

**FRANCIELI PIRAN**

**O LEGADO DO MANEJO DO PASTO NO VERÃO SOBRE OS PADRÕES  
DE CRESCIMENTO EM PERFILHOS INDIVIDUAIS E PERFILHAMENTO DO  
AZEVÉM ANUAL (*LOLIUM MULTIFLORUM* L.) NA ESTAÇÃO FRIA  
SUBSEQUENTE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência Animal, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência Animal, Área de Concentração: Nutrição, Manejo Animal e Forragicultura.

**Orientador:** Dr. André Fischer Sbrissia.

**LAGES – SC  
2022**

Dedico essa dissertação aos meus pais Francisco e Angelita, e da mesma forma, dedico aos meus irmãos Francisco, Fernanda e Francelise, por todo o carinho e apoio concedido.

Ofereço a todos àqueles que de alguma forma contribuíram para a materialização deste manuscrito

## AGRADECIMENTOS

A Deus, acima de tudo.

Aos meus pais, Angelita Piran e Francisco Piran, pela entrega absoluta e incondicional na minha formação pessoal e profissional.

Aos meus irmãos, Francisco, Fernanda e Francelise Piran por serem exemplos de responsabilidade e dedicação.

Ao professor Dr. André Fischer Sbrissia, pela oportunidade concedida, pela orientação inestimável, confiança e pelo exemplo de conduta pessoal e profissional.

A todos que contribuíram na elaboração, construção e condução dos trabalhos: Daniel, Fabio, Valentina, Fernanda, Emiliano, Diego, Luana, Leonardo, Gadrieli, Tiago, Pedro e Sara.

Ao meu companheiro, Juliano Pinheiro, por todo cuidado e incentivo para que este trabalho fosse concluído com sucesso.

À UDESC, pelo ensino de qualidade e estrutura disponíveis para o desenvolvimento deste trabalho.

À CAPES pela concessão de bolsa de estudo para a conclusão deste estudo.

A todos os funcionários terceirizados da UDESC pela cooperação e amizade.

A todos os professores e colegas do curso de pós-graduação.

A todos que de alguma forma contribuíram na construção deste trabalho.



## RESUMO

PIRAN, Francieli. **O legado do manejo do pasto no verão sobre os padrões de crescimento em perfilhos individuais e perfilhamento do azevém anual (*Lolium multiflorum* L.) na estação fria subsequente.** 2022. 55 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal – Área: Produção Animal). Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal. Lages, 2022.

O manejo da altura de pastejo e a utilização de diferentes doses de adubação em pastos de verão podem modificar processos relacionados ao solo, crescimento e desenvolvimento das forrageiras cultivadas posteriormente, transferindo um legado a cultura subsequente na estação fria. Desse modo, parece concebível propor que o manejo prévio do pasto de verão (alturas de manejo e doses de N) pode alterar a dinâmica do acúmulo de forragem (crescimento e perfilhamento) na estação fria subsequente do *Lolium multiflorum* L. Diante deste propósito, o objetivo deste trabalho foi determinar se estratégias de manejo no verão empregadas em uma pastagem biodiversa composta por *Cynodon* spp., *Pennisetum clandestinum*, *Trifolium repens* L., *Lotus corniculatus* L. e *Arachis pintoii* alteram a dinâmica de crescimento e perfilhamento do azevém anual na estação fria. O experimento foi conduzido no Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina (CAV/UEDESC). O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso com arranjo fatorial 2 x 3, com três repetições por tratamento. Os tratamentos empregados durante a estação quente (novembro a maio) foram compostos por duas alturas de manejo (17 e 23 cm) associados a três doses de nitrogênio (50, 150 e 250 kg de N ha<sup>-1</sup>). Na estação fria (junho a outubro), os pastos de azevém anual foram manejados com uma altura de 20 cm e receberam um único aporte de 50 kg de N ha<sup>-1</sup> no início do perfilhamento. A dinâmica do perfilhamento foi quantificada por meio da contagem mensal dos perfilhos surgidos e sobreviventes em três anéis de 0,01767m<sup>2</sup> alocados em cada unidade experimental e a partir destes foram calculadas as taxas de aparecimento, mortalidade e sobrevivência de perfilhos e o índice de estabilidade do pasto. O fluxo de crescimento dos tecidos e taxa de senescência foi quantificado por meio da técnica de “perfilhos marcados”, na qual foram marcados 20 perfilhos por unidade experimental a fim de obter taxa de aparecimento de folhas, alongamento foliar e duração de vida da folha. Os resultados foram submetidos à análise de variância utilizando o procedimento MIXED do pacote estatístico SAS® versão 9.2, e as médias de cada variável comparadas pelo teste de Tukey com 5% de probabilidade. Não foi observado efeito legado do manejo do pasto de verão quanto à dinâmica de

crescimento e perfilhamento do azevém anual na estação fria, no entanto, os dados de tempos de meia-vida revelam sua relevância nas primeiras gerações considerando-as mais longevas e representando a metade da produção do azevém anual durante o ciclo de produção.

**Palavras-chave:** Pasto biodiverso. *Legacy effect*. Altura de manejo. Nitrogênio.

## ABSTRACT

PIRAN, Francieli. **The legacy of summer pasture management on growth patterns in individual tillers and tillering of annual ryegrass (*Lolium multiflorum* L.) in the subsequent cold season.** 2022. 55 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal – Área: Produção Animal). Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal. Lages, 2022.

The management of grazing height and the use of different doses of fertilization in summer pastures can modify processes related to the soil, growth and development of forages cultivated later, transferring a legacy to the subsequent culture in the cold season. Thus, it seems conceivable to propose that previous management of summer pasture (management heights and N doses) can change the dynamics of forage accumulation (growth and tillering) in the subsequent cold season of *Lolium multiflorum* L. For this purpose, the objective of this work was to determine whether summer management strategies employed in a biodiverse pasture composed of *Cynodon* spp., *Pennisetum clandestinum*, *Trifolium repens* L., *Lotus corniculatus* L. and *Arachis pintoii* alter the growth and tillering dynamics of the annual ryegrass in the cold season. The experiment was carried out at the Agroveterinary Science Center of the State University of Santa Catarina (CAV/UDESC). The experimental design used was randomized blocks with a 2 x 3 factorial arrangement, with three replications per treatment. The treatments used during the hot season (November to May) consisted of two management heights (17 and 23 cm) associated with three nitrogen rates (50, 150 and 250 kg of N ha<sup>-1</sup>). In the cold season (June to October), annual ryegrass pastures were managed at a height of 20 cm and received a single input of 50 kg of N ha<sup>-1</sup> at the beginning of tillering. The dynamics of annual ryegrass tillering was quantified through the monthly count of emerged and surviving tillers in three rings of 0.01767m<sup>2</sup> allocated in each experimental unit and from these, the tiller appearance, mortality and survival rates and the index of pasture stability. Tissue growth flux and senescence rate were quantified using the “tiller tiller” technique, in which 20 tillers were marked per experimental unit in order to obtain leaf appearance rate, leaf elongation and leaf life span. The results were submitted to analysis of variance using the MIXED procedure of the SAS® statistical package version 9.2, and the means of each variable were compared by Tukey's test with 5% probability. No legacy effect of summer pasture management was observed regarding the growth dynamics and tillering of annual ryegrass

in the cold season, however, the half-life data reveal its relevance in the first generations considering them longer-lived and representing half of annual ryegrass production during the production cycle.

**Keywords:** Biodiverse pasture. *Legacy effect*. Management height. Nitrogen.



## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 - Modelo conceitual das relações entre as características morfogênicas e estruturais das plantas forrageiras e a formação do IAF dos pastos (adaptado de Chapman & Lemaire 1993, Cruz & Boval 2000 por Sbrissia & Da Silva, 2001)..... | 23 |
| Figura 2 – Estacas para localização das réguas transectas.....  | 27 |
| Figura 3 – Detalhe da marcação dos perfilhos.....   | 28 |
| Figura 4 – Detalhe do anel de PVC usado na marcação dos perfilhos.....  | 31 |
| Figura 5 – Perfilhos marcados no interior do anel de PVC.....   | 32 |
| Figura 6– Padrão demográfico do perfilhamento em pastos de azevém anual quando o pasto biodiverso foi mantido a 17 cm de altura de manejo e 10 cm de altura de resíduo em lotação intermitente.....   | 41 |
| Figura 7 – Padrão demográfico do perfilhamento em pastos de azevém anual quando o pasto biodiverso foi mantido a 23 cm de altura de manejo e 14 cm de altura de resíduo em lotação intermitente.....  | 42 |
| Figura 8 – Padrão demográfico do perfilhamento em pastos de azevém anual quando o pasto biodiverso foi mantido com 50 kg ha <sup>-1</sup> de N.....   | 42 |
| Figura 9 – Padrão demográfico do perfilhamento em pastos de azevém anual quando o pasto biodiverso foi mantido com 150 kg ha <sup>-1</sup> de N.....  | 43 |
| Figura 10 – Padrão demográfico do perfilhamento em pastos de azevém anual quando o pasto biodiverso foi mantidos com 250 kg ha <sup>-1</sup> de N.....  | 43 |



## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1 – Médias mensais das variáveis climáticas durante o ano experimental (2020) em relação às médias históricas de precipitação e temperatura em Lages, Santa Catarina, Brasil.....   | 25 |
| Tabela 2 – Período de avaliação de fluxo de tecidos (datas de início e término das avaliações), número de ciclos avaliativos e número total de avaliações em pastos de azevém anual submetidos a diferentes manejos de altura e doses de nitrogênio..... | 29 |
| Tabela 3 – Datas das avaliações, geração e cor das marcações da demografia de perfilhamento.....   | 33 |
| Tabela 4 – Relação das adubações realizadas durante o período experimental e quantidade total de N aplicado no período (verão e inverno) .....   | 36 |
| Tabela 5 – Taxa de alongamento foliar (Tx Along), taxa de aparecimento de folhas (TAF), taxa de senescência (TSF) e Filocrono de pastos de azevém anual cultivado em ambiente manejado em diferentes alturas de manejo.....                              | 38 |
| Tabela 6 – Densidade populacional de perfilhos (DPP) de azevém anual no período de inverno e primavera, submetidos a diferentes manejos.....   | 38 |
| Tabela 7 – Taxa de aparecimento de perfilhos (TAP), taxa de sobrevivência de perfilhos (TSP), taxa de mortalidade de perfilhos (TMP) e Índice de estabilidade linear (IE Lin) e exponencial (IE Exp) de pastos de azevém anual.....                      | 39 |
| Tabela 8 - Índice de estabilidade linear (IE Lin) e índice de estabilidade exponencial (IE Exp) de pastos de azevém anual manejado em diferentes alturas de manejo (17 e 23 cm) e doses de nitrogênio (50, 150 e 250 kg ha <sup>-1</sup> de N).....      | 40 |

