabido (2001) sugeriram que um componente adicional na definição de diversidade de espécies deve ser considerado envolvendo a riqueza e abundância de tipos funcionais de plantas na comunidade, definindo assim uma diversidade funcional. Assim, torna-se necessário a definição de tipos

funcionais de plantas relacionados com as funções do ecossistema, reconhecendo a existência de uma diversidade funcional. A ideia central é que um dado “tipo funcional de planta” é composto de espécies com diferentes exigências ambientais, ou seja, diferentes nichos, mas que têm as mesmas funções no ecossistema.

Walker et al. (1999) propuseram que quando as condições do ambiente mudam, as espécies em menor abundância, mas adaptadas àquelas novas condições, assumem a dominância e garantem a persistência (resiliência) do sistema. De acordo com Hooper et al. (2005), certas combinações de espécies são complementares, porém faltam informações sobre quais são essas espécies e quais os mecanismos utilizados para que ocorram tais complementaridades nos ecossistemas.

Portanto, o reagrupamento de espécies, ou populações intraespecíficas, em tipos funcionais de plantas poderia ser utilizado como opção ou complemento àquele usado apenas em espécies, simplificando e generalizando os processos em ambientes biodiversos (CRUZ et al., 2002). Um tipo funcional de planta é considerado como um agrupamento de plantas que cumprem uma função similar no ecossistema. Esses grupos são caracterizados por um ou mais atributos funcionais comuns e podem ser classificados como grupos de resposta ou grupos de efeito (LAVOREL; GARNIER, 2002). De acordo com Guretzky et al. (2005), o valor dos atributos pode, por exemplo, informar sobre a permanência dos grupos funcionais às diferentes condições de fertilidade ou umidade no solo, as quais podem estar relacionadas sob localização no relevo ou até mesmo sobre a tolerância a diferentes frequências e intensidades de desfolhação.

Silveira et al. (2010) sugeriram a formação de grupos funcionais por intermédio do padrão de desenvolvimento das gramíneas analisando variáveis morfogênicas e estruturais das plantas forrageiras. De acordo com esses autores, por meio de estudos de morfogênese é possível descrever os processos de crescimento, adaptação ecológica e dinâmica do acúmulo de forragem de determinada espécie, contribuindo para o planejamento, adoção de práticas de manejo eficientes e adequadas a cada tipo de planta forrageira. Vale ressaltar que a maioria dos trabalhos com vegetação herbácea, citando a complementariedade entre espécies como fator determinante na produtividade em ambientes biodiversos, utiliza o conceito de tipos ou grupos funcionais numa visão mais ampla, relaciona plantas de diferentes grupos funcionais a diferentes famílias (*e.g. Poaceae, Fabaceae, Asteraceae*, etc). No entanto, a morfogênese é utilizada por Silveira et al. (2010) como ferramenta para classificar espécies pertencentes a uma única família.

Rodrigues et al. (2012) avaliaram sete gramíneas e, de acordo com as características morfogênicas de cada espécie e cultivar, como a taxa de aparecimento e alongamento e senescência foliar, taxa de alongamento de colmos, duração de vida da folha e número de folhas vivas por perfilho foi possível identificar em três grupos funcionais. Assim é possível afirmar que o agrupamento funcional apresenta elevado potencial de utilização para a avaliação de plantas forrageiras, permitindo melhor compreensão do padrão apresentado pelas gramíneas em relação a seu crescimento e desenvolvimento.

De acordo com esses trabalhos com gramíneas forrageiras de clima tropical pode-se afirmar que plantas pertencentes a uma mesma família podem apresentar padrões de crescimento distintos, e essa classificação é feita de acordo com a velocidade de renovação de tecidos, captura e utilização de recursos, seja por meio da competição ou conservação de recursos. Portanto, se ocorrem mudanças ontogênicas para que plantas de diferentes grupos funcionais permaneçam no mesmo ecossistema, a morfogênese, que descreve os processos de crescimento, pode auxiliar no entendimento de tais mecanismos. Apesar do foco dos trabalhos de Silveira et al. (2010) e Rodrigues et al. (2012) não estar relacionado com a mistura de espécies, o conhecimento dos processos ontogênicos das plantas forrageiras pode ser um dos pontos relevantes que deve ser considerado no processo de seleção de espécies e/ou cultivares, abrindo outra possibilidade na forma de seleção das plantas capazes de serem cultivadas ao mesmo tempo na mesma área.

Na literatura são escassos os trabalhos com plantas forrageiras em ambientes biodiversos, sejam em misturas complexas com elevado número de plantas ou misturas simples com menor número de plantas que avaliem mudanças no crescimento e desenvolvimento de plantas em função da competição intra ou interespecífica. No entanto, evidências são sugeridas por Schleip et al. (2013) em trabalho com pasto multiespecífico, composto por quatro plantas forrageiras com estratégias de crescimento diferentes (duas gramíneas e duas leguminosas), manejado sob lotação contínua durante seis anos. Os autores observaram que em plantas codominantes da mistura (as quatro espécies que mais contribuíram com a produção primária) ocorreram modificações ontogênicas como a duração de vida de folha, que apresentou valores semelhantes entre as espécies, tornando a longevidade foliar comum em nível de comunidade. Esses autores sugerem novos estudos que possam compreender quais mecanismos estão envolvidos nos processos de crescimento e desenvolvimento das plantas forrageiras e que possibilitariam tais mudanças ontogênicas.

2.1 REFERÊNCIAS

AARSSSEN, L. W. High productivity in grassland ecosystems: affected by species diversity or productive species? **Oikos**, Lund, v. 80, n. 1, p. 183-184, 1997. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/3546531>>. Acesso em: 2 jun. 2015.

CARDINALE, B. J. et al Species diversity enhances ecosystem functioning through interspecific facilitation. **Nature**, v. 415, n. 6870, p. 426-429, 2002. Disponível em: <<https://www.nature.com/articles/415426a>>. Acesso em: 05 jun. 2015.

CARDINALE, B. J. et al. Biodiversity simultaneously enhances the production and stability of community biomass, but the effects are independent. **Ecology**, California, v. 94, n. 8, p. 1697-1707, 2013.

COTTINGHAM, K. L. et al. Biodiversity may regulate the temporal variability of ecological systems. **Ecology Letters**, [S.l.], v. 4, p. 72–85, 2001. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1046/j.1461-0248.2001.00189.x>>. Acesso em: 05 jun. 2015.

CRUZ, P. et al. Une nouvelle approche pour caractériser les prairies naturelles et leur valeur d'usage. **Fourrages**, Latvia, v. 172, p. 335-354, 2002.

DÍAZ, S.; CABIDO, M. Vive la difference: plant functional diversity matters to ecosystem processes. **Trends in Ecology and Evolution**, London, v. 16, n. 11, p. 646-655, 2001.

FRIDLEY, J. D. The influence of species diversity on ecosystem productivity: how, where, and why? **Oikos**, Lund, v. 93, n. 3, p. 514-526, 2001.

GRIFFIN, J. N. et al. Biodiversity and the stability of ecosystem functioning. In: NAEEM, S. et al. **Biodiversity and Human Impacts**. Oxford, 2009. p. 78-93.

GRIME, J. P. Evidence for the existence of three primary strategies in plants and its relevance to ecological and evolutionary theory. **The American Naturalist**, Chicago, v. 111, n. 982, p. 1169-1194, 1977.

GRIME, J. P. Vegetation classification by reference to strategies. **Nature**, v. 250, n. 5461, p.26-31, 1974.

GURETZKY, J. A. et al. Species diversity and functional composition of pastures that vary in landscape position and grazing management. **Crop Science**, Chicago, v. 45, n. 1, p. 282-288, 2005.

HECTOR, A. et al. General stabilizing effects of plant diversity on grassland productivity through population asynchrony and overyielding. **Ecology**, California, v. 91, n. 8, p. 2213-2220, 2010.

HECTOR, A. et al. Plant diversity and productivity experiments in European grasslands. **Science**, Washington, v. 286, n. 5442, p. 1123-1127, 1999.

HOOPER, D. U. et al. Effects of biodiversity on ecosystem functioning: a consensus of current knowledge. **Ecological monographs**, New York, v. 75, n. 1, p. 3-35, 2005.

HOOPER, D. U.; VITOUSEK, P. M. The effects of plant composition and diversity on ecosystem processes. **Science**, New York, v. 277, n. 5330, p. 1302-1305, 1997.

JONSSON, M.; MALMQVIST, B. Mechanisms behind positive diversity effects on ecosystem functioning: testing the facilitation and interference hypotheses. **Oecologia**, Springer-Verlag, v. 134, n. 4, p. 554-559, 2003.

LANGE, M. et al. Plant diversity increases soil microbial activity and soil carbon storage. **Nature Communications**, v. 6, 2015.

LAVOREL, S.; GARNIER, E. Predicting changes in community composition and ecosystem functioning from plant traits: revisiting the Holy Grail. **Functional Ecology**, Oxford, v. 16, n. 5, p.545- 556, 2002. Disponível: <<http://www.jstor.org/stable/826737>>. Acesso em: 10 dez. 2017.

LEHMAN, C.L.; TILMAN, D. Biodiversity, stability, and productivity in competitive communities. **The American Naturalist**, Chicago, v. 156, n. 5, p. 534-552, 2000.

LOREAU, M.; HECTOR, A. Partitioning selection and complementarity in biodiversity experiments. **Nature**, v. 412, n. 6842, p. 72-76, 2001.

MAESTRE, F. T. et al. Plant species richness and ecosystem multifunctionality in global drylands. **Science**, Washington, v. 335, n. 6065, p. 214-218, 2012.

NAEEM, S. Biodiversity: biodiversity equals instability? **Nature**, v. 416, n. 6876, p. 23-24, 2002.

NAEEM, S. et al. Declining biodiversity can alter the performance of ecosystems. **Nature**, v. 368, n. 6473, p. 21, 1994.

PIMM, S. L. The complexity and stability of ecosystems. **Nature**, v. 307, n. 5949, p. 321-326, 1984.

RODRIGUES, C. S. et al. Grupos funcionais de gramíneas forrageiras tropicais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 41, n. 6, p. 1385-1393, 2012.

SANDERSON, M. A. et al. Plant species diversity, ecosystem function, and pasture management-A perspective. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 87, n. 3. p. 479-487, 2007.

SILVEIRA, M. C. T. et al. Morphogenetic and structural comparative characterization of tropical forage grass cultivars under free growth. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 67, n. 2, p. 136-142, 2010.

TILMAN, D. et al. Productivity and sustainability influenced by biodiversity in grassland ecosystems. **Nature**, v. 379, n. 6567, p. 718-720, 1996.

TILMAN, D. Plant diversity and ecosystem productivity: theoretical considerations. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, Washington, v. 94, n. 5, p. 1857-1861, 1997.

TILMAN, D.; DOWNING, J. A. Biodiversity and stability in grasslands. **Nature**, v. 367, n. 6461, p. 363-365, 1994.

TILMAN, D.; LEHMAN, C. Human-caused environmental change: impacts on plant diversity and evolution. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, Washington, v. 98, n. 10, p. 5433-5440, 2001.

TILMAN, D.; WEDIN, D.; KNOPS, J. Productivity and sustainability influenced by biodiversity in grassland ecosystems. **Nature**, v. 379, n. 6567, p. 718-720, 1996.

TRACY, B. F.; SANDERSON, M. A. Forage productivity, species evenness and weed invasion in pasture communities. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, [S.l.], v. 102, n. 2, p. 175-183, 2004.

WALKER, B. et al. Plant Attribute Diversity, Resilience, and Ecosystem Function: The Nature and Significance of Dominant and Minor Species. **Ecosystems**, v. 2, n. 2, p. 95-113, 1999.

ZAK, D. R. et al. Plant diversity, soil microbial communities, and ecosystem function: are there any links? **Ecology**, California, v. 84, n. 8, p. 2042–2050, 2003. Disponível em: <<https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1890/02-0433>>. Acesso em: 3 jun. 2015.

3 HIPÓTESES

- a) gramíneas perenes de inverno, com estratégias de crescimento distintas, competidoras e utilizadoras de recursos (*Arrhenatherum elatius* L. e *Dactylis glomerata* L.) ou conservadoras de recursos (*Festuca arundinacea* Schreb.) possuem características morfológicas e estruturais diferentes, mas que não se alteram quando cultivadas de forma pura ou em associação das três espécies em ambientes férteis e submetidas a desfolhações frequentes e lenientes;
- b) gramíneas perenes de inverno, com diferentes habilidades competitivas quando cultivadas em associação e sob desfolhas frequentes e lenientes, apresentam produção de forragem no mínimo semelhante ao monocultivo mais produtivo que compõe a mistura.

4 OBJETIVOS

- a) avaliar as características morfológicas e estruturais de três gramíneas perenes de inverno (*Arrhenatherum elatius* L., *Dactylis glomerata* L. e *Festuca arundinacea* Schreb.) cultivadas puras e em mistura submetidas a manejos que mimetizam os manejos preconizados para serem utilizados em sistemas intensivos de produção animal baseado em pastagens;
- b) avaliar a dinâmica do acúmulo de forragem durante dois anos de três gramíneas perenes de inverno (*Arrhenatherum elatius* L., *Dactylis glomerata* L. e *Festuca arundinacea* Schreb.) com diferentes estratégias de crescimento (competidora e conservadora de recursos) cultivadas puras e em mistura.

5 MORFOGÊNESE DE GRAMÍNEAS PERENES DE INVERNO CULTIVADAS EM MONOCULTIVO E EM MISTURA

5.1 RESUMO

O objetivo deste estudo foi avaliar as características morfogênicas de três gramíneas perenes de inverno (*Arrhenatherum elatius*, *Dactylis glomerata* e *Festuca arundinacea*) cultivadas em monocultivo e em mistura, em solo fértil e sob desfolhas frequentes e lenientes. Foi testada a hipótese de que gramíneas perenes de inverno, com diferentes estratégias de crescimento, competidoras (*A. elatius* e *D. glomerata*) ou conservadoras de recursos (*F. arundinacea*) não apresentam diferenças nas características morfogênicas e estruturais quando cultivadas puras ou misturadas, em solos férteis e sob desfolhas frequentes e lenientes. *A. elatius*, *D. glomerata* e *F. arundinacea* foram implantadas em monocultivo e em mistura em abril de 2013 e manejadas de forma a mimetizar seu uso em sistemas intensivos de produção animal (e.g., solos férteis com desfolhações frequentes e lenientes). Entre junho de 2014 a julho de 2016 foram avaliadas por meio da técnica de perfilhos marcados as taxas de alongamento e senescência foliar, filocrono, número de folhas vivas e folhas em expansão por perfilho, comprimento final de folhas intactas, duração da vida das folhas e a área foliar específica das três espécies em estudo. Por meio da análise fatorial foi possível selecionar três fatores que explicaram cerca de 75% da variação dos dados. O primeiro fator mostrou associação positiva da *A. elatius* com taxa de senescência foliar e área foliar específica e negativa com filocrono e duração de vida da folha. Nesse mesmo fator, *F. arundinacea* apresentou correlação oposta com as mesmas variáveis associadas. No segundo fator, *D. glomerata* apresentou associação positiva com taxa de alongamento foliar e número de folhas vivas e folhas em expansão por perfilho. No terceiro fator, plantas cultivadas em mistura apresentaram correlação negativa com comprimento final de folhas intactas, independente da espécie. De maneira geral, as três espécies apresentaram características morfogênicas e estruturais bastante distintas, indicando que possuem estratégias de crescimento contrastantes, embora *A. elatius* e *D. glomerata* tenham menor distância euclidiana entre si e maior distanciamento da *F. arundinacea*. Não houve diferença relacionada à forma de cultivo, ou seja, se cultivadas puras ou em mistura, para nenhuma espécie ou variável avaliada. Nossos resultados indicam que a identidade das plantas vizinhas não afeta as características morfogênicas e estruturais de espécies de gramíneas perenes de inverno cultivadas em solos férteis com desfolhas frequentes e lenientes.

Palavras-chave: Análise multivariada. Características estruturais. Características morfogênicas. Estratégia de crescimento. Misturas. Monocultivo.

5.2 INTRODUÇÃO

A produção primária em ambientes pastoris biodiversos pode ser relacionada com a complementariedade entre espécies pelo aumento da eficiência em capturar e utilizar recursos disponíveis, em geral associadas com plantas de diferentes grupos funcionais (LOREAU; HECTOR, 2001; SANDERSON et al., 2005). Estudos com gramíneas forrageiras mostram que espécies de uma mesma família podem ser agrupadas em diferentes tipos funcionais por

apresentarem diferentes características morfológicas, estruturais e fisiológicas, assim como a velocidade de renovação de tecidos e a habilidade em capturar ou conservar recursos (CRUZ et al., 2002; MAIRE et al., 2009; PONTES et al., 2012). O estudo da morfogênese em plantas forrageiras permite descrever os processos de crescimento e desenvolvimento, adaptação ecológica e a dinâmica do acúmulo de forragem e, nesse sentido, pode ser utilizado como ferramenta para classifica-las em grupos funcionais (SILVEIRA et al., 2010; RODRIGUES et al., 2012; PAIVA et al., 2015). Por exemplo, Schleip et al. (2013), avaliando quatro espécies de diferentes grupos funcionais (famílias diferentes: *Poaceae* e *Fabaceae*) compondo pastos multiespecíficos em ambiente pouco fértil e manejados sob lotação contínua, verificaram que a duração de vida da folha foi semelhante entre as espécies codominantes da mistura (com impacto significativo nas funções do ecossistema, como o tempo de manutenção do carbono na biomassa acima do solo), e comparando essas espécies com dados existentes na literatura, mostraram que as folhas apresentavam menor longevidade em relação aos seus respectivos monocultivos.

Cabe ressaltar que espécies forrageiras apresentam diferentes plasticidades fenotípicas (respostas adaptativas das plantas a estresse ocasionado por fatores abióticos ou bióticos). Por exemplo, o sombreamento pode atuar como fator estressante à planta causando aumento no teor de clorofila e área foliar específica (BARUCH; GUENNI, 2007), aumento na taxa de alongamento de folhas e de colmos (PACIULLO et al., 2008) e, ainda, redução do perfilhamento (GOBBI et al., 2009; MARTUSCELLO et al., 2009). Outra resposta da planta a fator estressante, como a deficiência em nutrientes essenciais, pode acelerar o crescimento (HERMANS et al., 2006) e estimular o aumento no comprimento de raízes (GIACOMINI et al., 2005).

No entanto, o manejo adotado e a disponibilidade de recursos como luz e nutrientes, afetam de forma direta a intensidade da competição entre plantas de uma comunidade e o grau de interferência de uma sobre outra (PITELLI, 1985). Nesse sentido, Wilson (1988) mostrou que a competição abaixo do solo deixa de ser mais importante que aquela acima do solo quando os nutrientes estão em abundância. Contudo, são escassos na literatura estudos que investigaram os mecanismos que auxiliam na compreensão sobre a coexistência e perenização de espécies de diferentes grupos funcionais em misturas, principalmente quando introduzidas em ambientes sob manejos preconizados para uso em sistemas intensivos de produção animal.

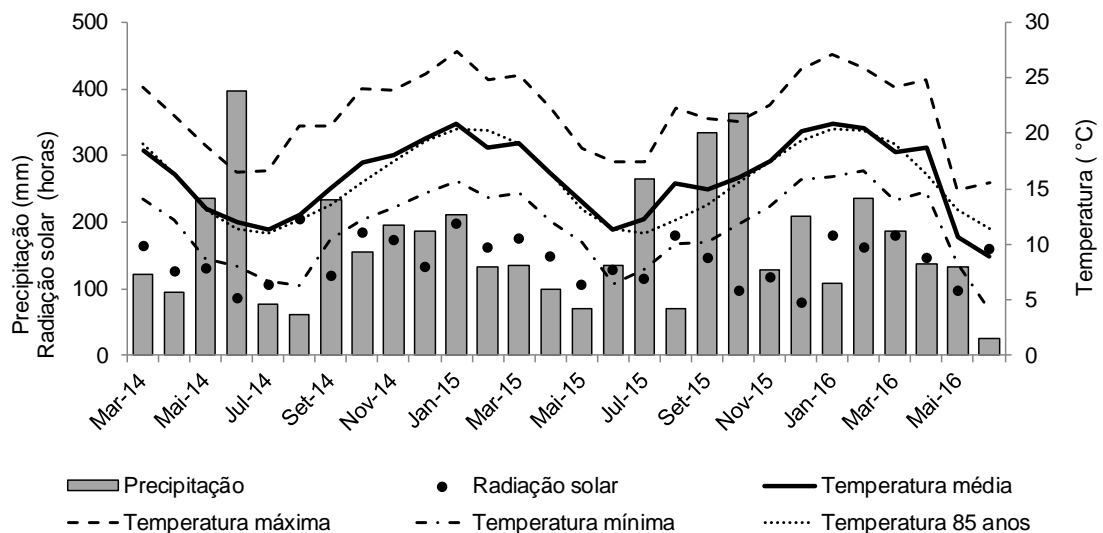
Diante do exposto este trabalho partiu da hipótese central de que gramíneas perenes de inverno, com estratégias de crescimento distintas, competidoras e utilizadoras de recursos (*Arrhenatherum elatius* L. e *Dactylis glomerata* L.) ou conservadoras de recursos (*Festuca*

arundinacea Schreb.), possuem ontogenias diferentes, mas que não se alteram quando cultivadas de forma pura ou em associação das três espécies em ambientes férteis e com desfolhas frequentes e lenientes. O objetivo deste estudo foi avaliar as características morfológicas e estruturais de três gramíneas perenes de inverno (*A. elatius*, *D. glomerata* e *F. arundinacea*) cultivadas puras e em mistura submetidas a manejos que mimetizam os manejos preconizados para serem utilizados em sistemas intensivos de produção animal baseado em pastagens.

5. 3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina, em Lages, SC, Brasil, 27°47' S, 50°18' W, 960 m de altitude, com avaliações realizadas entre junho de 2014 a julho de 2016. O clima da região é do tipo Cfb (clima temperado), segundo classificação de Köppen (ALVARES et al., 2013), com inverno frio, verão ameno e chuvas bem distribuídas ao longo do ano. Os dados climáticos ao longo do período experimental estão apresentados na Figura 1.

Figura 1 - Temperaturas média, mínima e máxima, precipitação e radiação solar ao longo do período experimental. Fonte: CPTEC/INPE



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

O solo da área experimental é classificado como Cambissolo Húmico Alumínico Típico (EMBRAPA, 2006). Antes do estabelecimento dos pastos, realizou-se análise química do solo na camada de 0-20 cm, que apresentou os seguintes valores: pH (SMP) = 4,3; Ca = 1,16 cmol_c dm⁻³; Mg = 0,82 cmol_c dm⁻³; H + Al = 30,7 cmol_c dm⁻³; K = 48 mg dm⁻³; saturação

por bases = 6,4%; matéria orgânica = 2,1%; e P = 3,6 mg dm⁻³. A partir da análise de solo e antes da implantação dos pastos foram realizadas no dia 06 de abril de 2013 as adubações de formação e correção do solo utilizando 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de superfosfato simples, 40 kg ha⁻¹ de K₂O e 12 t ha⁻¹ de calcário dolomítico, aplicados a lanço e incorporados ao solo com arado de discos. As adubações e correção do solo foram feitas com base na análise química do solo na camada de 0-20 cm, de acordo com as recomendações do Manual de Adubação e Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, Brasil (CQFS - RS/SC, 2004).

Foram cultivados pastos em monocultivo de *Arrhenatherum elatius* L. cv. SCS314 Santa Vitória, *Dactylis glomerata* L. cv. Ambar e *Festuca arundinacea* Schreb. cv. Quantum II, além de um quarto pasto denominado de “mistura” composto pela associação das três espécies. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado com quatro tratamentos (três pastos em monocultivo e um composto pela mistura das três espécies), com três repetições. A área experimental foi dividida em 12 parcelas (unidades experimentais) de 45 m², separadas entre si por corredores de um metro, totalizando uma área de 836 m². A semeadura ocorreu no dia 13 de junho de 2013 utilizando 18 kg ha⁻¹ de sementes puras viáveis em todos os tratamentos, com frações iguais das três espécies em pastos da mistura. A partir da semeadura os pastos foram mantidos em crescimento livre para estabelecimento e ressemeadura natural, que ocorreu entre outubro de 2013 e fevereiro de 2014. Dois cortes de uniformização foram realizados antes do início das avaliações experimentais (março e maio de 2014), quando os pastos foram rebaixados à altura média de sete centímetros do nível do solo. A coleta de dados iniciou-se a partir do dia 04 de junho de 2014 e se estendeu até o dia 08 de julho de 2016.

Para que o processo de competição por luz fosse minimizado, foi considerado como meta de corte para o rebaixamento dos pastos o momento em que os mesmos atingissem interceptação entre 90 e 95% da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) incidente, avaliada durante seu desenvolvimento vegetativo pleno. Convém ressaltar que apesar de apresentarem hábitos de crescimento distintos, *A. elatius* e *F. arundinacea* ereto e *D. glomerata* semiprostrado, interceptação de 95% da RFA foi atingida com 20 cm de altura em todos os pastos, de modo que essa foi determinada como a meta de altura para pré-corte durante todo o período experimental. Os cortes foram realizados com auxílio de uma motosegadeira costal considerando uma severidade de 50% de desfolhação, o que correspondeu a uma altura pós-corte de 10 cm para todos os tratamentos.

Ao final de cada outono, novas análises do solo eram realizadas de forma independente para cada tratamento e adubações de correção e manutenção realizadas para manter níveis elevados de fertilidade. As adubações com fósforo e potássio eram parceladas em 2-4 vezes com intervalos de 30 dias, enquanto que as adubações nitrogenadas foram realizadas com ureia a cada 40 dias nas quantidades de 30 kg de N ha⁻¹ (2014/2015) e 50 kg de N ha⁻¹ (2015/2016) para manter índices de nutrição nitrogenada próximos ao N_{crítico} para plantas C₃ (LEMAIRE; GASTAL, 1997). As doses do primeiro ano foram determinadas com base em trabalhos prévios (LEMAIRE; GASTAL, 1997), porém como os índices de nutrição nitrogenada do primeiro ano ficaram próximos do limiar inferior para as três espécies (dados não publicados), optou-se por aumentar a dose de N durante o segundo ano.

As características morfogênicas e estruturais dos pastos foram avaliadas durante o período de rebrotação dos pastos por meio da técnica de perfilhos marcados (DAVIES, 1993). Para isso, foram marcados 20 perfilhos por parcela em pastos do monocultivo e 42 perfilhos por parcela em pastos da mistura (14 perfilhos por parcela de cada espécie). No caso dos pastos misturados, a seleção dos perfilhos foi dirigida, de forma que foram marcados indivíduos de cada espécie que apresentavam ao seu redor plantas de outras espécies. O intervalo entre cada avaliação variou conforme a época do ano, ocorrendo a cada cinco ou, no máximo, a cada sete dias. As características avaliadas das folhas desses perfilhos foram: (a) comprimento da lâmina foliar, (b) classificação como intacta ou desfolhada, e (c) em expansão, expandida, senescente ou morta. Os perfilhos e folhas foram considerados desfolhados quando parte destes se apresentava cortada. As folhas foram consideradas em expansão quando suas lígulas não estavam visíveis, expandidas quando a lígula havia se tornado visível, senescentes quando parte da lâmina foliar apresentasse senescência (tecido foliar com a cor parda), e morta somente quando toda a lâmina foliar apresentava-se senescida. O comprimento das folhas foi medido de acordo com o estágio de desenvolvimento. Em folhas expandidas a medida foi da ponta da folha até a sua lígula, e o mesmo para folhas em expansão, porém foi considerada a lígula da última folha expandida como referência.

A partir da coleta desses dados foram desenvolvidas planilhas de cálculos no programa Microsoft Office Excel[®] para obtenção das taxas de alongamento e senescência foliar, filocrono, número de folhas vivas e em expansão por perfilho, comprimento final de folhas intactas e duração da vida da folha. As taxas de alongamento e senescência foliar, filocrono e duração de vida da folha foram calculadas em escala temporal e convertidas para grau dia⁻¹. Para conversão, as variáveis calculadas foram divididas pelo valor da temperatura

compensada, obtida pela subtração da temperatura média do período de avaliação da temperatura basal de gramíneas perenes de inverno (4 °C; LEMAIRE; AGNUSDEI, 2000).

As variáveis foram calculadas por ciclo de corte (ao todo foram 19 períodos de rebrotação avaliados). Os dados foram submetidos à análise multivariada utilizando o pacote estatístico SAS[®] (*Statistical Analysis System*), versão 9.0, por meio de duas técnicas estatísticas: (1) análise fatorial utilizando o PROC FACTOR e extração dos fatores realizada pelo método de rotação oblíqua PROMAX; (2) análise de agrupamentos pelo PROC FASTCLUS, utilizada para formar grupos que apresentassem características similares dentro do grupo e diferenças entre os grupos utilizando o método hierárquico de Ward, baseado na distância euclidiana para estimar as médias padronizadas dos grupos. As variáveis utilizadas nos modelos da análise fatorial e da análise de agrupamento foram: taxa de alongamento foliar, taxa de senescência foliar, filocrono, duração de vida da folha, comprimento final de folhas intactas, número de folhas vivas por perfilho, número de folhas em expansão por perfilho e área foliar específica, assim como as espécies em estudo, *A. elatius*, *D. glomerata*, *F. arundinacea* cultivadas em monocultivo e um quarto grupo composto pelas variáveis das espécies quando cultivadas em mistura.

5. 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores absolutos (média dos dois anos de avaliação) das características morfogênicas e estruturais de perfilhos de *A. elatius*, *D. glomerata* e *F. arundinacea* cultivados puros ou em mistura estão apresentados na Tabela 1. Essas variáveis foram utilizadas na análise fatorial e de agrupamentos e seus resultados não foram submetidos a quaisquer outros métodos estatísticos univariados.