Tabela 9 - Número de perfilhos de azevém anual com inflorescência visível em pastos de azevém anual ao final do período de cultivo (novembro) quando submetidos a diferentes manejos de altura e doses de nitrogênio.....44

Tabela 10 - Níveis de  $\text{NO}_3^-/\text{NO}_2^-$  e  $\text{NH}_3^+$  ( $\text{mg N kg}^{-1}$  de solo seco) nas profundidades de 0 a 10 cm e de 10 a 20 cm do solo coletados em áreas com pastos de azevém anual cultivado em ambiente manejado em diferentes alturas de manejo e doses de nitrogênio.....45

Tabela 11 – Efeito das diferentes alturas de manejo sobre o tempo de meia-vida ( $t_{1/2}$  em dias) de perfilhos de azevém anual nas gerações zero (G0), geração um (G1), geração dois (G2) e geração quatro (G4).....49

## SUMÁRIO

|           |  |           |
|-----------|--|-----------|
| <b>1</b>  | <b>INTRODUÇÃO.....</b>   | <b>15</b> |
| <b>2</b>  | <b>REVISÃO DE LITERATURA.....</b>  | <b>16</b> |
| 2.1       | A IMPORTÂNCIA DE PASTOS BIODIVERSOS.....   | 17        |
| 2.2       | ESPÉCIES UTILIZADAS.....   | 18        |
| 2.3       | TRANSFERÊNCIA DE NITROGÊNIO ENTRE ESPÉCIES GRAMÍNEAS E LEGUMINOSAS ASSOCIADAS..... | 21        |
| 2.4       | CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS E ESTRUTURAIS DOS PERFILHOS.....                      | 22        |
| 2.5       | EFEITO LEGADO.....   | 24        |
| <b>3</b>  | <b>HIPÓTESES.....</b>  | <b>24</b> |
| <b>4</b>  | <b>OBJETIVOS.....</b>  | <b>24</b> |
| 4.1       | GERAL.....   | 24        |
| <b>5</b>  | <b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>   | <b>25</b> |
| 5.1       | LOCAL E IMPLANTAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL.....                                      | 26        |
| 5.2       | DELINEAMENTO EXPERIMENTAL, TRATAMENTOS E MANEJO.....                               | 26        |
| 5.3       | VAVIÁVEIS MEDIDAS E CALCULADAS.....  | 27        |
| 5.3.1     | Morfogênese e dinâmica do acúmulo de massa seca do azevém anual.....               | 27        |
| 5.3.2     | Medições realizadas nos perfilhos.....   | 28        |
| 5.3.2.1   | Quantificação das variáveis.....   | 30        |
| 5.3.2.1.1 | Taxa de aparecimento de folhas.....  | 30        |
| 5.3.2.1.2 | Taxas de alongamento e senescência de folhas.....                                  | 30        |
| 5.3.2.1.3 | Filocrono e longevidade das folhas (LF).....                                       | 31        |
| 5.3.3     | Demografia do perfilhamento do azevém anual.....                                   | 31        |
| 5.3.3.1   | Densidade populacional de perfilhos (DPP).....                                     | 33        |
| 5.3.3.2   | Taxas de aparecimento, sobrevivência e mortalidade de perfilhos.....               | 34        |
| 5.3.3.3   | Índice de estabilidade linear e índice de estabilidade exponencial.....            | 34        |

|         |   |    |
|---------|---|----|
| 5.3.3.4 | Tempo de meia-vida dos perfilhos de azevém anual.....   | 35 |
| 5.3.4   | Adubação nitrogenada e níveis de N mineral ( $\text{NO}_3^-/\text{NO}_2^-$ , $\text{NH}_3^+$ ) no solo..... | 35 |
| 5.3.5   | Taxa de acúmulo de forragem.....  | 36 |
| 5.4     | PROCESSAMENTO DOS DADOS E ANÁLISE ESTATÍSTICA.....  | 37 |
| 6       | RESULTADOS.....   | 37 |
| 6.1     | CARACTERÍSTICAS MORFOGÊNICAS.....   | 37 |
| 6.1.1   | Taxas de alongamento de folhas, aparecimento e senescência de folhas e filocrono.....                       | 37 |
| 6.2     | PERFILHAMENTO.....  | 38 |
| 6.2.1   | Densidade populacional de perfilhos (DPP).....  | 38 |
| 6.2.2   | Tempo de meia-vida dos perfilhos de azevém anual.....   | 38 |
| 6.2.3   | Taxas de aparecimento, sobrevivência e mortalidade de perfilhos.....  | 39 |
| 6.2.4   | Diagrama de estabilidade.....   | 40 |
| 6.2.5   | Padrões demográficos do perfilhamento.....  | 40 |
| 6.2.6   | Níveis de N mineral ( $\text{NO}_3^-/\text{NO}_2^-$ , $\text{NH}_3^+$ ) no solo.....                        | 44 |
| 7       | DISCUSSÃO.....  | 45 |
| 8       | CONCLUSÃO.....  | 50 |
| 9       | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....   | 50 |

## 1 INTRODUÇÃO

No Brasil, a produção de carne e leite ocorre predominantemente em sistemas pastoris de produção agropecuária (FERRAZ; FELÍCIO, 2010) e se constitui na forma mais econômica e facilitada de produzir e oferecer alimentos para os bovinos e produção de alimentos de origem animal. Dessa forma, é inegável que o país possui condições singulares de produção animal fundamentada na produção de pastagem. Assim, o cultivo de plantas forrageiras assume um importante papel para a cadeia produtiva e a região Sul do Brasil, por estar predominantemente sob o clima temperado subtropical, com chuvas distribuídas ao longo de todo o ano (AIVARES et al., 2013) apresenta condições edafoclimáticas que permitem a produção de pastagem praticamente todo o ano.

Um dos modelos de produção de pastagem bastante difundido na região Sul do País é a utilização de gramíneas de clima frio (espécies C<sub>3</sub>) para compor as pastagens de inverno, sendo o azevém anual (*Lolium multiflorum* L.) e a aveia preta (*Avena strigosa* Schreb.) as principais espécies de plantas utilizadas nessa época do ano e pastagens perenes de verão (C<sub>4</sub>) no período de clima quente (CASTRO et al., 2013). O azevém anual (*Lolium multiflorum* Lam.) é uma gramínea C<sub>3</sub>, nativa do sul da Europa e atualmente está distribuída em regiões de clima subtropical temperado e úmido, sendo muito utilizada em sistemas integrados no Sul do Brasil, em razão da possibilidade de reposição natural do banco de sementes, de sua capacidade de se desenvolver nas entrelinhas das culturas de soja ou milho, alto valor nutricional, alto potencial de produção e como cobertura do solo (BARTH et al., 2013).

Além disso, existe a possibilidade do uso combinado de gramíneas anuais de clima frio e gramíneas perenes de clima quente, isso porque durante o período outonal há uma redução no fotoperíodo e na temperatura, promovendo redução no crescimento de espécies de clima quente e conseqüentemente, possibilitando a introdução de espécies forrageiras no período de inverno (SBRISSIA et al., 2017).

Para tanto, sistemas integrados com a utilização de pastos mistos, onde há a combinação de espécies de leguminosas e gramíneas na mesma área ou espécies de clima quente e clima frio ao longo do ano, vem sendo difundido a fim de equilibrar e incrementar a oferta de forragem em ambientes pastoris. Além disso, as leguminosas têm a capacidade de incorporar nitrogênio no sistema a partir da fixação biológica de nitrogênio. No entanto, ainda assim existem períodos de transição entre as estações do ano, conhecidos como períodos de entressafra de forragem ou vazio forrageiro (SBRISSIA et al., 2017). Neste

sentido, o emprego de um maior número de espécies forrageiras é uma alternativa para amenizar esses períodos de vazio forrageiro devido as diferenças temporais de produção das espécies e a consequente maior eficiência no uso dos recursos.

Neste cenário, o nitrogênio tem importante papel no incremento da produção de pastagem pois, de maneira geral, as gramíneas apresentam resultados positivos à adição crescente de N aplicados ao solo (HERINGER; MOOJEN, 2002). Este cenário torna atrativa a aplicação de doses de N em pastos formados por gramíneas, pois estas plantas, em geral, possuem alta capacidade de resposta a adubação nitrogenada além do N ser frequentemente considerado um dos fatores limitantes mais importantes para a produção de biomassa em sistemas de cultivo de pastagens, no qual as práticas de fertilização com N podem fornecer um suprimento de N suficientemente capaz para que as plantas atinjam o rendimento potencial (LEMAIRE, 2008). Porém, aplicações de doses excessivas de N podem causar sérios prejuízos econômicos e ambientais, como o crescente aumento dos custos dos insumos agrícolas, intoxicação dos animais pelo acúmulo de nitrato nos tecidos vegetais e contaminação dos lençóis freáticos (JONCK et al., 2013). Diante dessas preocupações, a adoção de pastos com misturas de gramíneas e leguminosas é vista como uma alternativa viável (LUSCHER et al. 2014), uma vez que transferem ao sistema maior oferta de recursos aproveitáveis para as plantas em combinação.

O uso combinado de espécies como *Arachis pintoi*, *Pennisetum clandestinum*, *Cynodon* spp., *Lotus corniculatus* L. e *Trifolium repens* L em um ambiente pastoril é uma alternativa para se estabelecer ambientes pastoris biodiversos, os quais permitem estratégias diferentes de utilização de recursos e de produção de forragem. Neste contexto, considerando que o manejo do pastejo e a aplicação de adubação nitrogenada são os principais moduladores da estrutura do dossel, produção e composição botânica do pasto, nos parece razoável considerar um possível efeito do manejo de estação quente na dinâmica de crescimento da cultura sucessora, *Lolium multiflorum* L., em um ambiente pastoril.

Essa lógica nos permite fazer uma pressuposição de que o manejo de altura e a adubação nitrogenada adotados durante a estação quente sejam capazes de alterar a dinâmica de perfilhamento e aspectos morfogênicos do *L. multiflorum* durante a estação fria, o que deverá permitir identificar um possível “*legacy effect*” (efeito legado).