Tabela 1 - Características morfogênicas e estruturais utilizadas nas análises multivariadas com seus respectivos valores (médias de dois anos de avaliação)

Variáveis	<i>A. elatius</i>		<i>D. glomerata</i>		<i>F. arundinacea</i>	
	Pura	Mistura	Pura	Mistura	Pura	Mistura
Taxa de alongamento foliar (cm.perfilho grau dia ⁻¹)	0,105	0,098	0,123	0,114	0,075	0,075
Taxa de senescência foliar (cm.perfilho grau.dia ⁻¹)	0,068	0,059	0,059	0,057	0,029	0,034
Filocrono (grau dia)	145	156	132	144	266	258
Duração de vida da folha (grau dia)	499	505	534	582	776	797
Área foliar específica (cm ² g ⁻¹)	273	268	249	259	147	165
Número de folhas vivas (folhas perfilho ⁻¹)	3,4	3,3	4,0	4,1	3,0	3,2
Número de folhas em expansão (folhas perfilho ⁻¹)	1,0	1,0	1,5	1,5	1,0	1,0
Comprimento final de folhas intactas (cm folha ⁻¹)	14,3	13,4	15,3	15,0	16,9	16,2

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

A análise fatorial dos dados permitiu a extração de três fatores, os quais explicaram aproximadamente 75% da variabilidade total do banco de dados (Tabela 2). A determinação do número de fatores analisados baseou-se no critério de Kaiser, que sugere utilizar os fatores com *eigenvalues* iguais ou superiores a uma unidade (FLOYD; WIDAMAN, 1995). As cargas fatoriais indicam as correlações entre as variáveis originais em cada um dos fatores sendo que quanto maior a carga fatorial maior será a sua correlação com determinada variável. No presente estudo, consideramos relevantes os valores entre $\pm 0,5$ (HAIR et al., 2005). De modo geral, as cargas fatoriais relacionaram as variáveis analisadas com os pastos cultivados em monocultivo, o que permitiu caracterizar e associar cada espécie a um grupo funcional distinto. Nesse sentido, *D. glomerata* e, principalmente, *A. elatius* apresentaram características típicas de espécies competidoras por recursos enquanto *F. arundinacea* mostrou características marcantes de espécies conservadoras de recursos, corroborando resultados já encontrados em outros trabalhos com as mesmas plantas (GROSS et al., 2007; MAIRE et al., 2009; PONTES et al. 2010).

Tabela 2 - *Eigenvalue*, diferença, variação em cada fator e variação acumulada e correlações entre os fatores e as variáveis originais de gramíneas perenes de inverno cultivados em monocultivo e em associação das três espécies durante dois anos de avaliação

Variáveis	Fator 1	Fator 2	Fator 3
<i>Eigenvalue</i>	5,556	2,394	1,106
Diferença	3,162	1,288	0,117
Variação	0,463	0,200	0,092
Variação acumulada	0,463	0,663	0,755
	Cargas fatoriais		
Taxa de alongamento foliar	-0,570	0,751	0,416
Taxa de senescência foliar	-0,681	0,333	0,214
Filocrono	0,861	-0,590	0,026
Duração de vida da folha	0,891	-0,326	0,075
Área foliar específica	-0,825	0,322	-0,149
Número de folhas vivas	-0,407	0,928	0,131
Número de folhas em expansão	-0,407	0,928	0,131
Comprimento final de folhas intactas	0,345	0,140	0,759
<i>A. elatius</i>	-0,680	-0,414	-0,090
<i>D. glomerata</i>	-0,213	0,853	-0,059
<i>F. arundinacea</i>	0,886	-0,444	0,147
Mistura	0,049	0,051	-0,600

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

*Valores em cinza claro indicam as variáveis com cargas fatoriais consideradas relevantes.

O primeiro fator explicou 46% da variabilidade total dos dados e apresentou relação inversa das mesmas variáveis em perfilhos de *A. elatius* e *F. arundinacea*, independentemente se cultivadas em monocultivo ou em mistura. Perfilhos de *A. elatius* foram relacionados de forma positiva com taxa de alongamento foliar, taxa de senescência foliar e área foliar específica, e de forma negativa com filocrono e duração de vida da folha. De forma oposta, perfilhos de *F. arundinacea* apresentaram relação positiva com filocrono e duração de vida da folha e negativa com taxa de alongamento foliar, taxa de senescência foliar e área foliar específica. Plantas competidoras por recursos apresentam maior velocidade de renovação de tecidos (CRUZ et al., 2002), o que ficou evidente em plantas de *A. elatius* por meio da associação com fatores associados a essa característica, como maior área foliar específica e menor duração de vida da folha. De forma oposta, plantas de *F. arundinacea* apresentaram características de espécies conservadoras de recursos, como maior duração de vida da folha e menor taxa de senescência foliar e área foliar específica (GROSS et al., 2007; MAIRE et al., 2009; PONTES et al. 2010).

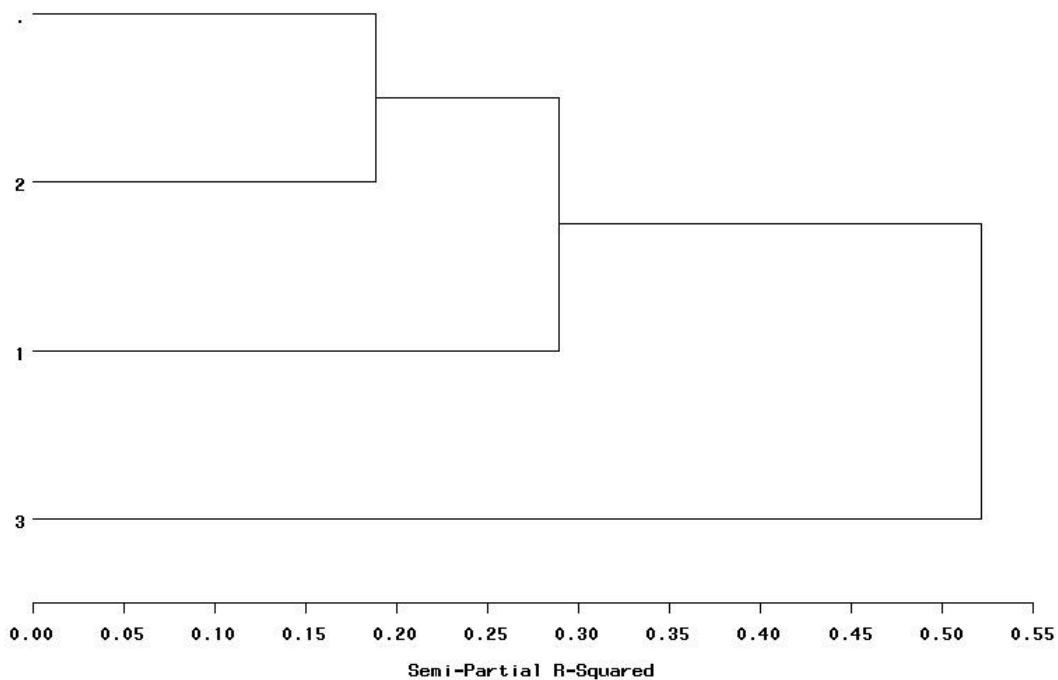
O segundo fator explicou 20% da variabilidade total e apresentou relação positiva entre perfilhos de *D. glomerata* e a taxa de alongamento foliar, número de folhas vivas e folhas em expansão por perfilho e negativa com filocrono, independentemente da forma de cultivo. Assim, os mecanismos associados a essa espécie, com processos de maior velocidade de renovação de tecidos permitem associá-la a espécies consideradas competidoras e utilizadoras de recurso. No entanto, vale ressaltar que o mesmo fator mostra uma correlação negativa entre essa espécie e o filocrono, característica que basicamente distingue plantas de *D. glomerata* de *A. elatius*.

Por sua vez, o terceiro fator explicou 9% da variabilidade total e associação negativa entre o comprimento final de folhas intactas e plantas cultivadas na mistura, independentemente da espécie, indicando redução no valor dessa característica estrutural em perfilhos que compuseram a associação das três espécies. Assim, essa análise permitiu identificar que apenas uma característica do perfilho (tamanho da folha) se modificou quando os mesmos foram cultivados em associação. Vale ressaltar que são escassos os trabalhos que avaliam características morfogênicas e estruturais em plantas cultivadas em ambientes multiespecíficos. Em uma das poucas referências sobre o assunto, Schleip et al. (2013) observaram alterações na longevidade de folhas em espécies cultivadas em ambiente biodiversos quando comparado às mesmas espécies em monocultivo. Os resultados encontrados por esses autores mostraram que a duração de vida da folha foi similar entre plantas de grupos funcionais distintos, porém sugeriram estudos adicionais que possibilitassem o entendimento dos mecanismos envolvidos com esse fato. No caso do nosso estudo, a única alteração estrutural observada foi no comprimento final das folhas das plantas cultivadas em mistura. No entanto, como já comentando, essa observação foi detectada apenas no terceiro fator (explicando 9% da variação dos dados) e, além disso, essa característica possui relação direta com a taxa de alongamento folhas e duração do período de alongamento foliar (LEMAIRE; AGNUSDEI, 2000), os quais não apresentaram diferença entre os pastos cultivados puros ou na mistura (Tabela 1) de tal forma que não conseguimos uma explicação razoável para alteração nessa variável.

A análise de agrupamento foi a segunda técnica multivariada utilizada e permitiu a formação de três grupos, em que cada *cluster* apresentou relação entre as variáveis e as espécies, independentemente da forma de cultivo. O grupo I apresentou relação positiva de perfilhos de *D. glomerata* com: taxa de alongamento foliar, número de folhas vivas e folhas em expansão por perfilho; o grupo II mostrou relação positiva de perfilhos de *A. elatius* com área foliar específica e correlação negativa com duração de vida da folha; e o grupo III

apresentou relação positiva entre perfilhos de *F. arundinacea* e filocrono e duração de vida da folha e negativa com taxa de alongamento foliar, taxa de senescência e área foliar específica (Tabela 3). Complementarmente à análise de fatores, a análise de agrupamento permitiu claramente segregar as espécies em função de suas diferentes habilidades competitivas, independentemente se cultivadas puras ou em mistura (Figura 2).

Figura 2 - Análise de agrupamentos (dendrograma) de perfilhos de *Arrhenatherum elatius*, *Dactylis glomerata* e *Festuca arundinacea* cultivados em monocultivo e em mistura durante dois anos de avaliação



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Grupo I: *Dactylis glomerata*; Grupo II: *Arrhenatherum elatius*; e Grupo III: *Festuca arundinacea*.

Tabela 3 - Análise de agrupamento de gramíneas perenes de inverno cultivados em monocultivo e em associação das três espécies durante dois anos de avaliação

Variável	N	Máximo	Média	Mínimo	DPM
Grupo I					
Filocrono	47	-1,30	-0,61	0,17	0,40
Taxa de alongamento foliar	47	-0,57	0,70	2,67	0,84
Taxa de senescência foliar	47	-1,10	0,36	2,76	0,91
Duração de vida da folha	47	-1,04	-0,32	0,74	0,45
Comprimento final de folhas intactas	47	-1,51	0,03	2,11	0,86
Número de folhas vivas	47	-0,27	0,99	2,55	0,76
Número de folhas em expansão	47	-0,27	0,99	2,55	0,76
Área foliar específica	47	-0,22	0,48	1,51	0,40
<i>A. elatius</i>	47	-0,70	-0,70	-0,70	0,00
<i>D. glomerata</i>	47	1,41	1,41	1,41	0,00
<i>F. arundinacea</i>	47	-0,70	-0,70	-0,70	0,00
Mistura	47	-1,00	0,02	1,00	1,01
Grupo II					
Filocrono	47	-1,60	-0,46	0,75	0,48
Taxa de alongamento foliar	47	-1,35	0,06	2,28	0,91
Taxa de senescência foliar	47	-1,58	0,46	3,04	0,98
Duração de vida da folha	47	-1,85	-0,70	1,31	0,63
Comprimento final de folhas intactas	47	-1,80	-0,45	1,43	0,66
Número de folhas vivas	47	-2,38	-0,31	1,18	0,76
Número de folhas em expansão	47	-2,38	-0,31	1,18	0,76
Área foliar específica	47	-0,66	0,72	2,17	0,63
<i>A. elatius</i>	49	-0,70	1,37	1,41	0,30
<i>D. glomerata</i>	49	-0,70	-0,66	1,41	0,30
<i>F. arundinacea</i>	49	-0,70	-0,70	-0,70	0,00
Mistura	49	-1,00	-0,02	1,00	1,01
Grupo III					
Filocrono	48	-0,23	1,04	2,99	0,96
Taxa de alongamento foliar	48	-1,68	-0,74	0,98	0,67
Taxa de senescência foliar	48	-1,35	-0,81	0,91	0,49
Duração de vida da folha	48	-0,63	1,00	2,79	0,90
Comprimento final de folhas intactas	48	-1,67	0,41	2,88	1,21
Número de folhas vivas	48	-1,74	-0,66	0,92	0,59
Número de folhas em expansão	48	-1,74	-0,66	0,92	0,59
Área foliar específica	48	-2,06	-1,18	0,73	0,52
<i>A. elatius</i>	48	-0,70	-0,70	-0,70	0,00
<i>D. glomerata</i>	48	-0,70	-0,70	-0,70	0,00
<i>F. arundinacea</i>	48	1,41	1,41	1,41	0,00
Mistura	48	-1,00	0,00	1,00	1,01

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

N = número de dados utilizados em cada grupo; DPM = desvio-padrão da média.

Os grupos I e II apresentaram maior proximidade, ou seja, perfilhos de *D. glomerata* e *A. elatius* apresentaram variáveis com maior similaridade entre si. Conforme já discutido, essas espécies apresentam características de plantas classificadas como competidores e utilizadoras de recurso como maior alongamento foliar, área foliar específica e número de folhas por perfilho e menor duração de vida da folha (Tabela 3). De forma contrária, o grupo III, composto por perfilhos de *F. arundinacea*, apresentou maior distância dos grupos I e II, e maior relação com características de espécies que possuem menor velocidade de renovação de tecidos, como maior duração de vida da folha e menores taxas de alongamento e senescência foliar.

Talvez o resultado mais relevante dessas análises tenha sido demonstrar que não há diferenças nos processos morfogênicos entre as espécies estudadas quando cultivadas em monocultivo ou em mistura. Isso demonstra que plantas com diferentes habilidades competitivas, quando cultivadas em solos férteis e submetidas a desfolhações frequentes e lenientes não alteram sua forma de crescimento e desenvolvimento apesar de alguns trabalhos na literatura mostrarem que a restrição de alguns fatores como água (GUENNI et al., 2002; SANTOS et al., 2013), temperatura (WILHELM; NELSON, 1978), luz (BARUCH; GUENNI, 2007; PACIULLO, 2011) e nutrientes essenciais (GIACOMINI et al., 2005; AVALHAES et al., 2009) podem modificar os processos morfogênicos e estruturais de plantas. Além disso, apesar de não haver um consenso dentro da ecologia funcional sobre quais características conferem maior habilidade competitiva entre plantas, a teoria de Grime (1979) parte de um pressuposto central que a habilidade competitiva é determinada pela eficiência com que uma planta explora os recursos rapidamente e não pela habilidade que ela possui em tolerar baixos níveis de recurso. Enquanto essa teoria está baseada em uma aproximação intuitiva e correlativa, Tilman (1990) usou a aproximação de um modelo matemático para determinar os efeitos de várias características fisiológicas em ambientes onde o recurso limitante é um nutriente, sendo que a habilidade competitiva seria maximizada com uma menor taxa de absorção (e menor concentração do mesmo no tecido), menor taxa de perda de nutrientes por senescência (maior eficiência de reciclagem) e alta eficiência de conversão e translocação de nutrientes. Outro modelo mostrado por Tilman (1990) mostrou que habitats férteis, com baixas perturbações, beneficiam a alocação de nutrientes para formação de colmos (competição por luz). Já alta fertilidade, com altas perturbações, favorece a distribuição para folhas, e uma alta alocação para raízes é favorecida em habitats inférteis (competição por nutriente). Dessa forma, é razoável hipotetizar que nas condições propostas em nosso experimento aonde os níveis de distúrbio foram relativamente baixos (desfolhas

frequentes e lenientes), porém com também baixa competição por luz, as plantas não modificam suas estratégias de alocação de recursos o que poderia, em parte, explicar a ausência de qualquer modificação em seus processos morfogênicos e estruturais.