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 A IMPORTÂNCIA DE PASTOS BIODIVERSOS**



Os atuais sistemas de produção baseados em pastagens, geralmente carecem de consideráveis entradas de fertilizantes para manutenção de alta produtividade que, por sua vez, podem promover prejuízos em relação a poluição das águas subterrâneas (LEDGARD et al., 2009), emissões de gases de efeito estufa (SHCERBAK et al., 2014) e da sustentabilidade do sistema como um todo. Nesse sentido, um dos maiores desafios é alcançar patamares de produção animal elevados sem aumento no tamanho da área cultivada e sem o uso excessivo de fertilizantes minerais. Assim, cultivos mistos podem ser uma estratégia promissora para a intensificação sustentável dos sistemas produtivos, nos quais a inclusão de leguminosas é uma das alternativas para alcançar esse objetivo (CANFIELD et al., 2010) pois pode promover a substituição, mesmo que parcial, dos fertilizantes nitrogenados pela fixação biológica de nitrogênio (FBN), uma vez que o N é o nutriente mais limitante do crescimento das plantas (FUSTEC et al., 2010).

Luscher et al. (2014) sugeriram que misturas de gramíneas e leguminosas oferecem um grande potencial para o aumento da produção, alcançando vantagens mais pronunciadas em pastos com 30 a 50% de leguminosas, o que inclui aumento da produção de biomassa, fixação simbiótica de N<sub>2</sub> e incremento no valor nutritivo da forragem. Sendo assim, para alcançar pastagens altamente produtivas é imprescindível e altamente necessária a fertilização nitrogenada ou a FBN (CARVALHO et al., 2019). Segundo Carlsson e Huss-Danell (2003), a aquisição de nitrogênio por meio da (FBN) é um dos mecanismos mais importantes na produção de plantas forrageiras, reduzindo a necessidade de fertilizantes nitrogenados industriais. A associação simbiótica entre leguminosas e *Rhizobium* spp. permite fornecer quantidades potenciais de N às plantas e ao solo (VANACE, 1997), e estima-se que aproximadamente 16% do suprimento global de N é proveniente da fixação biológica de N<sub>2</sub> (LIU et al., 2010).

Assim sendo, a FBN torna-se uma ferramenta valiosa na obtenção de fontes de N para os ecossistemas naturais, bem como um fator crítico para o aumento da sustentabilidade em sistemas de produção agrícola com reduzida ou quase nula aplicação de fertilizantes nitrogenados sintéticos (CARLSSON e HUSS-DANELLE, 2003; Jensen et al. 2012). A taxa de fixação simbiótica de N<sub>2</sub> atmosférico proveniente da participação da leguminosa pode variar de 100 a 380 kg N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> em pastagens nas regiões de clima temperado sendo que essa variação ocorre em função de diversos fatores, como espécies e proporção de leguminosas no sistema, condições ambientais e práticas de manejo de pastagens (HANSEN e VINTHER, 2001; LEDGARD e STEELE 1992; NYFELER et al., 2011).

## 2.2 ESPÉCIES DE PLANTAS FORRAGEIRAS PASSÍVEIS DE USO EM ASSOCIAÇÕES

O trevo branco (*Trifolium repens* L.) tem uma forte afinidade pela bactéria *Rhizobium leguminosarum* bv. *trifolii*, a qual coloniza as raízes do trevo branco formando uma associação planta-microrganismos, e essa simbiose pode resultar na fixação de mais de 200 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de N disponível para plantas (CARLSSON e HUSS-DANELL, 2003; LEDGARD, 2001). Segundo os estudos de Burchill et al. (2014), o aporte de N resultou em maiores produções de matéria seca da forragem, no entanto, a FBN anual de pastagens perenes consorciadas de azevém e trevo branco obtiveram médias de 80, 64, 66 e 47 kg ha<sup>-1</sup> N em doses de 0, 86, 140 e 280 kg ha<sup>-1</sup> N, respectivamente, sendo assim, a FBN diminuiu com o aumento do incremento de fertilizantes nitrogenados, reduzindo 20, 17 e 41%, respectivamente.

Rasmussen et al. (2007) encontraram até 40% do teor de N em gramíneas (*Lolium perenne* L.) derivado do trevo branco (*Trifolium repens* L.) em pastagens multiespecíficas na Dinamarca. Resíduos de trevo branco apresentaram altas taxas de mineralização após sua incorporação na matriz do solo (NEERGARD et al., 2002) o que pode aumentar as taxas de N disponível para uma cultura em sucessão. Também fora verificado que a inclusão de trevo branco em pastos de *Lolium perenne* L. aumentou as taxas de crescimento da pastagem, promoveu a manutenção de um alto valor nutritivo e aumentou a ingestão de MS dos animais ao longo da estação de pastejo (GUY et al., 2018).

O amendoim forrageiro (*Arachis pintoi*) é uma leguminosa tropical estolonífera perene, com sistema radicular profundo e denso (FISHER e CRUZ, 1994), amplamente utilizada em condições de pastejo nas regiões tropicais. Estudos conduzidos por Rose et al., (2019) indicam que o amendoim forrageiro quando cultivado nas entrelinhas das plantas de café (*Coffea arabica* L.) para cobertura de solo chegou a fixar 146 kg N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, além de resultar em taxas menores de emissão de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O). Essas descobertas demonstram que o cultivo de leguminosas para cobertura de solo podem ser colocadas de forma integrada às plantações de café para suprir parte do uso de fertilizantes nitrogenados (ROSE et al., 2019). Um estudo conduzido no oeste de Quênia nos anos de 2008 e 2009, demonstrou que a fixação de nitrogênio de *A. pintoi* variou de 23 a 46 kg N ha<sup>-1</sup> correlacionando-se com a produção de matéria seca (NGOME e MTEI, 2010). Esses resultados comprovam a necessidade de mais estudos de longo prazo a fim de abordar questões de como a leguminosa pode ser incorporada em sistemas de pastejo.

No entanto, ainda existem grandes incertezas nas estimativas de fixação de N<sub>2</sub> de leguminosas em sistemas de pastagens, embora componha uma fração considerável das entradas de N no sistema (ANGLADE et al., 2015). Alguns estudos mostram que as quantidades de N fixadas da atmosfera variaram de 373 kg N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> no trevo vermelho (*Trifolium pratense* L.) a 545 kg N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> em trevo branco (*Trifolium repens* L.). Também relataram que várias espécies de leguminosas chegaram a produzir de 139 kg N ha<sup>-1</sup> até 545 kg N ha<sup>-1</sup>. Quando as leguminosas foram cultivadas com gramíneas, as leguminosas fixaram mais de 80% de seu N total, independentemente do manejo, produção de matéria seca (CARLSSON e HUSS-DANELL, 2003).

O aumento na diversidade de espécies forrageiras em pastagens oferece maior disponibilidade de forragem, melhora das características nutricionais da forragem e consequente aumento da produção de leite por animal, além de mitigar algumas consequências ambientais quando comparadas aos sistemas intensivos (PEMBLETON et al., 2015), que são causas de preocupação ambiental consideráveis em relação à poluição das águas subterrâneas (LEDGARD et al., 2009) e emissões de gases de efeito estufa (SHCERBAK et al., 2014).

Saleem et al. (2019) sugeriram que as misturas de gramíneas e leguminosas melhoram a produtividade dos animais e das pastagens, além de melhorarem a sustentabilidade e a fixação de nitrogênio atmosférico, contribuindo para o estado de N no solo. A luz dessas preocupações, uma alternativa viável seria a adoção de pastagens mistas de gramíneas e leguminosas (LUSCHER et al. 2014). No entanto, ainda existem poucas informações sobre a contribuição potencial de diferentes espécies de leguminosas forrageiras na nutrição de N de espécies de plantas vizinhas em pastagens mistas de gramíneas e leguminosas, com mais de três espécies de plantas diferentes num mesmo espaço. O período de transição entre a pastagem perene de verão para pastagem de gramíneas anuais de inverno é normalmente um período de baixa disponibilidade de forragem e requer práticas de manejo que maximizem a produção no início da temporada (VENUTO et al., 2004).

O azevém anual (*Lolium multiflorum* L.) é uma das culturas forrageiras mais importantes de estação fria e mais cultivada em regiões com predominância de clima temperado devido à sua alta produtividade, aceitabilidade e digestibilidade (TAKAHASHI et al. 2014). Possui hábito de crescimento ereto e tem a capacidade de retornar nas áreas por meio de ressemeadura natural, além de apresentar alta eficiência no uso de nitrogênio e alta capacidade de perfilhamento (LOPES et al., 2009), além de apresentar uma fácil

adaptação a uma ampla variedade de tipos de solo (EVERS et al., 1997). Geralmente, o início do estabelecimento do azevém anual se dá no outono e é frequentemente sobressemeado em áreas com pastagens perenes de estação quente, próximo do final da estação de crescimento (EVERS, 1995).

O capim-quicuiu (*Pennisetum clandestinum*) é uma gramínea perene estival (planta C<sub>4</sub>), adaptada para regiões com clima do tipo Cfb, com verões amenos (GARCÍA et al., 2014), apresentando produções de forragem concentrada entre os meses de dezembro a maio (SBRISSIA et al., 2018), uma vez que o crescimento é paralisado em função das baixas temperaturas no final do outono e a ocorrência de geadas secam a parte aérea, rebrotando somente no final da primavera, com o aumento da temperatura. Planta estolonífera e rizomatosa que apresenta colmos curtos (HANNA et al., 2004) de onde podem ser emitidas novas raízes a partir de cada nó. Bem adaptado à solos férteis e drenados, o capim-quicuiu apresenta rápida resposta à adubação, principalmente à adubação nitrogenada (MARAIS, 1990, 2001), o que confere a ele uma boa produção de matéria seca. Enquanto Swanepoel et al. (2014) encontraram produção de 21 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> com aplicação de 380 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de N aplicados em doses mensais igualmente distribuídas ao longo do ano, Botha, Meeske e Snyman, (2008) tiveram produções de aproximadamente 14 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> com aplicação de 600 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de N aplicados em 10 doses anuais.