5. 5 CONCLUSÕES

Espécies perenes de inverno com estratégias de crescimento contrastantes cultivadas em ambientes férteis e submetidas a desfolhações frequentes e lenientes não alteram suas características morfogênicas e estruturais quando cultivadas em monocultivos ou em mistura.

5. 6 REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Viena, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

AVALHAES, C. C. et al. Macronutrients omission and the growth and nutritional status of elephant grass (cv. Mott) growing in nutrient solution. **Scientia Agraria**, Curitiba, 10, 215-222, 2009.

BARUCH, Z.; GUENNI, O. Irradiance and defoliation effects in three species of the forage grass *Brachiaria*. **Tropical Grasslands**, Cali, v.41, p. 269, 2007.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. **Manual de Adubação e Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre, 2004. 400 p.

CRUZ, P. et al. Une nouvelle approche pour caractériser les prairies naturelles et leur valeur d'usage. **Fourrages**, Latvia, v. 172: 335-354, 2002.

DAVIES, A. Tissue turnover in the sward. In: DAVIES, A. et al. **Sward measurement handbook**. London: British Grassland Society. p.183-216, 1993.

FLOYD, F. J.; WIDAMAN, K. F. Factor analysis in the development and refinement of clinical assessment instruments. **Psychological assessment**, Washington, v. 7, n. 3, p 286, 1995.

GIACOMINI, A. A. et al. Crescimento de raízes de capins Aruana e Tanzânia submetidos a duas doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 32, n. 4, p. 1109-1120, 2005.

GOBBI, K. F. et al. Características morfológicas, estruturais e produtividade do capim braquiária e do amendoim forrageiro submetidos ao sombreamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 38, n. 9, p. 1645-1654, 2009.

GRIME, P. **Plant Strategies and Vegetation Processes**. Wiley, Chichester, 1979.

GROSS, N. et al. Complementarity as a mechanism of coexistence between functional groups of grasses. **Journal of Ecology**, London, v. 95, n. 6, p. 1296-1305, 2007.

GUENNI, O. et al. Responses to drought of five *Brachiaria* species. I. Biomass production, leaf growth, root distribution, water use and forage quality. **Plant and Soil**, v. 243, n. 2, p. 229-241, 2002.

HAIR, J. F. et al. **Análise multivariada de dados**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

HERMANS, C. et al. How do plants respond to nutrient shortage by biomass allocation? **Trends in plant science**, [S.l.], v. 11, n. 12, p. 610-617, 2006.

LEMAIRE, G.; GASTAL, F. N uptake and distribution in plant canopies. In: LEMAIER, G. **Diagnosis of the Nitrogen Status in Crops**. Berlin: Springer, 1997, p 3-43.

LOREAU, M.; HECTOR, A. Partitioning selection and complementarity in biodiversity experiments. **Nature**, v. 412, n. 6842, p. 72-76, 2001.

MAIRE, V. et al. Trade-off between root nitrogen acquisition and shoot nitrogen utilization across 13 co-occurring pasture grass species. **Functional Ecology**, Oxford, v. 23, n. 4, p. 668-679, 2009.

MARTUSCELLO, J. A. et al. Produção de gramíneas do gênero *Brachiaria* sob níveis de sombreamento. **Revista Brasileira Zootecnia**, Viçosa, v. 38, p. 1183-1190, 2009.

PACIULLO, D. S. C. et al. Crescimento de capim-braquiária influenciado pelo grau de sombreamento e pela estação do ano. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 43, n. 7, p. 917-923, 2008.

PACIULLO, D. S. C. The growth dynamics in *Brachiaria* species according to nitrogen dose and shade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 40, p. 270-276, 2011.

PITELLI, R. A. Interferência de plantas daninhas em culturas agrícolas. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 11, n. 29, p. 16-27, 1985.

PONTES, L. S. et al. Impacts of species interactions on grass community productivity under contrasting management regimes. **Oecologia**, v. 168, n. 3, p. 761-771, 2012.

PONTES, L. S. et al. The role of plant traits and their plasticity in the response of pasture grasses to nutrients and cutting frequency. **Annals of Botany**, Oxford, v. 105, n. 6, p. 957-965, 2010.

RODRIGUES, C. S. et al. Functional clusters of tropical forage grasses. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 41, n. 6, p. 1385-1393, 2012.

SANDERSON, M. A. et al. Forage mixture productivity and botanical composition in pastures grazed by dairy cattle. **Agronomy Journal**, Wisconsin, v. 97, n. 5, p. 1465-1472, 2005.

SANTOS, P. M. et al. Response mechanisms of *Brachiaria brizantha* cultivars to water deficit stress. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 42, n. 11, p. 767-773, 2013.

SCHLEIP, I. et al. Common leaf life span of co-dominant species in a continuously grazed temperate pasture. **Basic and applied ecology**, [S.l.], v. 14, n. 1, p. 54-63, 2013.

SILVEIRA, M. C. T. et al. Morphogenetic and structural comparative characterization of tropical forage grass cultivars under free growth. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 67, n. 2, p. 136-142, 2010.

TILMAN, D. Constraints and tradeoffs: toward a predictive theory of competition and succession. **Oikos**, Lund, v. 58, n. 1, p. 3-15, 1990.

WILHELM, W.W., e NELSON, C.J. Leaf growth, leaf aging, and photosynthetic rate of tall fescue genotypes. **Crop Science**, Chicago, v. 18, n. 5, p.769-772, 1978.

WILSON, J. B. Shoot competition and root competition. **Journal of Applied Ecology**. Oxford, v. 25, n. 1, p. 279-296, 1988.

6 DINÂMICA DO ACÚMULO DE FORRAGEM DE GRAMÍNEAS PERENES DE INVERNO CULTIVADAS EM MONOCUTIVO E EM MISTURA

6.1 RESUMO

O objetivo desse trabalho foi avaliar a dinâmica do acúmulo de forragem de *Arrhenatherum elatius* (Aveia perene), *Dactylis glomerata* (Dactilis) e *Festuca arundinacea* (Festuca) cultivados puros ou em associação das três espécies (mistura). Foi testada a hipótese de que plantas de diferentes grupos funcionais quando cultivadas em associação, em ambientes férteis e com desfolhações frequentes e lenientes possuem produção de forragem no mínimo igual ao monocultivo mais produtivo entre as espécies que compõem a mistura. Os tratamentos corresponderam aos pastos em monocultivo de *A. elatius*, *D. glomerata* e *F. arundinacea*, e um pasto composto pela mistura das três espécies, em delineamento inteiramente casualizado com três repetições. Os pastos receberam o mesmo manejo de adubação e de corte (desfolhações quando atingiam entre 90 e 95% da luz incidente e rebaixados com severidade de 50% da altura pré-corte, que corresponderam a 20 cm e 10 cm de altura média do dossel, respectivamente). Entre os anos de 2014 e 2016 foram avaliadas as características morfogênicas e estruturais dos pastos por meio da técnica de perfilhos marcados, a densidade populacional de perfilhos e o índice de área foliar pré e pós-corte por meio de amostragem destrutiva e, a partir dessas variáveis foi calculada a dinâmica do acúmulo de forragem. Plantas com estratégia de crescimento baseada na captura de recursos (*A. elatius* e *D. glomerata*) investem em alongamento foliar, com alta renovação de tecidos. Pastos de *A. elatius* apresentaram altas taxas de acúmulo de forragem por associarem tal estratégia com maior densidade populacional de perfilhos. Pastos compostos por espécies de estratégia de crescimento baseada em conservação de recursos (*F. arundinacea*), ou seja, com baixa renovação de tecidos mesmo em ambientes férteis, baseiam o acúmulo de forragem com baixa senescência foliar associada com alta densidade populacional de perfilhos. Pastos de *D. glomerata* apresentam alta taxa de alongamento foliar. No entanto, em função da menor densidade populacional de perfilhos, apresentaram menor taxa de acúmulo líquido quando comparado a pastos de *A. elatius* e *F. arundinacea*. Em pastos da mistura, *D. glomerata* apresentou a maior proporção no acúmulo de forragem e na densidade populacional de perfilhos, espécie com menor produção no monocultivo. Contudo, o acúmulo líquido de forragem de pastos da mistura foi similar aos monocultivos mais produtivos (*A. elatius* e *F. arundinacea*). Portanto, pastos da mistura apresentaram maior ocupação dos espaços por *A. elatius* e *F. arundinacea* e aumentaram a densidade populacional de perfilhos, contribuindo para que esse sistema apresentasse produção similar aos monocultivos mais produtivos.

Palavras-chave: Ambiente biodiversos. Densidade populacional de perfilhos. Estratégias de crescimento. Taxa de alongamento e senescência foliar.

6.2 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, diversas pesquisas têm demonstrado inúmeros benefícios do uso de pastos cultivados compostos pela mistura de espécies forrageiras, principalmente pelo aumento da produção de forragem e da estabilidade da produção desses sistemas (WEIGELT

et al., 2009; HECTOR et al., 2010). De maneira geral, esses estudos normalmente foram realizados em ambientes pouco férteis (HECTOR et al., 1999), com plantas em crescimento livre ou com poucos cortes por ano (ROSCHER et al., 2005), e com grande número de espécies compondo as misturas (TILMAN et al., 1996; GROSS et al., 2014). No entanto, Tracy e Sanderson (2005) sugeriram que misturas simples compostas por três a cinco espécies bem adaptadas a uma determinada região já seriam capazes de promover efeitos positivos em ambientes pastoris. Da mesma maneira, Finn et al. (2013) também propuseram que a utilização de até quatro espécies (com estratégias funcionais distintas) compondo pastos biodiversos seria mais benéfico do que a escolha aleatória de uma mistura complexa, desde que a seleção das plantas pudesse garantir a complementariedade entre espécies, um dos mecanismos biológicos utilizados para explicar a similaridade (e incrementos) na produtividade primária em ambientes biodiversos quando comparados aos monocultivos das mesmas espécies (SPEHN et al., 2000).

O efeito da complementariedade entre espécies em misturas está relacionado com a maior eficiência no uso dos recursos, uma vez que as plantas diferem em atributos funcionais como profundidade de raízes, arquitetura foliar, taxa de crescimento entre outros (NAEEM et al., 1994; SANDERSON et al., 2005). Embora os grupos funcionais estejam relacionados com plantas de diferentes famílias (*e.g.*, *Poaceae*, *Fabaceae*, *Asteraceae*, etc), trabalhos mostram que espécies pertencentes a uma mesma família podem ser classificadas em diferentes tipos funcionais de acordo com a resposta da planta a distúrbios (CRUZ et al., 2002) e sua velocidade de renovação de tecidos e habilidade em capturar e utilizar os recursos do meio (SILVEIRA et al., 2010; RODRIGUES et al., 2012).

Gramíneas perenes de inverno podem apresentar habilidades competitivas (estratégias de crescimento) distintas, podendo ser classificadas com competidoras e utilizadoras de recursos (como *Arrhenatherum elatius* L. e *Dactylis glomerata* L.) ou conservadoras de recursos (*Festuca arundinacea* Schreb.) (GROSS et al., 2007; MAIRE et al., 2009; PONTES et al. 2010). Essas plantas apresentam alto potencial de uso em regiões de clima Cbf, principalmente por vegetarem grande parte do ano, especialmente em períodos de vazio forrageiro outono-hibernal (HANISCH; GISLON, 2010; HANISCH et al., 2016).

Diante do exposto, este trabalho parte da hipótese central de que gramíneas perenes de inverno, com diferentes habilidades competitivas, quando cultivadas em associação e sob desfolhas frequentes e lenientes, apresentarão produções de forragem no mínimo semelhantes ao monocultivo mais produtivo que compõe a mistura. Dessa forma, o objetivo desse trabalho foi avaliar a dinâmica do acúmulo de forragem durante dois anos de três gramíneas perenes de

inverno (*A. elatius*, *D. glomerata* e *F. arundinacea*) com diferentes estratégias de crescimento (competidora e conservadora de recursos) cultivadas puras e em mistura.

6.3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina, em Lages, SC, Brasil, 27°47' S, 50°18' W, 960 m de altitude, de março de 2014 a julho de 2016. O clima da região é do tipo Cfb (clima temperado), segundo classificação de Köppen (ALVARES et al., 2013), com inverno frio, verão ameno e chuvas bem distribuídas ao longo do ano. Os dados climáticos do período experimental estão apresentados na Figura 1.

O solo da área experimental é classificado como Cambissolo Húmico Alumínico Típico (EMBRAPA, 2006). Antes do estabelecimento dos pastos, realizou-se análise química do solo na camada de 0-20 cm, que apresentou os seguintes valores: pH (SMP) = 4,3; Ca = 1,16 cmol_c dm⁻³; Mg = 0,82 cmol_c dm⁻³; H + Al = 30,7 cmol_c dm⁻³; K = 48 mg dm⁻³; saturação por bases = 6,4%; matéria orgânica = 2,1%; e P = 3,6 mg dm⁻³. Antes da implantação dos pastos, com base nesses resultados, em junho de 2013 foram realizadas adubações de correção e ao longo do experimento as adubações de manutenção para gramíneas perenes de inverno de acordo com o Manual de Adubação e Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, Brasil (CQFS - RS/SC, 2004; Tabela 4).

Tabela 4 - Quantidade de calcário dolomítico, fósforo (P₂O₅), potássio (K₂O) e nitrogênio (N) aplicados em cada ano

Nutrientes e fertilizantes	Períodos de maio a junho		
	2013/2014	2014/2015	2015/2016
	Quantidade (kg ha ⁻¹)		
Calcário dolomítico (PRNT 104%)	12000	-	-
P ₂ O ₅ (Superfosfato simples)	110	235	235
K ₂ O (Cloreto de potássio)	110	175	140
N (Ureia)	120	270	450

Fonte: Duchini (2017).

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado com quatro tratamentos e três repetições. Os tratamentos corresponderam de quatro tipos diferentes de pasto: monocultivo de Aveia perene cv. SCS314 Santa Vitória (*Arrhenatherum elatius* L.), Dactilis cv. Ambar (*Dactylis glomerata* L.), de Festuca cv. Quantum II (*Festuca arundinacea* Schreb.), e um quarto tratamento denominado de “mistura”, composto pela associação das três

espécies. A área experimental foi dividida em 12 parcelas (unidades experimentais) de 45 m², separadas entre si por corredores de um metro, totalizando uma área de 836 m². Os tratamentos foram implantados 15 dias após a correção do solo por meio de semeadura a lanço, utilizando 18 kg ha⁻¹ de sementes puras viáveis em todos os tratamentos, com frações iguais das três espécies em pastos da mistura. A partir da semeadura os pastos foram mantidos em crescimento livre para estabelecimento e ressemeadura natural, que ocorreu entre outubro de 2013 e fevereiro de 2014. Dois cortes de uniformização foram realizados antes do início das avaliações experimentais (março e maio de 2014), quando os pastos foram rebaixados à altura média de sete centímetros do nível do solo. A coleta de dados iniciou-se a partir de maio de 2014 e se estendeu até julho de 2016, com duração total de 25 meses.

O manejo dos pastos baseou-se no rebaixamento das parcelas utilizando critérios iguais de pré e de pós-corte para todos os tratamentos. Os intervalos entre os cortes corresponderam ao período necessário para que o dossel forrageiro atingisse altura média de 20 cm, quando então foram rebaixados a 10 cm de altura (50% da altura inicial) com auxílio de motosegadeira costal. No início do período experimental foram correlacionadas as medidas de altura do dossel e interceptação de luz (IL), medidos com régua e aparelho analisador de dossel (ACCUPAR[®], modelo LP 80), respectivamente. A altura de pré-corte (20 cm de altura do dossel) correspondeu àquela em que os pastos interceptavam 95% da radiação solar incidente em todos os tratamentos durante o período de crescimento vegetativo.

Durante o período de rebrotação a altura do pasto foi monitorada em 20 pontos aleatórios por piquete utilizando um bastão com uma folha transparente acoplado ao marcador, que desliza por uma régua graduada marcando a distância entre o topo da superfície média do pasto e a superfície do solo.

A adubação nitrogenada foi distribuída ao longo do período experimental, com intervalos de 40 dias, aplicando 30 e 50 kg ha⁻¹ de N no primeiro e segundo ano de avaliação, respectivamente, na forma de ureia. No início de cada outono, realizou-se a análise química do solo na camada de 0-20 cm, verificando a necessidade de adubações de manutenção com fósforo e potássio, as quais foram realizadas quando necessário conforme consta na Tabela 4.

Para avaliar a dinâmica de acúmulo de forragem foi utilizada a técnica dos perfilhos marcados (DAVIES, 1993). Foram utilizadas hastes de metal para facilitar a localização das transectas (régua onde foram marcados os perfilhos) nas parcelas. Foram marcadas duas transectas por unidade experimental, alocadas em pontos representativos da condição do pasto no início de cada período de rebrotação.

O número de perfilhos marcados por unidade experimental diferiu em função dos tratamentos (pastos cultivados em monocultivo ou mistura). Nas parcelas da mistura, para cada transecta foram selecionados sete perfilhos de cada espécie, totalizando 21 perfilhos/transecta (42 perfilhos por unidade experimental). Nas parcelas dos monocultivos para cada transecta foram selecionados 10 perfilhos (20 perfilhos por unidade experimental). Todos os perfilhos selecionados foram identificados com fios de plásticos coloridos (uma cor para cada espécie) e numerados. No caso dos pastos misturados, a seleção dos perfilhos foi dirigida, de forma que foram marcados indivíduos de cada espécie que apresentavam ao seu redor plantas de outras espécies. A avaliação do fluxo de tecidos foi realizada em cada período de rebrotação dos pastos e, a cada novo ciclo, fez-se uma nova seleção e marcação de perfilhos. Os intervalos para cada avaliação e obtenção de informações sobre os perfilhos selecionados variou conforme a época do ano, ocorrendo a cada cinco ou no máximo sete dias.

Em cada avaliação foram medidos em cada perfilho, com o auxílio de régua graduada em centímetros, o comprimento do colmo (do solo até a última lígula exposta), perfilho estendido (do solo até a ponta da folha mais alta quando esticadas) e de cada folha. As características avaliadas das folhas desses perfilhos, numeradas da mais velha para a mais nova de forma crescente foram: (a) comprimento da lâmina foliar, (b) classificação como intacta ou desfolhada, (c) em expansão, expandida, senescente ou morta. Os perfilhos e folhas foram considerados desfolhados quando parte desses se apresentava cortada. As folhas foram consideradas em expansão quando não apresentavam suas lígulas expostas, expandidas (maduras) quando a lígula era visível, senescentes quando parte da lâmina foliar apresentava senescência (tecido foliar com a cor amarelada a parda), e morta somente quando toda a lâmina foliar apresentava-se senescida (marrom). O comprimento das folhas foi medido de acordo com o estágio de desenvolvimento em que se encontravam. Em folhas expandidas a medida foi da ponta da folha até a sua lígula, e o mesmo para folhas em expansão, porém foi considerada a lígula da última folha expandida como referência. Para as folhas em senescência a medida do comprimento iniciou da lígula até o ponto onde começaram os sinais de senescência.

A partir da coleta desses dados foram desenvolvidas planilhas de cálculos no programa Microsoft Office Excel[®] para obtenção das taxas de alongamento foliar (TAIF) e de colmos (TAIC) e senescência foliar (TSenF). Essas variáveis foram calculadas em escala temporal e convertidas para graus.dia^{-1} . Para conversão, as taxas calculadas foram divididas pelo valor da temperatura compensada, obtida pela subtração da temperatura média do período de avaliação

da temperatura basal de gramíneas perenes de inverno (4 °C; LEMAIRE e AGNUSDEI, 2000).

A TAlF foi calculada com base na variação positiva em comprimento das folhas em expansão utilizando-se a seguinte fórmula:

$$TAlF \text{ (cm.perfilho graus.dia}^{-1}\text{)} = (\text{somatório do alongamento das laminas foliares}) / (\text{n}^{\circ} \text{ de perfilhos.período de avaliação})$$

A TAIC foi calculada com base na variação positiva em comprimento do colmo utilizando-se a seguinte fórmula:

$$TAIC \text{ (cm.perfilho graus.dia}^{-1}\text{)} = (\text{somatório do alongamento de colmos}) / (\text{n}^{\circ} \text{ de perfilhos.período de avaliação})$$

A TSenF foi calculada com base na variação negativa em comprimento verde do limbo foliar das folhas senescentes utilizando-se a seguinte fórmula:

$$TSenF \text{ (cm.perfilho graus.dia}^{-1}\text{)} = (\text{somatório da redução do comprimento do limbo foliar verde}) / (\text{n}^{\circ} \text{ de perfilhos.período de avaliação})$$

A densidade populacional de perfilhos (DPP), o peso específico dos componentes morfológicos e o índice de área foliar (IAF) do pré e pós-corte foram obtidos por meio de amostragem destrutiva. As amostras de forragem foram coletadas antes e após cada rebaixamento dos pastos, denominadas de amostras pré e pós-corte, em dois pontos representativos da parcela com auxílio de tesoura e moldura de metal (70 cm x 20 cm), e as plantas contidas dentro da moldura foram cortadas no nível do solo. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos, devidamente identificadas e levadas ao laboratório para o processamento.

As amostras de forragem foram separadas em seus componentes botânicos (nos pastos da mistura), contabilizado o número total de perfilhos das espécies, e separadas em componentes morfológicos: lâmina foliar, colmo (colmo+bainha) e material morto. De cada amostra, foram selecionados 50 perfilhos para medir a área foliar e o comprimento da lâmina foliar, colmo e porção senescida. Em seguida, os componentes foram secos em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C por 72 horas, e então pesados em balança semi-analítica.

O peso específico foi calculado com base no comprimento e peso seco dos componentes morfológicos dos 50 perfilhos:

$$\text{Peso específico (g de MS cm}^{-1}\text{)} = \text{peso seco total do componente (g de MS)} / \text{comprimento total do componente (cm)}$$

A DPP foi obtida pelo quociente do número total de perfilhos por amostra e do tamanho da área coletada por amostra (0,14m²):

$$DPP (\text{perfilhos.m}^2) = (\text{número de perfilhos total por amostra}) / (\text{área do quadro})$$

A taxa de crescimento foliar (TCF) foi calculada com base na TAIF, no peso específico foliar de cada cultivar e na DPP de cada ciclo de corte.

$$TCF (\text{kg MS.ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}) = (TAIF).(\text{peso específico foliar}).(DPP \text{ de cada avaliação}).10$$

A taxa de crescimento de colmo (TCC) foi calculada com base na TAIC, no peso específico de colmo de cada cultivar e na DPP de cada ciclo de corte.

$$TCC (\text{kg MS.ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}) = (TAIC).(\text{peso específico de colmo}).(DPP \text{ de cada avaliação}).10$$

Pode-se então calcular a taxa de crescimento de forragem (TCF) pelo somatório da TCF e TCC.

$$TCF (\text{kg MS.ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}) = (TCF)+(TCC)$$

Vale ressaltar que os dados relacionados ao colmo foram calculados apenas para obter os valores de acúmulo de forragem.

A taxa de senescência foliar (TSF) foi calculada também em kg de matéria seca (MS) por hectare, com base na TSenF em cm.perfilho graus.dia⁻¹, no peso específico da porção senescida de cada cultivar e na DPP de cada ciclo de corte.

$$TSF (\text{kg MS.ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}) = (TSenF).(\text{peso específico da porção senescida}).(DPP).10$$

A taxa de acúmulo líquido de forragem (TALF) foi calculada pela diferença entre TCF e TSF.

$$TALF (\text{kg MS.ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}) = (TCF)-(TSF)$$

O índice de área foliar do pasto foi obtido a partir das lâminas foliares medidas em um integrador de área foliar (LAI-3100C – Licor[®]) assim, a área foliar média de perfilhos (cm²) foi obtida pelo quociente da área foliar total medida pelo integrador e o número de perfilhos que foram retiradas as folhas (50 perfilhos por amostra). A área foliar da amostra foi obtida pelo produto entre a área foliar média de um perfilho e a DPP (perfilho.m⁻²). O IAF do pasto foi obtido pelo quociente entre a área foliar da amostra e a área do quadro amostrador (0,14 m²).

Os dados foram analisados por época do ano, assim os resultados foram interpolados por estação do ano considerando o número de dias que os ciclos representavam dentro de cada época. Foram realizados testes para verificar a normalidade da distribuição dos erros e homogeneidade de variâncias pelo *software* estatístico SPSS[®], versão 20.0. Em seguida, os dados foram submetidos à análise de variância utilizando o PROC MIXED do pacote estatístico SAS[®] (*Statistical Analysis System*), versão 9.0. Para escolha da matriz de covariância que melhor se ajustou aos conjuntos de dados foi utilizado o Critério de

Informação de Akaike (AIC) (WOLFINGER, 1993). Foram utilizados nos modelos os fatores principais de tratamento (tipo de pasto), época do ano, ano de avaliação e as interações tratamento*época do ano, tratamento*ano de avaliação e época do ano*ano de avaliação. As estimativas das médias dos tratamentos foram realizadas por meio do “LSMEANS” e a comparação entre elas realizada por meio da probabilidade da diferença (“PDIFF”) usando o teste “t” de “Student” com nível de 5% de probabilidade.

6. 4 RESULTADOS

Todos os pastos interceptaram cerca de 95% da radiação fotossinteticamente ativa incidente durante o estágio de desenvolvimento vegetativo pleno com 20 cm de altura, sendo esse valor adotado como altura pré-corte durante todo o período experimental. Como consequência, utilizando 50% de severidade de desfolhação, as alturas em pós-corte foram de 10 cm para todos os pastos. As alturas reais obtidas em pré e pós-corte estão apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5- Alturas em pré e pós-corte (cm) em pastos formados por espécies perenes de inverno cultivadas em monocultivo e em mistura das três espécies (médias dos dois anos experimentais)

Tratamentos	Inverno	Primavera	Verão	Outono	Média
<i>Pré-corte (cm)</i>					
<i>A. elatius</i>	19,3	22,4	25,1	18,6	21,4
<i>D. glomerata</i>	19,1	19,0	19,6	19,4	19,3
<i>F. arundinacea</i>	19,9	20,1	20,6	20,3	20,2
Mistura	19,6	19,8	20,8	19,7	20,0
Média	19,5	20,3	21,5	19,5	
<i>Pós-corte (cm)</i>					
<i>A. elatius</i>	11,1	9,9	10,1	9,5	10,2
<i>D. glomerata</i>	9,8	9,9	9,8	9,6	9,8
<i>F. arundinacea</i>	9,8	9,8	9,8	9,4	9,7
Mistura	9,7	10,0	9,9	10,1	9,9
Média	10,1	9,9	9,9	9,6	

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Os resultados da análise de variância das causas de variação das características que envolvem a dinâmica de acúmulo de forragem estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Níveis de significância associados às causas de variação das características que envolvem a dinâmica de acúmulo de forragem em pastos formados por espécies perenes de inverno cultivadas em monocultivo e em mistura das três espécies

	TRAT	ÉPOCA	ANO	TRAT*ÉPOCA	TRAT*ANO	ÉPOCA*ANO
TALF	**	**	Ns	**	Ns	**
TCF	**	*	**	**	**	*
TSF	**	**	**	*	*	*
TAIF	**	ns	**	*	Ns	**
§TSenF	**	ns	Ns	*	Ns	ns
DPP	**	**	Ns	*	**	**
IAFpré	*	**	**	**	*	*
IAFpós	**	**	**	**	Ns	**

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

* = (P<0,05); ** = (P<0,01); ns = (P>0,05); Fonte de variação: TRAT = Tratamentos (tipos de pasto); ÉPOCA = Época do ano; ANO = Ano de avaliação; interações: TRAT*ÉPOCA; TRAT*ANO; ÉPOCA*ANO. TALF = Taxa de acúmulo líquido de forragem; TCF = Taxa de crescimento foliar; TSF = Taxa de senescência foliar; TAIF = Taxa de alongamento foliar; § calculada em “cm.perfilho graus.dia⁻¹” TSenF = Taxa de senescência foliar; DPP = Densidade populacional de perfilhos; IAFpré = Índice de área foliar no pré-corte; IAFpós = Índice de área foliar no pós-corte.

6. 4. 1 Taxa de acúmulo líquido de forragem

De maneira geral, as maiores taxas de acúmulo líquido de forragem foram observadas durante o período de primavera independente do tipo de pasto, e os menores durante o verão, com exceção de *A. elatius*, que apresentou valores similares no outono, inverno e primavera (Tabela 7). Houve um comportamento inverso entre os anos de avaliação, aonde as maiores taxas de acúmulo líquido de forragem foram observadas no inverno do primeiro ano e na primavera e no outono do segundo ano. Não foram observadas diferenças na taxa de acúmulo líquido no verão nos dois anos avaliados (Figura 3A).