Em relação as gramíneas do gênero *Cynodon*, mais especificamente o tifton 85, possui hábito de crescimento prostrado e está entre as principais forrageiras de estação quente do mundo (WU, 2011). O tifton 85 é considerado uma das melhores hibridizações, é altamente produtivo (>20 ton MS ano<sup>-1</sup>) (VARELLA et al., 2009), responsivo a fertilidade do solo e a adubação nitrogenada e requer um pH de solo mínimo 5,5 (FONTANELLI et al., 2012). Em relação ao manejo, Mezzalira et al. (2014) recomendam uma altura de entrada de 20 cm, altura de manejo que proporciona uma estrutura que combina alto valor nutritivo, alta produção de MS e um pastejo eficiente dos animais. É um híbrido interespecífico (*Cynodon* spp.) selecionado do cruzamento entre uma grama bermuda (*Cynodon dactylon*) do sul da África e o capim bermuda cultivar ‘Tifton 68’ (*Cynodon nlemfuensis*). O Tifton 85 destacou-se nos Estados Unidos e posteriormente no Brasil por sua alta produção de matéria seca e teor de proteína bruta, chegando a produzir 14 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de MS e 15,2% PB em experimentos de corte (ALVIM et al., 1997), além de altas taxas de acúmulo de forragem, valor nutritivo, digestibilidade, desempenho animal e capacidade de suporte (CARNEVALLI, 1999).

## 2.3 TRANSFERÊNCIA DE NITROGÊNIO ENTRE ESPÉCIES GRAMÍNEAS E LEGUMINOSAS ASSOCIADAS

Diversos estudos mostram que ocorre transferência de N entre diferentes espécies de leguminosas quando presentes em cultivos mistos, embora numa taxa mais baixa quando comparado com leguminosa para não leguminosa (PIRHOFER-WALZL et al., 2012). Sabendo disso, o cultivo de pastagens mistas a partir do consórcio de gramíneas e leguminosas forrageiras têm atraído cada vez mais atenção de pesquisadores e produtores (SMIDT e BRIMER 2005). O aumento do número de espécies forrageiras e a complementaridade entre as diferentes espécies de plantas, quando cultivadas em mistura, podem conferir incrementos em produtividade (TILMAN et al., 2002) quando as espécies são bem adaptadas às condições locais (TRACY e SANDERSON, 2004).

Rasmussen et al. (2012) e Fox et al. (2020) quantificaram a transferência de nitrogênio fixado pelas plantas leguminosas para espécies de gramíneas e sucessoras. Após estes estudos, os autores comprovaram que a proporção de leguminosas de uma pastagem mista manejada sustentou a resposta em produção de biomassa e rendimento de nitrogênio de uma cultura sucessora, com proporções inferiores a 50% de leguminosas na mistura.

Com o aumento da inquietação mundial com questões de aquecimento global, degradação ambiental e redução dos recursos naturais reavivou-se o interesse no uso de leguminosas para dispendir fontes de N em pastagens, com evidências de transferências significativas de N para as gramíneas, melhorando a economia e o equilíbrio de N dos solos (PEOPLES et al., 1995). Essas alterações impulsionadas por leguminosas beneficiam as plantas não leguminosas em uma pastagem mista, pois há um significativo potencial de transferência de N abaixo do solo (HOGH-JENSEN e SCHJOERRING 1997; OBERSON et al., 2013), por meio da decomposição das raízes das leguminosas e de exsudatos das raízes (FUSTEC et al., 2010; HAMMERLEHLE et al., 2018). Resíduos de leguminosas são reconhecidos pelo alto teor de N e baixa relação C/N, sendo assim, induz a mineralização e, por conseguinte, aumentando a disponibilidade de N do solo para a cultura seguinte (SIELING, 2019).

Pirhofer-Walzl et al. (2011) marcaram folhas de leguminosas com ureia enriquecida com  $^{15}\text{N}$  durante a estação de crescimento para quantificarem a transferência de N de três espécies de leguminosas: trevo branco (*Trifolium repens* L.), trevo vermelho (*Trifolium pratense* L.) e alfafa (*Medicago sativa* L.) para as gramíneas em pastagens multiespécies. As três leguminosas transferiram aproximadamente 40 kg N ha<sup>-1</sup> para as plantas vizinhas,

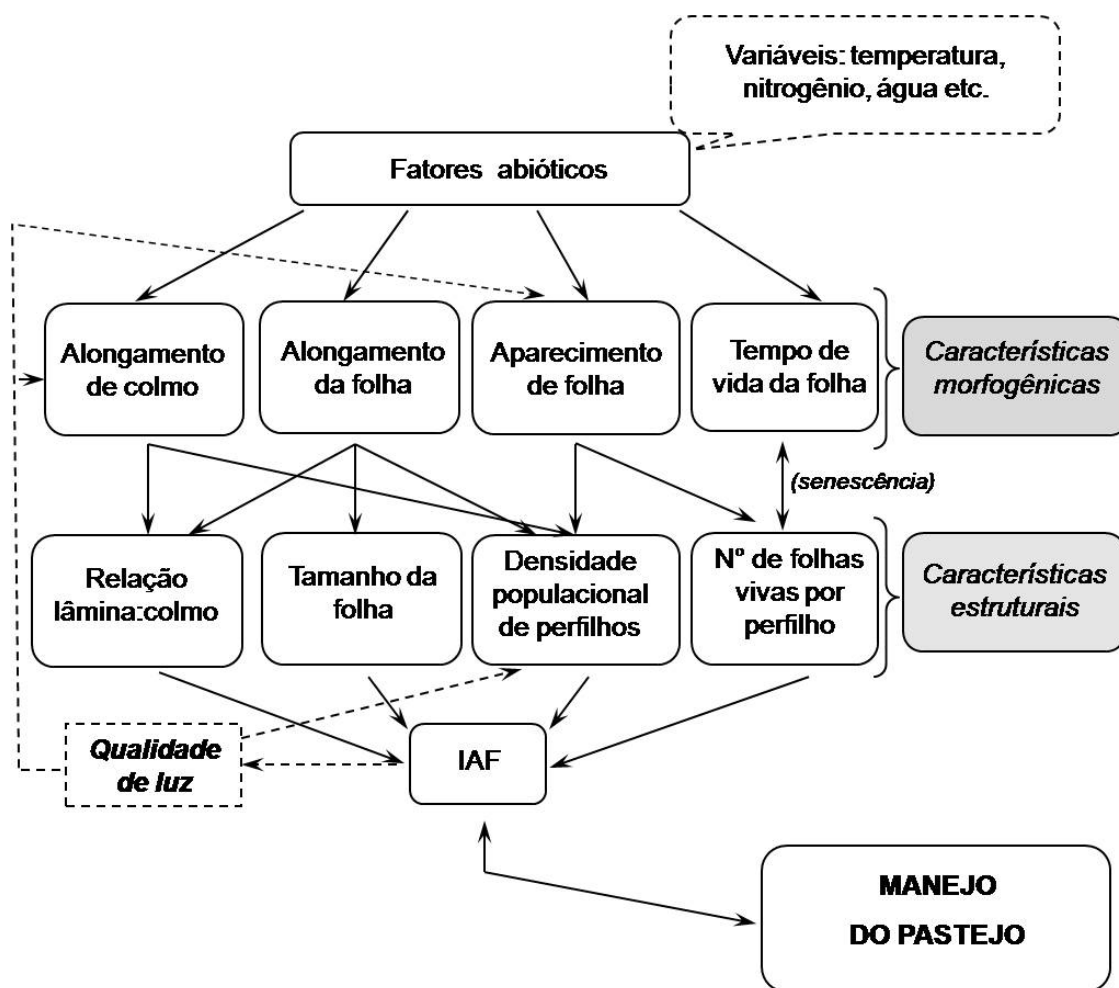
durante a estação de crescimento. Isso demonstra que as leguminosas podem contribuir positivamente para a nutrição de N de plantas vizinhas num sistema biodiverso.

Inúmeros benefícios podem estar relacionados a diversidade de plantas em pastagens quando comparadas com monoculturas manejadas intensivamente, como o aumento da produção de biomassa, complementariedade de exploração de nicho, vantagem na produção de N e supressão de plantas daninhas (CONNOLLY et al., 2018; FINN et al. 2013; SUTER et al., 2015). Nesse sentido, Tilman, Polasky e Lehman (2005) ao desenvolverem modelos matemáticos que avaliassem a competição entre espécies de plantas por recursos, preconizam que não existe nenhum sistema constituído de uma única espécie que seja tão produtiva quando aos sistemas constituídos de duas ou mais espécies. Inúmeros artigos relatam que a diversidade de plantas em pastagens e especialmente a inclusão de leguminosas levam a maiores benefícios agrônômicos, ambientais ou econômicos nas rotações de culturas (HEGEWALD et al., 2018) e assim pode aumentar o rendimento de uma cultura sucessora através do aumento da biomassa subterrânea e da atividade microbiana, aumentando a matéria orgânica e o nitrogênio disponível para a cultura em sucessão (EISENHAUER et al., 2017).

#### 2.4 CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS E ESTRUTURAIS DOS PERFILHOS

A morfogênese vegetal pode ser definida como a dinâmica de geração e expansão da forma da planta no espaço (CHAPMAN; LEMAIRE, 1993). De acordo com Lemaire e Chapman (1996), a morfogênese é o um mecanismo que está comprometido no crescimento e desenvolvimento das estruturas dos perfilhos, podendo ser descrita por meio de três características principais: taxa de aparecimento de folhas (TAF), taxa de expansão foliar (TEF) e duração de vida das folhas (DVF). Do mesmo modo, combinações dessas variáveis morfogênicas determinam as três principais características estruturais do dossel de uma população de plantas: tamanho de folha, densidade de perfilhos (DPP) e número de folhas vivas (NFV) por perfilho e dessa forma, é responsável pela formação e modificação da estrutura do dossel (Figura 1).

Figura 1 - Modelo conceitual das relações entre as características morfogênicas e estruturais das plantas forrageiras e a formação do IAF dos pastos (adaptado de CHAPMAN & LEMAIRE 1993, CRUZ & BOVAL 2000 por SBRISSIA & DA SILVA, 2001).



Essas características morfológicas e estruturais descrevem a dinâmica do fluxo de tecidos vegetais, caracterizada pelos processos de crescimento e senescência dos tecidos, além de determinarem a captação de luz pelo dossel da comunidade vegetal, ou seja, definem o Índice de Área Foliar (Figura 1). Nesse cenário, o estudo das características de cada espécie em um consórcio, permite uma melhor compreensão das interações e da dinâmica do acúmulo do pasto, a fim de determinar as melhores estratégias de manejo que resultem em um melhor equilíbrio na composição botânica da mistura e maior estabilidade produtiva. Como observado na figura 1, as gramíneas forrageiras possuem estratégias de crescimento e ocupação do espaço bem diversificadas, sendo que a TAF é a característica ímpar na determinação da estrutura do dossel. Além de características intrínsecas às espécies, o manejo do pastejo também influencia a estrutura do pasto.