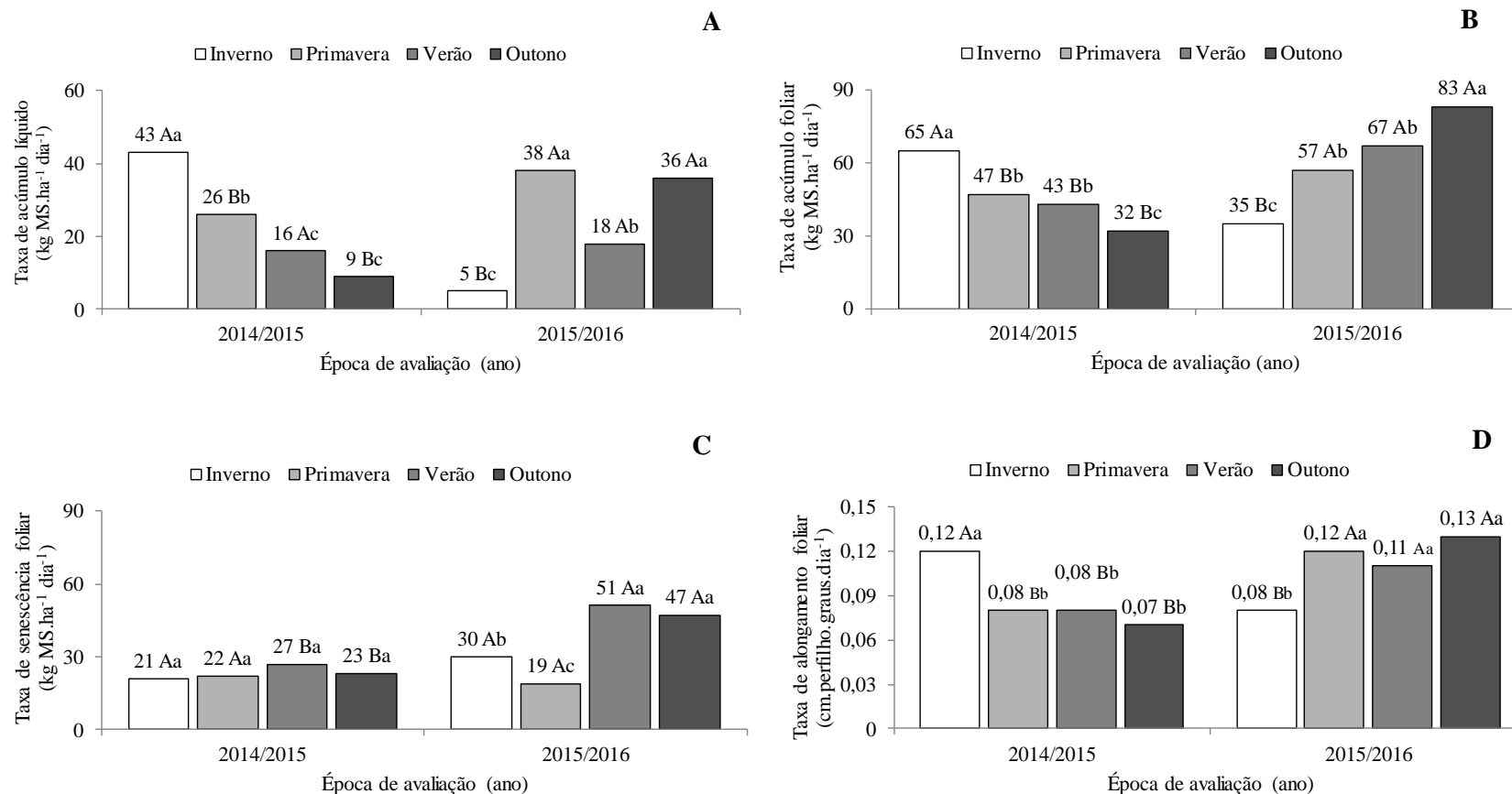
Tabela 7 - Taxa de acúmulo líquido de forragem ($\text{kg MS}\cdot\text{ha}^{-1}\text{ dia}^{-1}$), taxa de crescimento foliar ($\text{kg MS}\cdot\text{ha}^{-1}\text{ dia}^{-1}$), senescência ($\text{kg MS}\cdot\text{ha}^{-1}\text{ dia}^{-1}$), alongamento foliar ($\text{cm}\cdot\text{perfilho graus}\cdot\text{dias}^{-1}$) e senescência foliar ($\text{cm}\cdot\text{perfilho graus}\cdot\text{dias}^{-1}$) em pastos formados por espécies perenes de inverno cultivadas puras e em mistura nas épocas do ano (médias dos dois anos experimentais)

Tratamentos	Inverno	Primavera	Verão	Outono	Média
<i>Taxa de acúmulo líquido de forragem (TALF) ($\text{kg MS}\cdot\text{ha}^{-1}\text{ dia}^{-1}$)</i>					
<i>A. elatius</i>	19 Ab	32 Aab	30 Aab	34 Aa	29
<i>D. glomerata</i>	22 Aab	30 Aa	10 Bb	11 Bb	18
<i>F. arundinacea</i>	30 Aab	34 Aa	19 ABb	24 ABab	27
Mistura	25 Aa	31 Aa	10 Bb	20 ABab	22
Média	24	32	17	23	
<i>Taxa de crescimento foliar (TCF) ($\text{kg MS}\cdot\text{ha}^{-1}\text{ dia}^{-1}$)</i>					
<i>A. elatius</i>	44 Aa	44 Ba	71 Aa	64 Aa	56
<i>D. glomerata</i>	50 Aa	59 Aba	57 ABa	63 Aa	57
<i>F. arundinacea</i>	59 Aa	64 Aa	51 Ba	54 Aa	57
Mistura	47 Aa	47 Aba	41 Ba	49 Aa	46
Média	50	54	55	58	
<i>Taxa de senescência foliar (TSF) ($\text{kg MS}\cdot\text{ha}^{-1}\text{ dia}^{-1}$)</i>					
<i>A. elatius</i>	25 Ab	13 Bb	43 Aa	29 Bab	27
<i>D. glomerata</i>	28 Ab	24 ABb	46 Aa	52 Aa	38
<i>F. arundinacea</i>	29 Aa	30 Aa	32 Aa	28 Ba	30
Mistura	22 Aab	16 ABb	35 Aa	29 Bab	25
Média	26	21	39	35	
<i>Taxa de alongamento foliar (TAIF) ($\text{cm}\cdot\text{perfilho graus}\cdot\text{dias}^{-1}$)</i>					
<i>A. elatius</i>	0,09 Ba	0,11 Aba	0,11 Aba	0,11 Aa	0,11
<i>D. glomerata</i>	0,13 Aa	0,13 Aa	0,12 Aa	0,12 Aa	0,13
<i>F. arundinacea</i>	0,08 Ba	0,07 Ca	0,07 Ca	0,08 Ba	0,08
Mistura	0,10 Ba	0,09 BCa	0,10 Ba	0,10 ABa	0,10
Média	0,10	0,10	0,10	0,10	
<i>Taxa de senescência foliar (TSenF) ($\text{cm}\cdot\text{perfilho graus}\cdot\text{dias}^{-1}$)</i>					
<i>A. elatius</i>	0,07 Aa	0,04 Ab	0,09 Aa	0,07 Aa	0,07
<i>D. glomerata</i>	0,05 ABab	0,04 Ab	0,07 Aa	0,07 Aa	0,06
<i>F. arundinacea</i>	0,03 Ba	0,02 Ba	0,03 Ba	0,03 Ba	0,03
Mistura	0,05 ABab	0,04 Ab	0,06 Aa	0,05 Aa	0,05
Média	0,05	0,04	0,06	0,06	

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Valores seguidos pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si ($P>0,05$). Erro padrão da média para a interação tipo de pasto*época do ano: TALF= 2,79; TCF = 3,39; TSF = 3,67; TAIF = 0,005; e TSenF = 0,003.

Figura 3 - Taxa de acúmulo líquido de forragem ($\text{kg MS. ha}^{-1}\text{dia}^{-1}$) (A), taxa de crescimento foliar ($\text{kg MS. ha}^{-1}\text{dia}^{-1}$) (B), taxa de senescência foliar ($\text{kg MS. ha}^{-1}\text{dia}^{-1}$) (C) e taxa de alongamento foliar ($\text{cm.perfilho graus.dia}^{-1}$) (D) nos dois anos avaliados nas diferentes épocas do ano



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

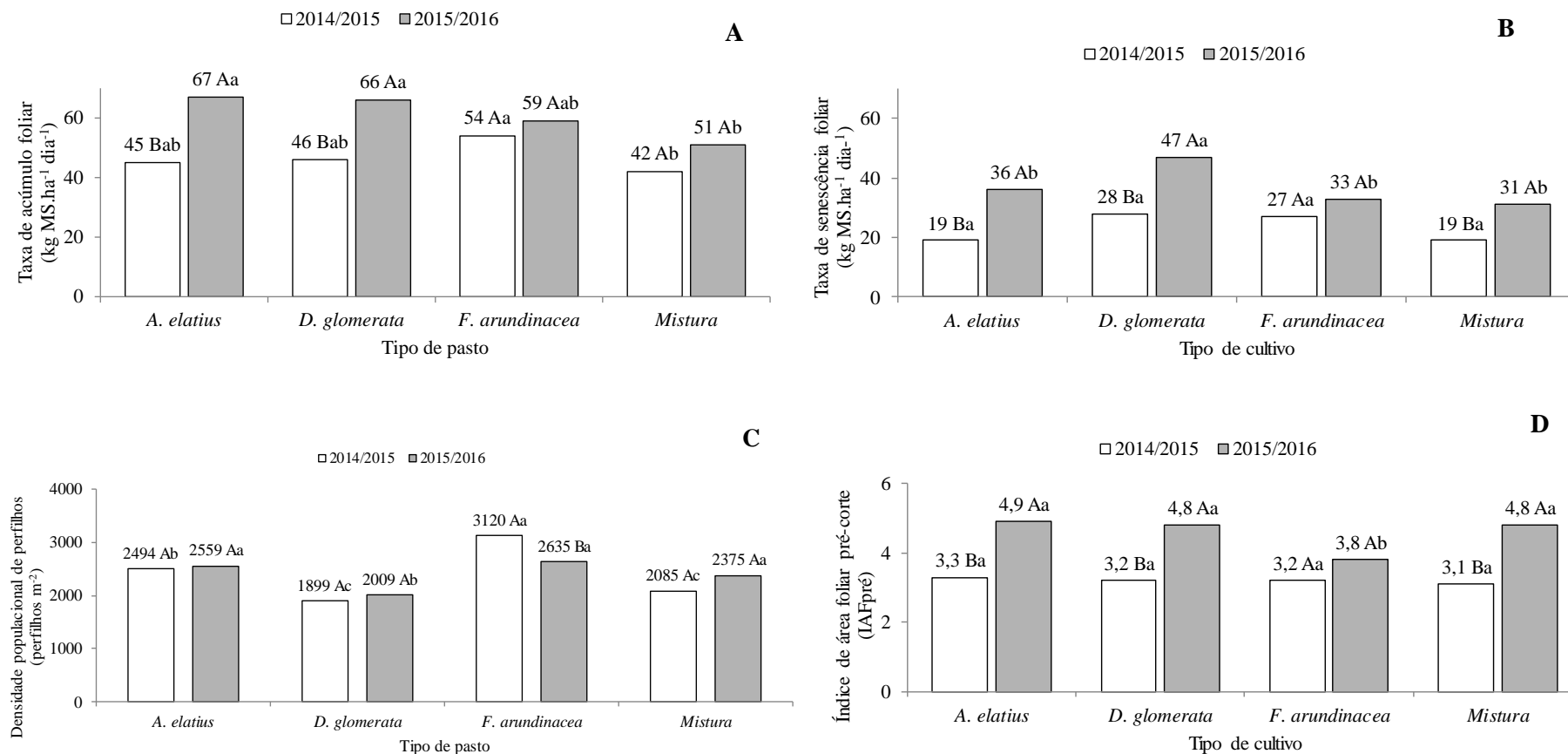
Médias seguidas de mesma letra maiúscula e minúscula não diferem entre si ($P>0,05$) entre os anos avaliados e as épocas do ano, respectivamente. Erro padrão da média para a interação época do ano*ano de avaliação: TALF= 1,97; TCF = 2,40; TSF = 2,35; e TAIF = 0,005.

6. 4. 2 Taxa de crescimento foliar

A taxa de crescimento foliar não apresentou diferença entre às épocas do ano em nenhum dos pastos (Tabela 7). Diferenças entre os pastos em cada época do ano foram observadas apenas na primavera, quando *A. elatius* apresentou menor taxa de crescimento foliar em relação a *F. arundinacea*, e no verão quando *A. elatius* apresentou maior taxa quando comparado a pastos da mistura e *F. arundinacea*. A taxa de crescimento foliar no segundo ano apresentou as maiores taxas, com exceção do inverno (Figura 3B). No primeiro ano a época com maior taxa de crescimento foliar foi o inverno e o menor valor no outono. Comportamento oposto foi observado no segundo ano, que apresentou menor valor no inverno e as maiores taxas de acúmulo foliar no outono.

Pastos de *A. elatius* e *D. glomerata* apresentaram diferenças entre os dois anos de avaliação, com maiores taxas de acúmulo foliar no segundo ano (Figura 4A). No primeiro ano experimental *F. arundinacea* apresentou maior taxa de crescimento foliar em relação aos demais tipos de pastos, enquanto que no segundo ano apenas a mistura apresentou menor valor quando comparado a pastos de *A. elatius* e *D. glomerata*.

Figura 4 - Taxa de crescimento foliar ($\text{kg MS}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{dia}^{-1}$) (A), taxa de senescência foliar ($\text{kg MS}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{dia}^{-1}$) (B), densidade populacional de perfilhos (perfilho. m^{-2}) (C) e índice de área foliar pré-corte (D) em pastos formado por plantas perenes de inverno cultivadas em monocultivo e em pastos da mistura nos dois anos de avaliação



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Médias seguidas de mesma letra maiúscula e minúsculas não diferem entre si ($P>0,05$) entre os anos avaliados e os tipos de pasto, respectivamente. Erro padrão da média para a interação tipo de pasto*ano de avaliação: TCF= 2,40; TSF = 2,60; DPP = 72,39; e IAFpré = 0,19.

6.4.3 Taxa de senescência foliar

De maneira geral, a taxa de senescência foliar ($\text{kg MS.ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$) apresentou maiores valores no verão e outono, exceto para *F. arundinacea*, para o qual não foi observada diferenças entre as épocas do ano (Tabela 7). No outono *D. glomerata* apresentou maior taxa de senescência foliar em relação aos demais pastos avaliados.

As maiores taxas de senescência foliar foram observadas no verão e outono no segundo ano experimental (Figura 3C). As maiores taxas de senescência foram observadas no segundo ano, com exceção da *F. arundinacea*, que não apresentou diferença entre os anos avaliados (Figura 4B). No primeiro ano de avaliação não houve diferença nas taxas de senescência foliar entre os tipos de pasto. No entanto, no segundo ano, em pastos de *D. glomerata* foram observados maiores valores em relação aos demais tipos de pasto.

6.4.4 Taxa de alongamento foliar

As maiores taxas de alongamento foliar, de modo geral, foram observadas em pastos de *D. glomerata* e menores em pastos de *F. arundinacea* (Tabela 7). Analisando os tipos de pastos, não foram observadas diferenças em relação às épocas do ano. O alongamento foliar apresentou resultado similar à taxa de crescimento foliar (Figuras 3B e 3D), com maior valor no inverno do primeiro ano experimental e na primavera, verão e outono do segundo ano de avaliação.

6.4.5 Taxa de senescência foliar

Os resultados das taxas de senescência ($\text{cm.perfilho graus.dias}^{-1}$) mostraram que *F. arundinacea* apresentou os menores valores em relação aos demais tipos de pastos (Tabela 7). Interessante ressaltar que essa espécie foi a única que apresentou diferenças entre as épocas do ano, e para os demais pastos na primavera foram observadas as menores taxas quando comparada as demais épocas do ano.

6. 4. 6 Densidade populacional de perfilhos

Em geral, *F. arundinacea* apresentou as maiores densidades populacionais de perfilhos, seguida por pastos de *A. elatius* (Tabela 8). O período do inverno foi a época do ano com maior densidade populacional de perfilhos.