## 2.5 EFEITO LEGADO (*Legacy effect*)

Em pastagens consorciadas, onde há a introdução de pastagens temporárias ou transitórias durante os ciclos de cultivo, tornam-se benéficas para a funcionalidade dos sistemas pastoris. No entanto, ainda existem incongruências a respeito do correto manejo dessas pastagens sobre o desenvolvimento de espécies implantadas de forma subsequente por meio de um evento conhecido por “*legacy effect*”, ou seja, mudanças observadas que perduram mais de três anos da implantação de pastagens biodiversas. (CRÈME et al., 2018). Ainda segundo Crème et al. (2018), o “*legacy effect*” de pastagens temporárias vai depender do seu manejo, podendo resultar em elevadas concentrações de carbono do solo através do manejo específico em termos de fertilização e tempo de permanência, com fortes efeitos de legado relacionados à fertilização nitrogenada para preservar concentrações adequadas de matéria orgânica no solo.

Neste sentido, Barel et al. (2018) estudaram como a diversidade de plantas no espaço e no tempo e concentrações de nitrogênio e biomassa das plantas restituídas ao solo, estimulam a produtividade e influenciam no crescimento da cultura subsequente, e como o efeito legado de espécies de plantas e misturas de espécies podem ser empregados para favorecer o manejo sustentável dos agroecossistemas por meio das interações planta-solo. Nos sistemas consorciados, Fox et al. (2019) observaram uma promoção de crescimento impulsionada pelo efeito legado de leguminosas sobre uma cultura seguinte de *L. multiflorum* L., e um aumento superior a 130% no *pool* de N disponível para a safra seguinte. O efeito legado associado a maior absorção de N do solo pela cultura seguinte elucidada como os efeitos induzidos pelas leguminosas são assegurados em pastos mistos.

### **3. HIPÓTESES**

O manejo da altura do pasto e doses de nitrogênio empregados no período do verão alteram os padrões de dinâmica de crescimento e perfilhamento do azevém anual (*Lolium multiflorum* L.) cultivado no período do inverno subsequente.

### **4. OBJETIVOS**

#### **4.1 GERAL**

Definir estratégias de manejo em pastagens biodiversas compostas por *Cynodon* spp., *Pennisetum clandestinum*, *Trifolium repens* L., *Lotus corniculatus* L. e *Arachis pintoi*



durante a estação quente que maximizem a dinâmica de crescimento e perfilhamento do azevém anual (*Lolium multiflorum* L.) na estação fria subsequente.

## 5 MATERIAL E MÉTODOS

### 5.1 Local e implantação da área experimental

O experimento foi conduzido no Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina (CAV-UDESC), localizado no município de Lages, SC (27°48'58" Sul e 50° 19'34" Oeste), com altitude de 910 metros do nível do mar. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é o do tipo Cfb (subtropical úmido com verões amenos, inverno frio e chuvas bem distribuídas ao longo do ano) (Alvares et al., 2013) e precipitação anual média em torno de 1442 mm anuais.

O solo da área experimental está classificado como um Cambissolo húmico alumínico léptico, argisolo com horizonte A moderado (Embrapa, 2013). A área experimental compreende uma extensão de 5670 m<sup>2</sup>, a qual foi dividida em 18 unidades experimentais (piquetes), com área de 315 m<sup>2</sup>. A área é formada por uma pastagem diversa composta de *Arachis pintoii*, *Pennisetum clandestinum*, *Cynodon* spp., *Lolium multiflorum* L., *Lotus corniculatus* L. e *Trifolium repens* L. A área foi manejada com pastejo intermitente até meados de maio, momento em que todos os piquetes foram rebaixados a altura de 10 cm e na sequência realizou-se a sobressemeadura em sistema de plantio direto da espécie *Lolium multiflorum* L. cv. La Estanzuela 284 com densidade de 25 kg de semente ha<sup>-1</sup>, com espaçamento entre linhas de 0,17 cm.

As principais variáveis climáticas de precipitação e temperatura durante o ano experimental (2020) estão apresentadas na tabela 1.

Tabela 1 – Médias mensais das variáveis climáticas durante o ano experimental (2020) em relação às médias históricas de precipitação e temperatura em Lages, Santa Catarina, Brasil.

| Variáveis Climáticas | Jan. | Fev. | Mar. | Abr. | Mai. | Jun. | Jul. | Ag.  | Set. | Out. | Nov. | Dez. |
|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                      | 2020 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Temp. (°C)           | 21,1 | 19,9 | 19,9 | 15,8 | 13,3 | 13,6 | 11,0 | 13,0 | 15,7 | 17,5 | 19,5 | 19,5 |
| Prec. (mm)           | 53   | 142  | 2    | 2    | 24   | 136  | 126  | 144  | 122  | 33   | 167  | 167  |
| Médias históricas*   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Temp. (°C)           | 20,4 | 20,2 | 19,1 | 16,3 | 13,3 | 11,4 | 11,0 | 12,2 | 13,5 | 15,6 | 17,4 | 19,3 |

Prec. (mm) 157 145 116 104 107 107 113 121 147 173 123 131

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

\*Médias dos anos de 1948 a 2015.

## 5.2 Delineamento experimental, tratamentos e manejo

O experimento foi realizado seguindo um delineamento de blocos casualizados (DBC), em arranjo fatorial 2 x 3, com três repetições por tratamento. Um dos fatores foi a altura de manejo do dossel forrageiro (17 e 23 cm) e o segundo foi a quantidade de nitrogênio aplicada no verão (50, 150, 250 kg de N ha<sup>-1</sup>). Os tratamentos foram empregados no período do verão (novembro de 2019 a maio de 2020) em pastos biodiversos e seus efeitos avaliados no inverno em pastos de azevém. Os tratamentos empregados nos pastos de verão foram as alturas de pré-pastejo citadas anteriormente associadas as doses de 50, 150 e 250 kg de N ha<sup>-1</sup>, e na estação fria (junho a outubro) foi empregado um único manejo de 20 cm de altura associado a adubação com 50 kg de N ha<sup>-1</sup> aplicados em todos os tratamentos no início do perfilhamento do azevém anual (*Lolium multiflorum* L.). No entanto, os tratamentos experimentais foram aplicados apenas durante a estação quente do experimento para poder avaliar um possível “*legacy effect*” sobre a pastagem de inverno.

Portanto, durante todo o período de avaliação, adotou-se o método de pastejo intermitente, no qual, a alocação dos animais deu-se quando a altura média da unidade experimental alcançou a altura definida, 17 ou 23 cm, e persistiu até o momento em que a altura de resíduo alcançou 60% da altura de entrada, 10 e 14 cm, respectivamente, ou seja, remoção de 40% da altura pré-pastejo. As alturas de 17 e 23 cm foi definida a partir do trabalho de Sbrissia et al (2018) que mostraram similitude no potencial de produção de capim-qucuiu (uma das gramíneas presentes no pasto de verão) em uma faixa de 15 a 25 cm. A mesma diretriz de pastejo foi conduzida na estação fria com o azevém anual, com altura pré-pastejo de 20 cm e pós pastejo de 12 cm. A meta de manejo do azevém anual foi definida a partir do trabalho de Santos et al., (2016) que demonstrou que essa planta apresenta um rápido alongamento de colmo a partir dessa altura. A altura pré e pós-pastejo foram mensuradas a partir da leitura de 30 pontos medidos aleatoriamente em toda a extensão da unidade experimental com o auxílio de uma régua graduada. Dessa forma, o experimento apresentou um total de 18 unidades experimentais ou parcelas (3 blocos x 6 unidades experimentais por bloco). O período experimental teve início 17/06/2020 e terminou em meados do mês de novembro (15/11/2020), totalizando aproximadamente 168 dias.

### 5.3 Variáveis medidas e calculadas

#### 5.3.1 Morfogênese e dinâmica do acúmulo de massa seca do azevém anual

Com o objetivo de se avaliar as características morfogênicas e a dinâmica do acúmulo de massa seca de forragem (taxas de crescimento e senescência), foram marcados 20 perfilhos do azevém anual no pós pastejo, com início no dia 15 de julho de 2020 conforme alcançasse a altura de pastejo, em todas as unidades experimentais e ao longo de todo o período experimental, conforme visualizado na tabela 3 (GRANT e MARRIOT, 1994). A marcação dos perfilhos deu-se com o auxílio de estacas com fitas coloridas para facilitar sua localização, as quais eram alocadas no centro da unidade experimental, denominadas de réguas transectas (Figura 2).

Foram colocadas duas réguas transectas por unidade experimental a fim de que fossem representativos da condição do relvado e apresentassem a altura média do tratamento. Para cada régua foram selecionados 10 perfilhos (Figura 3), espaçados de 5 centímetros aproximadamente, e identificados por meio de anel plástico enumerado. Dessa forma, foram selecionados 20 perfilhos por unidade experimental, o que totalizou 120 perfilhos marcados por tratamento e 360 perfilhos totais avaliados. A cada ciclo de coleta de dados ou mais propriamente dito no pré-pastejo dos animais, de no máximo quatro semanas dependendo da unidade experimental e seus respectivos tratamentos, um novo grupo de perfilhos era selecionado para avaliação.



Figura 2: Estacas para localização das réguas transectas



Figura 3: Detalhe da marcação dos perfilhos

### 5.3.2 Medições realizadas nos perfilhos

Em intervalos de tempo que variaram em função da época do ano e por unidade experimental conforme o tratamento aplicado (Tabela 2) foram anotadas diversas informações de cada um dos perfilhos selecionados. Nessas ocasiões, os perfilhos passaram pelas seguintes avaliações: (a) medição do comprimento estendido (cm); (b) classificação como “intacto” ou “desfolhado” e (c) contagem do número de folhas. Cada uma das folhas desses perfilhos também foi avaliada com relação às seguintes características: (a) comprimento do limbo foliar; (b) classificada como intacta ou desfolhada e (c) classificada como folha em expansão, expandida, senescente ou morta. As folhas e perfilhos eram considerados desfolhados quando parte deles estivesse cortada/decapitada/pastejada. As folhas foram classificadas como em expansão quando suas lígulas não estavam expostas; expandidas quando a lígula estivesse visível e/ou seu crescimento cessasse; senescentes quando parte do limbo foliar apresentasse sinais de senescência; e mortas quando mais de 50% do limbo foliar estivesse comprometido pela senescência.