Tabela 8 - Densidade populacional de perfilhos (perfilhos.m⁻²), índice de área foliar no pré e pós-corte, em pastos formado por espécies perenes de inverno cultivadas em monocultivo e em mistura nas épocas do ano (médias dos dois anos experimentais)

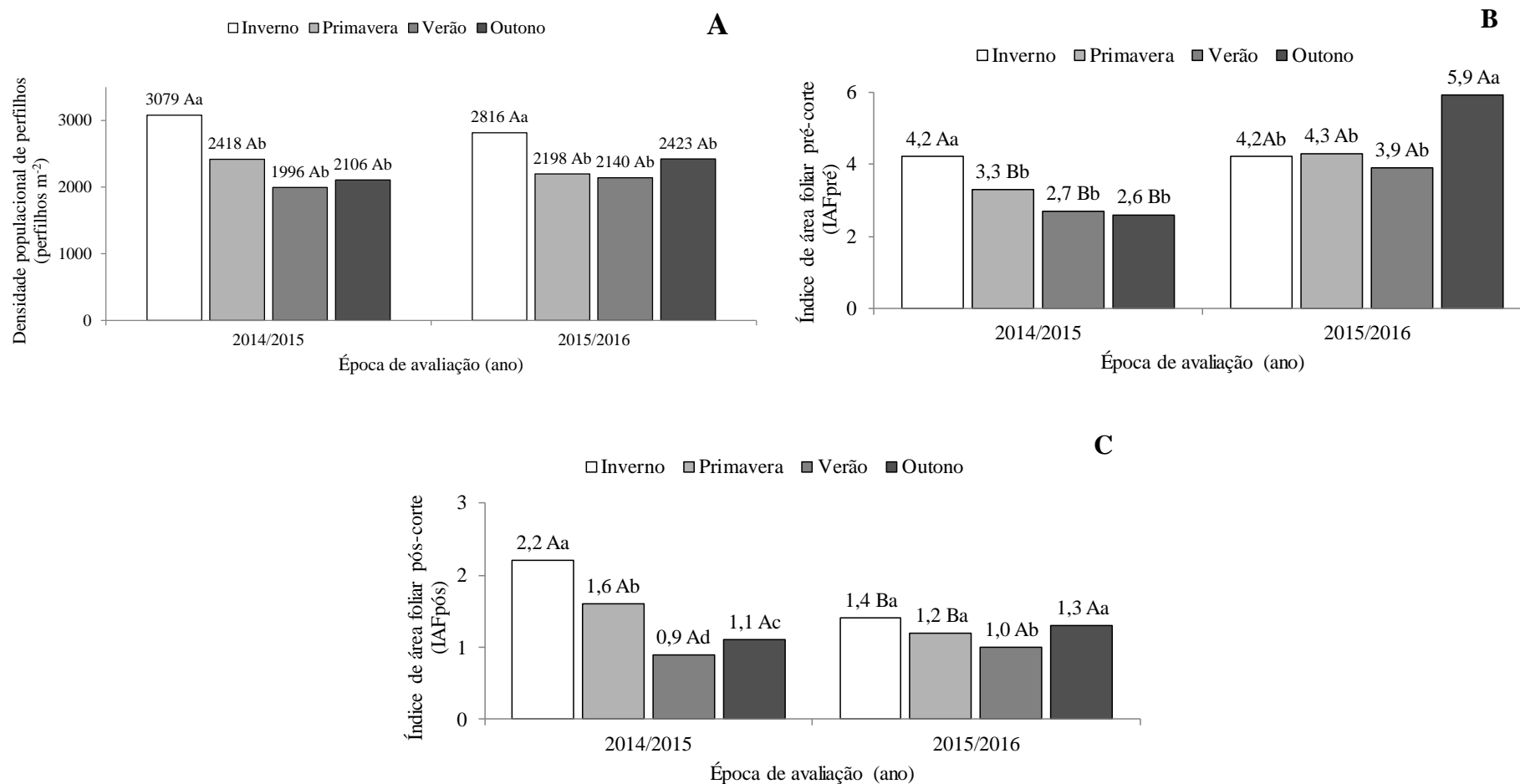
Tratamentos	Inverno	Primavera	Verão	Outono	Média
<i>Densidade populacional de perfilhos (DPP) (perfilhos.m⁻²)</i>					
<i>A. elatius</i>	3096 Aba	2027 Bb	2420 Ab	2510 Ab	2513
<i>D. glomerata</i>	2404 Ca	1779 Bb	1715 Bb	1919 Bab	1954
<i>F. arundinacea</i>	3571 Aa	3291 Aa	2357 Ab	2291 ABb	2878
Mistura	2718 BCa	2136 Bbc	1763 Bc	2302 ABab	2230
Média	2948	2308	2068	2264	
<i>Índice de área foliar pré-corte (IAFpré)</i>					
<i>A. elatius</i>	4,2 Aab	3,4 Ab	3,8 Aab	5,2 Aa	4,2
<i>D. glomerata</i>	4,4 Aab	4,0 Aab	3,1 Ab	4,6 Aa	4,0
<i>F. arundinacea</i>	3,6 Aa	3,8 Aa	3,3 Aa	3,2 Ba	3,5
Mistura	4,6 Aa	4,1 Aab	3,2 Ab	4,3 Aab	4,1
Média	4,2	3,8	3,4	4,3	
<i>Índice de área foliar pós-corte (IAFpós)</i>					
<i>A. elatius</i>	1,4 Ba	0,9 Cb	0,7 Bb	0,9 Cb	1,0
<i>D. glomerata</i>	2,2 Aa	1,5 Bb	0,9 Abc	1,5 Ab	1,5
<i>F. arundinacea</i>	1,9 Aa	1,9 Aa	1,3 Ab	1,4 ABb	1,6
Mistura	1,8 Aa	1,3 Bb	0,8 Bc	1,0 BCbc	1,2
Média	1,8	1,4	0,9	1,2	

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Valores seguidos pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si (P>0,05). Erro padrão da média para a interação tipo de pasto*época do ano: DPP = 102,4; IAFpré = 0,26; e IAFpós = 0,07.

Apenas *F. arundinacea* apresentou diferença entre os anos avaliados, com maiores densidades populacionais no primeiro ano experimental (Figura 4C). Essa espécie apresentou ainda os maiores valores em relação aos demais tipos de pasto no primeiro ano e superior apenas a *D. glomerata* no segundo ano experimental. Analisando a interação entre época do ano e ano de avaliação (Figura 5A), tanto o inverno do primeiro ano como o do segundo apresentaram as maiores densidades populacionais de perfilhos.

Figura 5 - Densidade populacional de perfilhos (perfilhos.m⁻²) (A), Índice de área foliar pré (B) e Índice de área foliar pós-corte (C) ao longo dos dois anos de avaliação nas épocas do ano



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Médias seguidas de mesma letra maiúscula e minúscula não diferem entre si ($P > 0,05$) entre os anos avaliados e as épocas do ano, respectivamente. Erro padrão da média para a interação época do ano*ano de avaliação: DPP = 72,39; IAFpré = 0,19; e IAFpós = 0,05.

6. 4. 7 Índice de área foliar pré-corte

Houve diferença no IAF do pré-corte entre os pastos avaliados apenas no outono, aonde pastos de *F. arundinacea* apresentaram menor valor em relação aos demais (Tabela 8). Pastos de *A. elatius* e *D. glomerata* apresentaram maior IAFpré no outono, e pastos da mistura no inverno. Em relação aos anos experimentais, no segundo ano foi observado maior IAFpré em relação ao primeiro, exceto nos pastos de *F. arundinacea* em que não houve diferença entre os anos avaliados (Figura 4D). No segundo ano de avaliação apenas *F. arundinacea* apresentou menor valor em relação aos demais tipos de pasto. O segundo ano experimental apresentou maior IAFpré em relação ao primeiro, exceto no inverno em que não houve diferença entre os anos avaliados (Figura 5B).

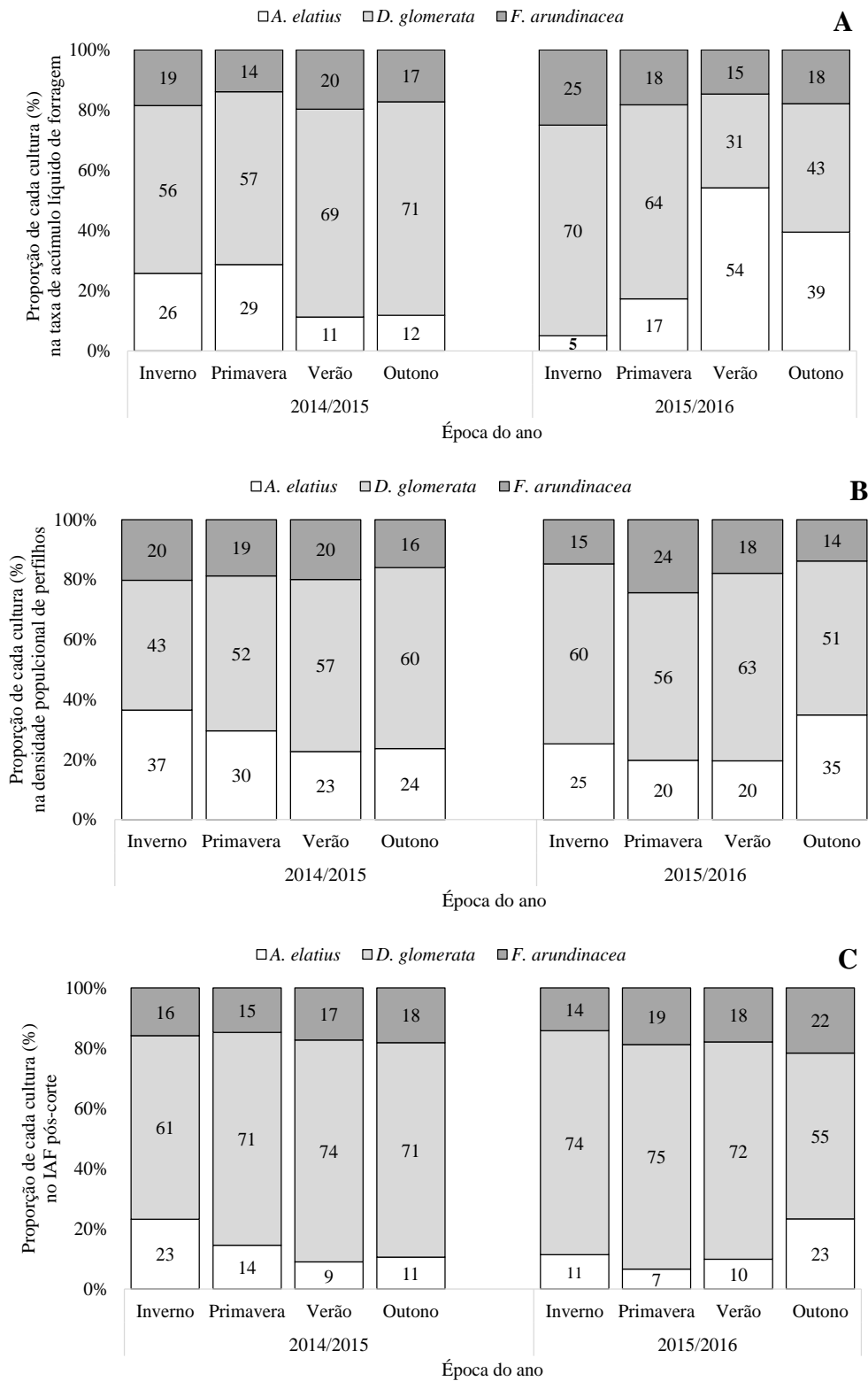
6. 4. 8 Índice de área foliar pós-corte

De forma geral, os maiores IAFpós foram observados em pastos de *F. arundinacea* e *D. glomerata* e os menores em pastos de *A. elatius* (Tabela 8). Em relação às épocas do ano, o inverno apresentou os maiores valores, com exceção de pastos de *F. arundinacea*, que apresentaram maior valor também na primavera. O primeiro ano apresentou maior IAFpós durante o inverno à primavera em relação ao segundo ano, sem diferenças no verão e outono entre os anos avaliados (Figura 5C).

6. 4. 9 Contribuição de cada espécie na mistura nas taxas de acúmulo líquido, densidade populacional de perfilhos e índice de área foliar no pós-corte

Na Figura 6 estão apresentadas as proporções de cada espécie nas taxas de acúmulo líquido, densidade populacional de perfilhos e índice de área foliar no pós-corte em pastos da mistura em cada época do ano dos dois anos de avaliação. *D. glomerata* apresentou maior composição em pastos da mistura durante todo período experimental, com proporções entre 31 e 71% na TALF, 43 e 63% na DPP, e entre 55 e 75% no IAF pós-corte. Vale ressaltar que apesar da maior participação de *D. glomerata*, as espécies *A. elatius* e *F. arundinacea* persistiram e contribuíram com a produção de forragem da mistura em todas as épocas do ano.

Figura 6 - Contribuição de cada espécie (%) na taxa de acúmulo líquido de forragem (A), na densidade populacional de perfilhos (B) e no IAF pós-corte (C) em pastos da mistura ao longo dos anos de avaliação e em cada época do ano



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

6. 5 DISCUSSÃO

A dinâmica do acúmulo de forragem, especialmente da porção foliar, pode ocorrer por diferentes meios de acordo com o tipo funcional de cada espécie que compõe as pastagens (CRUZ et al., 2002; MAIRE et al., 2009). Nesse sentido, existem espécies de gramíneas, por exemplo, que são mais tolerantes aos estresses e outras que são mais responsivas a condições favoráveis ao desenvolvimento e crescimento. De acordo com Wilson (1988), a competição abaixo do solo é mais importante que aquela acima do solo. No entanto, em ambientes férteis a competição da parte aérea pode ser mais relevante, principalmente em plantas com porte mais alto. A competição acima do solo, basicamente por recurso luminoso, torna-se mais relevante quando o dossel forrageiro intercepta acima de 95% da luz incidente, com consequente alongamento de colmo como forma de posicionar as folhas no topo do dossel (KORTE et al., 1982). De acordo com Borer et al. (2014), o pastejo pode ser utilizado como ferramenta para reduzir a competição por luz, contribuindo para o crescimento de espécies de crescimento lento ou de porte mais baixo em misturas complexas, contribuindo para coexistência de diferentes espécies. Por esse motivo, no presente estudo foram utilizadas adubações de correção e manutenção para manter níveis elevados de fertilidade e desfolhações frequentes e lenientes a fim de permitir condições ótimas de manejo ao desenvolvimento das três espécies, minimizando as competições intra e interespecíficas por recursos.

De modo geral, pastos de *A. elatius* e *F. arundinacea* apresentaram taxas de acúmulo líquido de forragem semelhantes, mesmo sendo espécies com estratégias de crescimento contrastantes (MAIRE et al., 2009; PONTES et al., 2012), como evidenciado pelas taxas de alongamento e senescência foliar (Tabela 7). Por apresentar uma renovação de tecidos mais rápida (CRUZ et al., 2002), *A. elatius* apresentou maior taxa de alongamento foliar que a *F. arundinacea*, porém suas taxas de senescência foliar também foram proporcionalmente maiores em relação a *F. arundinacea*, e os valores dessas taxas, associados a densidades populacionais de perfilhos semelhantes, resultaram, de maneira geral, em taxas de acúmulo de forragem similares entre essas espécies.

De forma inversa, a baixa densidade populacional de perfilhos de *D. glomerata* contribuiu para que essa espécie apresentasse as menores taxas de acúmulo líquido de forragem mesmo com elevadas taxas de alongamento foliar (Tabela 7), especialmente durante o verão e o outono, épocas do ano em que foram observadas suas menores densidades populacionais de perfilhos e maiores taxas de senescência foliar (em kg MS.ha⁻¹ dia⁻¹). Vale

ressaltar que as elevadas taxas de senescência foliar (em kg MS.ha⁻¹ dia⁻¹) de *A. elatius* e de *D. glomerata* podem ter sido influenciadas por um ataque de corós (*Cyclocephala flavipennis*) de março a junho nos dois anos de experimento (DUCHINI et al., 2017). Com relação à mistura, embora mais de 50% da população dos pastos fossem compostos por perfilhos de *D. glomerata*, sua densidade populacional de perfilhos ligeiramente superior ao *D. glomerata* em monocultivo permitiu uma compensação real aonde as taxas de acúmulo líquido de forragem foram semelhantes aos monocultivo mais produtivos (*A. elatius* e *F. arundinacea*). Possivelmente a maior densidade populacional de perfilhos da mistura em relação ao *D. glomerata* foi resultado da ocupação dos espaços entre as plantas de *D. glomerata* (maiores) pelas plantas de *A. elatius* e *F. arundinacea* (menores; dados não apresentados).