Tabela 2 - Período de avaliação de fluxo de tecidos (datas de início e término das avaliações), número de ciclos avaliativos e número total de avaliações em

pastos de azevém anual submetidos a diferentes manejos de altura e doses de nitrogênio.

| Tratamento    | Repetição | Datas      |            | Ciclos | Avaliações |
|---------------|-----------|------------|------------|--------|------------|
|               |           | Início     | Término    |        |            |
| 23 cm - 50 N  | 1         | 18/08/2020 | 29/09/2020 | 2      | 12         |
| 17 cm - 50 N  | 1         | 18/08/2020 | 29/09/2020 | 2      | 12         |
| 23 cm - 250 N | 1         | 13/08/2020 | 04/10/2020 | 3      | 15         |
| 17 cm - 250 N | 1         | 18/08/2020 | 05/10/2020 | 3      | 14         |
| 23 cm - 150 N | 1         | 17/08/2020 | 04/10/2020 | 3      | 14         |
| 17 cm - 150 N | 1         | 17/08/2020 | 04/10/2020 | 3      | 14         |
| 17 cm - 150 N | 2         | 05/08/2020 | 30/09/2020 | 3      | 16         |
| 17 cm - 50 N  | 2         | 04/08/2020 | 07/10/2020 | 4      | 18         |
| 17 cm - 250 N | 2         | 03/08/2020 | 03/10/2020 | 4      | 18         |
| 23 cm - 50 N  | 2         | 05/08/2020 | 04/10/2020 | 3      | 17         |
| 23 cm - 250 N | 2         | 15/08/2020 | 03/10/2020 | 3      | 14         |
| 23 cm - 150 N | 2         | 15/08/2020 | 07/10/2020 | 3      | 15         |
| 23 cm - 250 N | 3         | 14/08/2020 | 29/09/2020 | 3      | 14         |
| 23 cm - 50 N  | 3         | 11/08/2020 | 30/09/2020 | 3      | 15         |
| 17 cm - 150 N | 3         | 01/08/2020 | 26/09/2020 | 3      | 16         |
| 17 cm - 50 N  | 3         | 31/07/2020 | 26/09/2020 | 3      | 16         |
| 23 cm - 150 N | 3         | 24/07/2020 | 01/10/2020 | 4      | 19         |
| 17 cm - 250 N | 3         | 15/07/2020 | 30/09/2020 | 4      | 21         |

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

A variável comprimento das folhas foi medido de acordo com o estágio de desenvolvimento. Para as folhas expandidas, mediu-se o comprimento da ponta da folha até sua lígula. No caso de folhas em expansão, o mesmo procedimento foi adotado, no entanto, considerando-se a lígula da última folha expandida como referencial para medição. Para as folhas em estágio de senescência, considerou-se o ponto até onde o processo de senescência (amarelecimento e enegrecimento) havia avançado na parte verde da lâmina foliar. O comprimento do colmo (colmo + pseudocolmo) foi considerado como sendo a distância do solo ou também, do ponto de inserção dos colmos, no caso de perfilhos aéreos, até a lígula da última folha completamente expandida.

### 5.3.2.1 Quantificação das variáveis

Durante a fase experimental, foram avaliados aspectos relativos à morfogênese das plantas (taxa de alongamento, taxa de aparecimento, filocrono, senescência e longevidade

de folhas) e dinâmica do crescimento do azevém anual (taxas aparecimento, taxas de mortalidade, taxas de sobrevivência, índice de estabilidade linear e exponencial).

#### **5.3.2.1.1 Taxa de aparecimento de folhas (TAF)**

A taxa de aparecimento de folhas (TAF) indica o número de folhas que aparece por perfilho por unidade de tempo. A TAF também pode ser calculada com base na somatória calórica expressa em graus-dia (GD) (Ometto, 1981) e em unidade fototérmicas (UF) conforme equação desenvolvida por Villa Nova et al., (1983). Dessa forma, a TAF foi calculada conforme a eq. (1):

$$\text{TAF} = \text{n}^\circ \text{ de novas folhas} / \text{n}^\circ \text{ de perfilhos} \times \text{duração da avaliação (dias)} \quad (1)$$

#### **5.3.2.1.2 Taxas de alongamento e senescência de folhas (TSF)**

Com a coleta dos dados da dinâmica de crescimento do azevém anual foi possível calcular as seguintes variáveis: (a) taxa de alongamento foliar (cm/perfilho/dia), sendo o aumento no comprimento da lâmina foliar entre as avaliações consecutivas; (b) taxa de alongamento de colmo (cm/perfilho/dia), sendo o aumento no comprimento do colmo entre as avaliações consecutivas; e (c) taxa de senescência foliar (cm/perfilho/dia), como sendo a variação negativa entre medidas sucessivas no comprimento da lâmina foliar, favorecida pelo processo de senescência.

#### **5.3.2.1.3 Filocrono e longevidade das folhas (LF)**

O filocrono corresponde ao inverso da taxa de aparecimento de folhas (TAF) ou o intervalo entre o aparecimento de duas folhas consecutivas; foi estimado em dias e seus valores foram calculados com base na eq. (2).

$$\text{FILOCRONO} = 1 / \text{TAF} \quad (2)$$

A duração de vida das folhas ou longevidade das folhas (LF) foi calculada em dias, considerando-se o intervalo de tempo em dias decorrido desde seu aparecimento até sua



morte, respectivamente. A longevidade das folhas derivou da eq. (3) e foi calculada como produto entre o número de folhas vivas por perfilho e o filocrono.

$$LF = \text{Número de folhas vivas (NFV)} \times \text{filocrono (em dias e GD)} \quad (3)$$

### 5.3.3 Demografia do perfilhamento do azevém anual

Para a avaliação da demografia populacional de perfilhos foram utilizados três anéis de PVC de 15 cm de diâmetro por unidade experimental (área de 0,01767 m<sup>2</sup>), fixados ao solo por meio de grampos metálicos antes do primeiro pastejo e alocados em pontos representativos de cada unidade experimental (Figura 4).



Figura 4: Detalhe do anel de PVC usado na marcação dos perfilhos



Figura 5: Perfilhos marcados no interior do anel de PVC.

As avaliações foram realizadas a cada 21 dias aproximadamente, quando eram contados todos os perfilhos presentes na área interna do anel de PVC. No primeiro dia de avaliação realizada em 17/06/2020, todos os perfilhos presentes no interior do anel foram marcados com uma cor, denominados de “geração zero”. No mês seguinte, no segundo dia de avaliação (08/07/2020), foram contabilizados todos os perfilhos que se mantiveram vivos nesse período (perfilhos sobreviventes) e marcados com cor diferente os novos perfilhos que surgiram entre as duas gerações, denominados de 1ª geração (G1). Após 21 dias (29/07/2020), os perfilhos já existentes nos anéis oriundos da G0 e G1 foram contados (somente os vivos) e os novos (que apareceram entre os períodos de amostragem) foram marcados com uma cor diferente. Estes foram então denominados como 2ª geração (G2) e assim sucessivamente a cada amostragem (Tabela 3).

Dessa forma, os perfilhos pertencentes a todas as gerações avaliadas eram sempre recontados a cada nova avaliação e os novos perfilhos marcados com uma nova cor, originando uma nova geração (Figuras 4 e 5). O tempo gasto para cada avaliação foi de no máximo dois dias e o intervalo médio entre avaliações de vinte e um dias. Essas avaliações se seguiram durante os meses de junho a outubro. As marcações contaram com diferentes



cores para identificar perfilhos pertencentes às diferentes gerações. Com base nos dados oriundos da população de perfilhos, foi possível elaborar os gráficos demográficos bem como calcular a taxa de aparecimento, mortalidade e sobrevivência de perfilhos. Além disso, pôde ser calculado o índice de estabilidade populacional do pasto, descrito no item 5.3.3.3.

Tabela 3 - Datas das avaliações, geração e cor das marcações da demografia de perfilhamento.

| Mês do ano | Demografia do perfilhamento | Geração   | Cor da marcação |
|------------|-----------------------------|-----------|-----------------|
| Junho      | 17/06/2020                  | Geração 0 | Laranja         |
| Julho      | 08/07/2020                  | Geração 1 | Vermelho        |
| Julho      | 29/07/2020                  | Geração 2 | Verde           |
| Agosto     | 24/08/2020                  | Geração 3 | Rosa            |
| Setembro   | 14/09/2020                  | Geração 4 | Branco          |
| Outubro    | 06/10/2020                  | Geração 5 | Transparente    |
| Outubro    | 26/10/2020                  |           |                 |

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

### 5.3.3.1 Densidade populacional de perfilhos (DPP)

As avaliações foram realizadas a cada estação (inverno e primavera) durante todo o período experimental (maio a outubro), sendo que as estimativas de densidade populacional de perfilhos foram obtidos independentemente das amostras de demografia do perfilhamento, devido a reduzida área do anel (0,01767 m<sup>2</sup>) e para evitar que a manipulação periódica realizada nos anéis interferisse na estimativa final da densidade populacional.

Para estimativa da densidade populacional de perfilhos (DPP), foram coletadas três amostras de massa de forragem por unidade experimental, coletadas em pontos representativos da condição média de cada tratamento, a fim de englobar a grande heterogeneidade da unidade experimental. Toda a massa de forragem contida em um quadrado medindo 0,5 m<sup>2</sup> de área (1,0 x 0,5m) foi cortada à nível do solo, armazenada em sacos plásticos identificados e levados ao laboratório, onde foi realizada a separação

botânica das espécies e a contagem de perfilhos de azevém. A DPP da amostra foi transformada, então, para número de perfilhos.m<sup>-2</sup>.

### 5.3.3.2 Taxas de aparecimento, sobrevivência e mortalidade de perfilhos

Foram obtidas as taxas de aparecimento de perfilhos, as quais foram alcançadas a partir da contagem dos novos perfilhos surgidos entre duas amostragens sucessivas em cada mês de avaliação (intervalo de 21 dias), os quais eram marcados com um anel de cor diferente das já existentes, diferenciando assim as novas gerações de perfilhos surgidos. A partir disso, determinava-se a representatividade percentual destes perfilhos no total de perfilhos já existentes na amostragem anterior. As taxas de sobrevivência de cada geração de perfilhos foram obtidas a partir da diferença entre a população existente num dado mês de avaliação e a população existente no mês anterior, sendo os valores estimados em porcentagem. Por fim, as taxas de mortalidade foram estimadas a partir das taxas de sobrevivência, as quais foram subtraídas de 100.