Durante o primeiro ano experimental os índices de nutrição nitrogenada (INN) ficaram próximos ao limiar inferior (INN = 0,80) (LEMAIRE; GASTAL, 1997), sendo assim optou-se por aumentar a dose de nitrogênio a partir do segundo ano (26 de setembro de 2015) para atingir valores mais próximos de 1,0. Isso pode explicar em parte o fato dos pastos apresentarem maiores taxas de alongamento foliar e taxas de acúmulo foliar e de forragem na primavera, verão e outono do segundo ano em relação ao primeiro. A taxa de alongamento foliar é dependente da condição nutricional da planta, pois a zona de alongamento é um local ativo e de alta demanda de nutrientes (SKINNER; NELSON, 1995), modificando o número de células produzidas na zona de divisão celular de acordo com o nitrogênio disponível (GASTAL; NELSON, 1994). Em trabalhos com gramíneas de clima temperado verificou-se que essas plantas são altamente responsivas a incrementos desse nutriente, proporcionando maiores taxas de alongamento foliar e acúmulo de forragem com aumento da dose de nitrogênio (LUPATINI et al., 1998; PELLEGRINI et al, 2010). Como não foram observadas diferenças na densidade populacional de perfilhos entre os anos avaliados, fica evidente que as maiores doses de nitrogênio influenciaram de forma mais direta o crescimento das plantas já existentes (taxa de acúmulo líquido de forragem), da mesma forma que mostrado por Goldberg e Novoplansky (1997). Esses resultados são mais evidentes nos pastos formados por espécies competidoras como *A. elatius* e *D. glomerata* por serem mais exigentes em recursos e mais responsivas aos fatores de crescimento (CRUZ et al, 2002). Nesse sentido, pode-se observar que a maior dose de nitrogênio pouco afetou a *F. arundinacea*, espécie conservadora de recursos, uma vez que apresentou taxa de crescimento foliar e de senescência foliar (em kg MS.ha⁻¹ dia⁻¹) e IAFpré-corte semelhantes nos dois anos experimentais. Entretanto, os motivos pelo qual houve um comportamento inverso nas taxas de acúmulo foliar e taxas de

acúmulo líquido de forragem entre as épocas do primeiro para o segundo ano não ficaram claros.

A arquitetura do dossel de uma pastagem pode ser em parte representada pelo seu índice de área foliar (IAF) (CHAPMAN; LEMAIRE, 1993), que possibilita um melhor entendimento das relações entre interceptação luminosa e acúmulo de matéria seca das plantas (PEDREIRA et al., 2001). Nesse sentido, Spehn et al. (2000) mostraram que pastos multiespecíficos apresentam uma melhor distribuição tridimensional e ocupação do espaço, resultado de um maior IAF. Contudo, no presente estudo os IAF_{pré} foram praticamente iguais para todos os pastos, não sendo observados maiores IAFs na mistura. Provavelmente, o manejo de desfolhação adotado não permitiu que as espécies mais cespitosas, principalmente a *A. elatius* (PFITZENMEYER, 1962; PONTES et al., 2012), crescessem verticalmente para compor um ‘novo’ estrato de folhas mais alto. Além disso, a inobservância de uma relação direta entre IAF e a taxa de acúmulo de forragem pode estar relacionada com diferenças arquiteturais entre as espécies. Por exemplo, pastos de *D. glomerata*, apesar de apresentarem valores de IAFs similares em relação aos outros pastos, apresentaram um menor acúmulo de forragem, o que pode ser um indicativo que seu hábito mais prostrado de crescimento condicionou um maior sombreamento das folhas mais velhas, as quais contribuem para o IAF, mas possuem reduzida capacidade fotossintética (PERI et al., 2003).

Com relação às três espécies na mistura, é possível que o hábito de crescimento semiprostrado e ocupação do *D. glomerata* (LONGHI-WAGNER, 1987) tenha contribuído para que essa espécie representasse mais de 50% dos perfilhos da mistura ao longo de todo o período experimental. Por consequência, *D. glomerata* foi à espécie que mais contribuiu para o acúmulo de forragem da mistura. Entretanto, embora a grande maioria do IAF_{pós} (55 a 75%) pertencesse a essa espécie, em todas as épocas do ano a proporção das demais espécies se mantiveram relativamente constantes ao longo do período experimental, sugerindo que as mesmas, mesmo com pequenas contribuições individuais foram capazes de persistir e contribuir para a produção de forragem na mistura. Possivelmente, a manutenção das condições favoráveis ao desenvolvimento e crescimento das plantas minimizaram estresses (níveis elevados de fertilidade e água; Tabela 4 e Figura 1) e distúrbios (desfolhações frequentes e lenientes) que poderiam prejudicar plantas competidoras e conservadoras, respectivamente (GRIME, 1977).

6.6 CONCLUSÕES

Gramíneas perenes de inverno com diferentes habilidades competitivas, quando cultivadas em associação e sob manejo intenso (*e.g.*, ambientes férteis, com desfolhação frequente e leniente), apresentam produção de forragem similar aos monocultivos mais produtivos. Interessante ressaltar que esse resultado foi obtido mesmo com plantas de *D. glomerata* (a espécie de menor produção em monocultivo) contribuindo com a maior proporção de plantas na mistura. Nossos resultados são sugestivos de que a ocupação de espaços entre as plantas de *D. glomerata* por plantas de *A. elatius* e *F. arundinacea* na mistura foi a principal responsável por manter as taxas de acúmulo de forragem similares entre a mistura e os monocultivos mais produtivos.

6.7 REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Viena, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- BORER, E. T. et al. Herbivores and nutrients control grassland plant diversity via light limitation. **Nature**, v. 508, n. 7497, p. 517-520, 2014.
- CHAPMAN, D.F., LEMAIRE, G. Morphogenetic and structural determinants of plant regrowth after defoliation. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 17, 1993, Austrália. **Proceedings...**, p.95-104, 1993.
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. **Manual de Adubação e Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre: SBCS, 2004. 400 p.
- CRUZ, P. et al. Une nouvelle approche pour caractériser les prairies naturelles et leur valeur d'usage. **Fourrages**, Latvia, v. 172, p. 335-354, 2002.
- DUCHINI, P. et al. White grubs (*Cyclocephala flavipennis*) damaging perennial winter pastures in the South Region of Brazil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 47, n. 5, 2017.
- EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2. ed. Rio de Janeiro: **Embrapa Solos**, 2006. 306 p.

FINN, J. A. et al. Ecosystem function enhanced by combining four functional types of plant species in intensively managed grassland mixtures: a 3-year continental-scale field experiment. **Journal of Applied Ecology**, Oxford, v. 50, n. 2, p. 365-375, 2013.

GASTAL, F.; NELSON, C.J. Nitrogen use within the growing leaf blade of tall fescue. **Plant Physiology**, [S.l.], v.105, n. 1, p.191-197, 1994.

GOLDBERG, D.; NOVOPLANSKY, A. On the relative importance of competition in unproductive environments. **Journal of Ecology**, London, v. 85, n. 4, p. 409-418, 1997.

GRIME, J. P. Evidence for the existence of three primary strategies in plants and its relevance to ecological and evolutionary theory. **The American Naturalist**, Chicago, v. 111, n. 982, p. 1169- 1194, 1977.

GROSS, K. et al. Species richness and the temporal stability of biomass production: a new analysis of recent biodiversity experiments. **The American Naturalist**, Chicago, v. 183, n. 1, p. 1-12, 2014.

GROSS, N. et al. Complementarity as a mechanism of coexistence between functional groups of grasses. **Journal of Ecology**, London, v. 95, n. 6, p. 1296-1305, 2007.

HANISCH A.L.; GISLON I. Massa de forragem e valor nutritivo de gramíneas perenes de inverno no planalto norte catarinense. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 11, n. 1, p. 25-32, 2010.

HANISCH, A L. et al. Parâmetros agronômicos de gramíneas perenes de clima temperado. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 15, n. 3, p. 188-197, 2016.

HECTOR, A. et al. General stabilizing effects of plant diversity on grassland productivity through population asynchrony andoveryielding. **Ecology**, California, v. 91, n. 8, p. 2213-2220, 2010.

HECTOR, A. et al. Plant diversity and productivity experiments in European grasslands. **Science**, Washington, v. 286, n. 5442, p. 1123-1127, 1999.

KORTE, C. J.; et al. Use of residual leaf area index and light interception as criteria for spring-grazing management of ryegrass dominant pasture. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, New Zealand, v. 25, n. 3, p. 309-319, 1982.

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

LEMAIRE, G.; GASTAL, F. N uptake and distribution in plant canopies. In: LEMAIRES, G. (Ed.) **Diagnosis of the Nitrogen Status in Crops**. Berlin: Springer, 1997, p 3-43, 1997.

LONGHI-WAGNER, H. M. Flora ilustrada do Rio Grande do Sul: 17. Gramineae tribe Poeae. **Boletim do Instituto de Biociências**, Porto Alegre, v. 41, 1987.

LUPATINI, G.C. et al. Avaliação da mistura de aveia preta e azevém sob pastejo submetida a níveis de nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 33, n. 11, p. 1939-1944, 1998.

MAIRE, V. et al. Trade-off between root nitrogen acquisition and shoot nitrogen utilization across 13 co-occurring pasture. **Functional Ecology**, Oxford, v. 23, n. 4, p. 668-679, 2009.

NAEEM, S. et al. Declining biodiversity can alter the performance of ecosystems. **Nature**, v. 368, n. 6473, p. 21, 1994.

PEDREIRA, C.G.S.; MELLO, A.C.L. de; OTANI, L.O processo de produção de forragem em pastagens. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 38., 2001, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: SBZ, p. 772-807, 2001.

PELLEGRINI, L. G. et al. Produção e qualidade de azevém-anual submetido a adubação nitrogenada sob pastejo por cordeiros. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 39, n. 9, p. 1894-1904, 2010.

PERI, P. L. et al. Modelling net photosynthetic rate of field-grown cocksfoot leaves to account for regrowth duration. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, New Zealand, v. 46, p. 105-115, 2003.

PFITZENMEYER, C. D. C. Biological flora of British Isles. *Arrhenatherum elatius* L. J. e C. Presl. **Journal of Ecology**, London, v. 50, n. 1, p. 235-245, 1962.

PONTES, L. S. et al. Impacts of species interactions on grass community productivity under contrasting management regimes. **Oecologia**, v. 168, n. 3, p. 761-771, 2012.

PONTES, L. S. et al. The role of plant traits and their plasticity in the response of pasture grasses to nutrients and cutting frequency. **Annals of Botany**, Oxford, v. 105, n. 6, p. 957-965, 2010.

RODRIGUES, C. S. et al. Functional clusters of tropical forage grasses. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 41, n. 6, p. 1385-1393, 2012.

ROSCHER, C. et al. Detecting the role of individual species for overyielding in experimental grassland communities composed of potentially dominant species. **Oecologia**, v. 154, n. 3, p. 535-549, 2007.

SANDERSON, M. A. et al. Forage mixture productivity and botanical composition in pastures grazed by dairy cattle. **Agronomy Journal**, Wisconsin, v. 97, n. 5, p. 1465-1472, 2005.

SILVEIRA, M. C. T. et al. Morphogenetic and structural comparative of tropical forage grass cultivars under free growth. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 67, n. 2, p. 136-142, 2010.

SKINNER, R. H.; NELSON, C. J. Elongation of the grass leaf and its relationship to the phyllochron. **Crop Science**, Chicago, v. 35, n. 1, p. 4-10, 1995.

SPEHN, E. M. et al. Above-ground resource use increases with plant species richness in experimental grassland ecosystems. **Functional Ecology**, Oxford, v. 14, n. 3, p. 326-337, 2000.

TILMAN, D et al. Productivity and sustainability influenced by biodiversity in grassland ecosystems. **Nature**, v. 379, n. 6567, p. 718-720, 1996.

TRACY, B. F.; SANDERSON, M. A. Forage productivity, species evenness and weed invasion in pasture communities. **Agriculture, Ecosystems e Environment**, [S.l.] v. 102, n. 2, p. 175-183, 2004.

WEIGELT, A. et al. Biodiversity for multifunctional grasslands: equal productivity in highdiversity low-input and low-diversity high-input systems. **Biogeosciences**, [S.l.] v. 6, n. 8, p.1695-1706, 2009.

WILSON, J. B. Shoot competition and root competition. **Journal of Applied Ecology**. Oxford, v. 25, n. 1, p. 279-296, 1988.

WOLFINGER, R. Covariance structure selection in general mixed models. **Communications in Statistics-Simulation and Computation**, [Sl.], v. 22, n. 4, p. 1079-1106, 1993.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados desta tese reforçam o conceito de que espécies pertencentes à mesma família podem apresentar diferentes estratégias de crescimento, como já foi demonstrado em outros trabalhos com gramíneas perenes de clima tropical. A estratégia de crescimento é diretamente relacionada com a habilidade competitiva e com a velocidade de renovação de tecidos. Neste estudo foram utilizadas gramíneas perenes de inverno com duas estratégias de crescimento bastante distintas, *A. elatius* e *D. glomerata* que são espécies com características de plantas competidoras e utilizadoras de recursos, e *F. arundinacea* que é uma espécie com características de plantas conservadoras de recursos. De maneira geral, os estudos com pastos biodiversos sugerem um aumento da produtividade e da estabilidade de produção em ambientes pouco férteis e com plantas em crescimento livre ou com poucos cortes por ano. Assim, elaboramos um protocolo experimental que mimetizasse manejos utilizados em sistemas de produção animal intensivos, e confirmamos a hipótese de que em misturas simples (usando poucas espécies de uma mesma família), plantas com diferentes estratégias de crescimento podem coexistir e que suas características morfogênicas e estruturais não são alteradas quando cultivadas em mistura e comparadas aos seus respectivos monocultivos. Esses resultados foram associados principalmente com o manejo utilizado (interceptação de luz pelo dossel não excedendo 95% da RFA), solos férteis e desfolhações frequentes, porém de baixa intensidade (desfolhações lenientes).

Em relação à dinâmica do acúmulo de forragem, os resultados reforçaram que esse processo ocorre em níveis distintos, em nível de perfilho individual e em nível de comunidade de plantas. Por exemplo, os acúmulos de forragem similares em pastos de *A. elatius* e *F. arundinacea* foram decorrentes de mecanismos distintos, onde a primeira associou alta DPP com altas taxas de alongamento foliar, enquanto que a segunda associou também alta DPP, porém com minimização do processo de senescência e alta longevidade foliar. Por outro lado, *D. glomerata* apresentou as maiores taxas de alongamento foliar. No entanto, em nível de comunidade de plantas, foi a espécie com a menor DPP, responsável direta pelas menores taxas de acúmulo de forragem observada entre as três espécies de plantas em monocultivo.

Em pastos da mistura, a espécie com menor produção no monocultivo (*D. glomerata*) foi responsável por 60% da produção de biomassa e representou em média 55% da população de perfilhos. Apesar disso, a mistura apresentou produção de forragem similar aos pastos em monocultivos mais produtivos durante a maior parte das épocas. Sugerimos que a ocupação por perfilhos de *A. elatius* e *F. arundinacea* proporcionou esse resultado. No entanto, essa

suposição requer estudos direcionados para testar essa hipótese. Em pastos da mistura a maior ocupação de *D. glomerata* ocorreu principalmente em função da arquitetura dessa espécie, que apresenta hábito de crescimento semiprostrado enquanto que *F. arundinacea* e *A. elatius* apresentam porte ereto. Dessa forma, trabalhos que busquem, por exemplo, estudar diferentes proporções dessas espécies na mistura poderia resultar em pastos biodiversos com maior produção de forragem que os monocultivos mais produtivos. No entanto, essa hipótese carece de sofisticação e necessidade de ser testada, uma vez que a literatura apresenta raros exemplos de *transgressive overyieldings* no mundo natural.