### 5.3.3.3 Índice de estabilidade linear (IE Lin) e índice de estabilidade exponencial (IE Exp)

Com o objetivo de analisar os efeitos conjuntos das taxas de aparecimento e sobrevivência de perfilhos na população do pasto, foram gerados diagramas sazonais de estabilidade. Essa técnica foi proposta por Sackville-Hamilton e colaboradores e utilizada parcialmente pela primeira vez por Bahmani et al. (2003) com azevém perene.

As taxas de aparecimento e mortalidade de perfilhos foram adaptadas de forma a gerar diagramas sazonais de estabilidade do pasto, primeiramente propostos para azevém perene (*Lolium perenne* L.) (Bahmani et al., 2003). O índice de estabilidade do pasto (IEP) foi calculado pela equação:  $Pf/Pi = TSP (1 + TAP)$ , em que:  $Pf/Pi = IEP$ , expresso como a proporção da população de perfilhos final (Pf) e inicial (Pi), em um determinado período de avaliação (dias), caracterizando o índice de estabilidade exponencial do pasto de azevém anual. Para o cálculo do índice de estabilidade linear, foi utilizado da seguinte equação:  $Pf/Pi = (TSP + TAP)$ ; TSP, taxa de sobrevivência de perfilhos; e TAP, taxa de aparecimento de perfilhos.

A fórmula foi desenvolvida e concebida a partir das técnicas desenvolvidas por Leslie (1945) com álgebra de matrizes para o estudo de dinâmica de populações.

Basicamente, os resultados revelam que se o índice de estabilidade (IE) for menor que 1, indica que os pastos estão reduzindo a densidade populacional de perfilhos, ou seja, significa que os pastos têm uma taxa de aparecimento relativa menor que as taxas de sobrevivência para um mesmo período. Quando os valores de IE forem maiores que 1, indicam instabilidade da população de plantas na área e instabilidade de produção de forragem no sistema. Pastos com IE próximo a 1 indica que a população se mantém instável, podendo ocorrer pela alta taxa de aparecimento ou alta taxa de sobrevivência.

#### **5.3.3.4 Tempo de meia-vida dos perfilhos de azevém anual**

A meia-vida dos perfilhos ( $t_{1/2}$  vida) ou o tempo em dias necessários para metade dos perfilhos morrerem foi calculada com base na equação descrita por Korte (1986), e apresentada da seguinte forma:

$$t_{1/2} = \ln 2 / b$$

onde  $b$  é a constante de decaimento (proporção/d) ou coeficiente de regressão, resultante de uma redução no número de perfilhos desta geração ao longo do tempo.

#### **5.3.3.5 Adubação nitrogenada e níveis de N mineral ( $\text{NO}_3^-/\text{NO}_2^-$ , $\text{NH}_3^+$ ) no solo**

Durante o período experimental, antes da aplicação do fertilizante nitrogenado no inverno, o solo foi amostrado na camada de 0 a 10 e 10 a 20 cm de profundidade para determinar as concentrações de N mineral ( $\text{NO}_3^-/\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NH}_3^+$ ) presentes no solo. Foram realizadas adubações estratégicas de nitrogênio em duas diferentes épocas (verão e inverno). No período do verão (outubro-março) foram aplicadas as seguintes doses de adubação nitrogenada em cobertura na pastagem de verão, sendo elas: 50, 150 e 250 kg ha<sup>-1</sup> de N em dose única. No período do inverno, após a semeadura do pasto e no início do perfilhamento do azevém anual foi realizado uma única aplicação de 50 kg ha<sup>-1</sup> de N em cobertura para todos os tratamentos, a fim de não mascarar os efeitos oriundos dos manejos de verão (alturas de manejo e doses de adubação) e auxiliar no perfilhamento e desenvolvimento inicial do azevém anual. Sendo assim, os tratamentos referentes as doses de adubação nitrogenada totalizaram 100, 200 e 300 kg de N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. A sequência de adubações desde a implantação da área experimental está ilustrada na Tabela 4.

Tabela 4 - Relação das adubações realizadas durante o período experimental e quantidade total de N aplicado no período (verão e inverno).

| Período                     | Quantidade de nitrogênio aplicada (kg N ha <sup>-1</sup> ) | Doses                        | Fertilizante     |
|-----------------------------|--|------------------------------|------------------|
| Verão<br>(outubro-novembro) | 50   | Dose única                   | Ureia (45-00-00) |
|                             | 150  |                              |                  |
|                             | 250  |                              |                  |
| Inverno<br>(maio-junho)     | 50   | Dose única                   | Ureia (45-00-00) |
| Total de N no período       | 100  | Duas doses (verão + inverno) | Ureia (45-00-00) |
|                             | 200  |                              |                  |
|                             | 300  |                              |                  |

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

No inverno, antes da aplicação da adubação nitrogenada e após a semeadura do azevém anual, foram coletadas amostras de solo em todas as unidades experimentais, três amostras por parcela e em duas profundidades (0 a 10 cm e 10 a 20 cm), totalizando 108 amostras de solo. A partir disso, essas amostras foram congeladas e levadas ao laboratório para avaliações dos níveis de nitrogênio ( $\text{NO}_3^-/\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NH}_3^+$ ) no solo.

Para a diluição do solo em laboratório, foi utilizado uma solução de cloreto de potássio (KCl) previamente preparada (1 mol L<sup>-1</sup>), na concentração de 50 ml de solução para cada 5 gramas de solo seco, tanto para análises de  $\text{NO}_3^-/\text{NO}_2^-$  quanto para  $\text{NH}_3^+$ . Foi pesado três amostras de solo de (5 g/amostra) para cada profundidade amostrada de cada piquete, colocados em três recipientes e adicionado 50 mL de solução KCl 1mol L<sup>-1</sup> para cada amostra e agitado durante 15 minutos em agitador horizontal. Em seguida, foi filtrado a suspensão obtida na extração com KCl em funil com papel filtro e pipetado o extrato obtido da solução extratora para determinação dos níveis de nitrogênio mineral no solo ( $\text{NO}_3^-/\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NH}_3^+$ )

### 5.3.4 Taxa de acúmulo de forragem

Quando as unidades experimentais atingiram a altura pré-pastejo foram coletadas cinco amostras de 0,5 m<sup>2</sup> (1,0 x 0,5m) de massa acima da altura de resíduo, 10 ou 14 cm na estação quente e 12 cm na estação fria, para cada tratamento em específico. Dessa forma,

a massa de forragem acima do resíduo, dividida pelo número de dias de descanso ou intervalo de pastejo foi calculada a taxa de acúmulo de forragem ( $\text{kg MS ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ ) para cada período de rebrota. As amostras foram encaminhadas a estufa com circulação forçada de ar a  $65\text{ }^{\circ}\text{C}$  (925.09; AOAC, 1990) e os resultados expressos em matéria seca.

#### **5.4 Processamento dos dados e análise estatística**

Os dados foram submetidos a análise de variância e analisados utilizando-se o procedimento MIXED (modelos mistos) do pacote SAS® (Statistical Analysis System) versão 9.2 para Windows® (SAS Institute, Cary, NC, USA) e as médias de cada variável foram estimadas utilizando o “least-squares means” e comparadas pelo teste de t, com 5% de probabilidade. Foram considerados efeitos fixos a altura de manejo e a dose de nitrogênio, e como fatores aleatórios o bloco. Os ciclos de avaliações foram utilizados como medida repetida e sua matriz de covariância foi obtida pelo critério de Akaike (Akaike’s Information Criterion; AIC).

## **6 RESULTADOS**

### **6.1 Características morfológicas**

#### **6.1.1 Taxas de alongamento, aparecimento e senescência de folhas e filocrono**

Não houve efeito de altura (17 e 23 cm) ou dose de nitrogênio (50, 150, 250 kg N  $\text{ha}^{-1}$ ) para taxa de alongamento de folhas de azevém anual ( $P=0,1845$ ), taxa de aparecimento foliar ( $P=0,2604$ ) e taxa de senescência foliar ( $P=0,6874$ ). A taxa de alongamento foliar apresentou valor médio de  $1,19 \text{ cm.perfilho}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ . A taxa de aparecimento foliar apresentou valor médio de  $0,0876 \text{ cm.perfilho}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ . Para os valores de filocrono do azevém anual também não foi verificado efeito de altura de manejo ( $P=0,2659$ ) e doses de nitrogênio ( $P=0,6295$ ), com média de  $11 \text{ dias.folha}^{-1}$ , ou seja, a cada 11 dias surge uma nova folha, conforme demonstrado na tabela 5.

Tabela 5 – Taxa de alongamento foliar (Tx Along), taxa de aparecimento de folhas (TAF), taxa de senescência foliar (TSF) e Filocrono de pastos de azevém anual cultivado em ambiente manejado em diferentes alturas de manejo.

|                  | Altura de manejo (cm) |       | *EPM  |
|------------------|-----------------------|-------|-------|
|                  | 17                    | 23    |       |
| <b>Tx Along</b>  | 1,27                  | 1,11  | 0,89  |
| <b>TAF</b>       | 0,088                 | 0,087 | 0,003 |
| <b>TSF</b>       | 1,04                  | 1,08  | 0,06  |
| <b>Filocrono</b> | 11,51                 | 11,41 | 0,33  |

\*Erro padrão da média

Médias seguidas por letras diferentes na linha, diferem entre si pelo teste t ( $P < 0,05$ ).

Fonte: Elaborado pelo autor.

## 6.2 Perfilhamento

### 6.2.1 Densidade populacional de perfilhos (DPP)

A densidade populacional de perfilhos (DPP) de azevém anual não variou em função da altura de manejo e dose de nitrogênio ( $P > 0,05$ ) empregados no pasto biodiverso no verão. Quando os valores de densidade populacional de perfilhos avaliados no inverno e primavera houve efeito positivo ( $P < 0,0001$ ) para essa variável. O maior valor de densidade populacional de perfilhos (DPP) foi verificada na estação fria do ano (3968 perfilhos.m<sup>-2</sup>). Os valores de DPP foram decrescentes com o aumento da temperatura (1399 perfilhos.m<sup>-2</sup>), conforme as estações foram avançando (Tabela 2 e Tabela 6).

Tabela 6 – Densidade populacional de perfilhos (DPP) de azevém anual no período de inverno e primavera, submetidos a diferentes manejos.

|            | Estação |           | EPM* |
|------------|---------|-----------|------|
|            | Inverno | Primavera |      |
| <b>DPP</b> | 3968 A  | 1399 B    | 147  |

EPM\* - Erro Padrão da Média.

Médias seguidas por letras diferentes na linha diferem entre si ( $P < 0,05$ ).

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

### 6.2.2 Tempo de meia-vida dos perfilhos de azevém anual

Para os dados de tempo de meia-vida ( $t_{1/2}$  em dias) de perfilhos de azevém anual foi observado o efeito dos tratamentos de manejo de altura do verão apenas na geração 1

( $P=0,0042$ ), nos pastos de azevém, o manejo de 17 cm proporcionou o tempo de meia vida de 63 dias, já nos pastos mantidos com 23 cm observou-se o valor de 75 dias de tempo de meia vida. Para dos dados da geração zero (G0) não houve efeito sobre o tempo de meia-vida dos perfilhos ( $P=0,4765$ ) quando os pastos foram manejados a 17 cm de altura (96 dias) e 23 cm de altura (98 dias), com média de 97 dias, no entanto, a geração G0 é considerada a mais longeva com aproximadamente 100 dias de tempo de meia-vida, ou seja, seriam necessários 100 dias para que ocorresse a perda da metade da primeira população de perfilhos que surgiram, praticamente igual a duração inteira do ciclo do azevém anual. Dessa forma, a geração G0 representa a metade da produção do azevém anual durante o ciclo de produção.

### 6.2.3 Taxas de aparecimento, sobrevivência e mortalidade de perfilhos

Para a taxa de aparecimento de perfilhos (TAP), não houve efeito de altura de manejo ( $P=0,5286$ ), dose de nitrogênio ( $P=0,7060$ ) e efeito de interação altura de manejo x dose de nitrogênio ( $P=0,8757$ ). O mesmo ocorreu para as taxas de sobrevivência de perfilhos (TSP) também não foi observado efeito de altura de manejo ( $P=0,6240$ ), dose de nitrogênio ( $P=0,8627$ ) e interação altura de manejo x dose de nitrogênio ( $P=0,9561$ ). Com relação à taxa de mortalidade de perfilhos (TMP), não houve efeito de altura de manejo ( $P=0,6240$ ), dose de nitrogênio ( $P=0,8627$ ) e interação altura de manejo x dose de nitrogênio ( $P=0,9561$ ), conforme relatado na tabela 7.

Tabela 7 - Taxa de aparecimento de perfilhos (TAP), taxa de sobrevivência de perfilhos (TSP), taxa de mortalidade de perfilhos (TMP) e Índice de estabilidade linear (IE Lin) e exponencial (IE Exp) de pastos de azevém anual.

|            | Altura de manejo |      |      |
|------------|------------------|------|------|
|            | 17               | 23   | EPM* |
| <b>TAP</b> | 0,26             | 0,23 | 0,03 |
| <b>TSP</b> | 0,78             | 0,80 | 0,03 |
| <b>TMP</b> | 0,22             | 0,20 | 0,03 |

EPM\* - Erro Padrão da Média.

Médias seguidas por letras diferentes na linha, diferem entre si pelo teste t ( $P < 0,05$ ).

Fonte: Elaborado pelo autor.

### 6.2.4 Diagrama de estabilidade

Para os resultados de índice de estabilidade linear das gerações de perfilhos não houve efeito quanto à altura de manejo ( $P=0,8604$ ), dose de nitrogênio ( $P=0,8535$ ) e efeito de interação altura de manejo x dose de nitrogênio ( $P=0,9311$ ). Para os resultados de índice de estabilidade exponencial das gerações de perfilhos não houve efeito quanto à altura de manejo ( $P=0,9308$ ), dose de nitrogênio ( $P=0,8566$ ) e efeito de interação altura de manejo x dose de nitrogênio ( $P=0,9433$ ). Esses valores demonstram haver alta estabilidade na população de perfilhos de azevém anual nos diferentes manejos aplicados, com valores próximos ou superiores a 1, uma vez que estão sendo eficazes em repor perfilhos em número suficiente relativamente à sobrevivência dos perfilhos existentes (Tabela 8).

Tabela 8 – Índice de estabilidade linear (IE Lin) e índice de estabilidade exponencial (IE Exp) de pastos de azevém anual manejado em diferentes alturas de manejo (17 e 23 cm) e doses de nitrogênio (50, 150 e 250 kg ha<sup>-1</sup> de N).

|        | Altura de manejo |      |      | Dose de N |      |      |      |
|--------|------------------|------|------|-----------|------|------|------|
|        | 17               | 23   | EPM  | 50        | 150  | 250  | EPM  |
| IE Lin | 1,05             | 1,03 | 0,05 | 1,07      | 1,01 | 1,04 | 0,06 |
| IE Exp | 1,01             | 1,00 | 0,05 | 1,04      | 0,98 | 1,00 | 0,07 |

EPM\* - Erro Padrão da Média.

Médias seguidas por letras diferentes na linha, diferem entre si pelo teste t ( $P < 0,05$ ).

Fonte: Elaborado pelo autor.

### 6.2.5 Padrões demográficos do perfilhamento

A partir dos dados originais coletados a partir da contagem de perfilhos foram geradas mensalmente, curvas ilustrando o decréscimo no número de perfilhos por geração, bem como a oscilação mensal (intervalos de 21 dias em média) na população de perfilhos nos pastos de azevém anual. Os dados dos padrões demográficos encontram-se nas Figuras 6 a 10.

Mesmo não havendo efeito sobre a dinâmica do perfilhamento, pode-se observar uma característica comum às alturas de manejo avaliadas (17 e 23 cm), houve uma redução na população de perfilhos a partir de 29/07/2020 (até o início da G3). Os valores de densidade populacional permaneceram altos até o final da segunda geração (G2), sendo que uma redução na população só ocorreu a partir da terceira geração (mês de agosto). Observa-se também que houve um aumento no aparecimento de perfilhos nas primeiras três gerações nos meses de junho e julho (inverno) e apresentaram uma sobrevivência



maior que aquelas das gerações 3, 4 e 5, nos meses de agosto, setembro e outubro (primavera).

Quando se trata de estabilidade da população de perfilhos, pode-se observar um decréscimo na estabilidade populacional a partir do início da terceira geração (G3) quando os pastos de azevém anual foram mantidos a 17 cm de altura de manejo e 10 cm de altura de resíduo em lotação intermitente (Figura 6). Em contrapartida, em pastos de azevém anual mantidos a 23 cm de altura de manejo e 14 cm de altura de resíduo em lotação intermitente, houve um aumento continuado na estabilidade populacional dos perfilhos, se estendendo até o dia 24 de agosto de 2020 ou início da G4 (Figura 6).

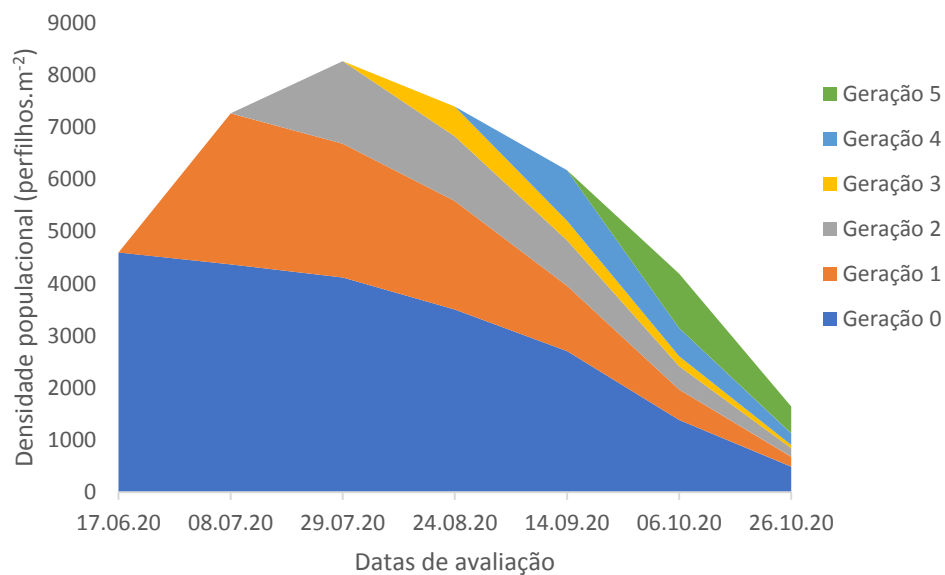


Figura 6 - Padrão demográfico do perfilhamento em pastos de azevém anual mantidos a 17 cm de altura de manejo e 10 cm de altura de resíduo em lotação intermitente

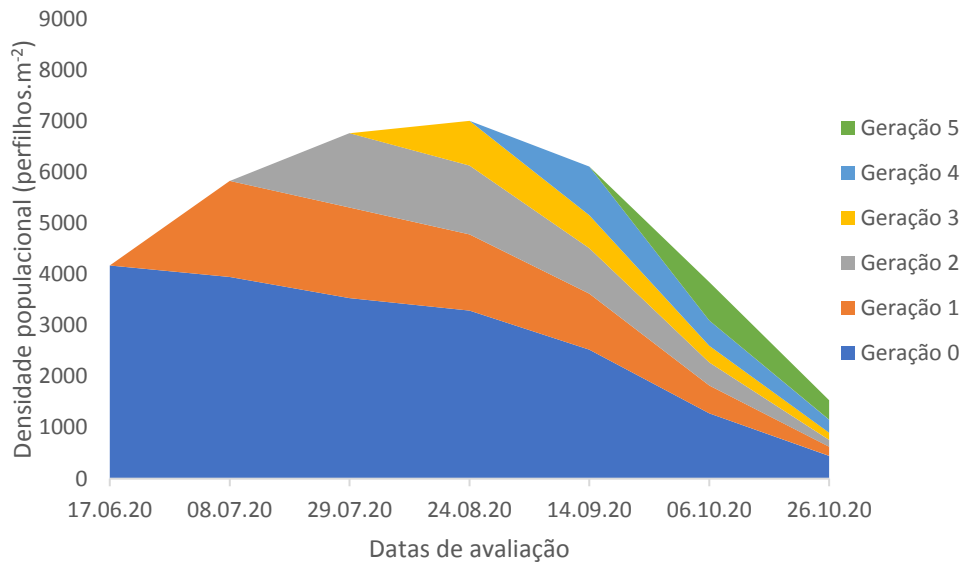


Figura 7 - Padrão demográfico do perfilhamento em pastos de azevém anual mantidos a 23 cm de altura de manejo e 14 cm de altura de resíduo em lotação intermitente.

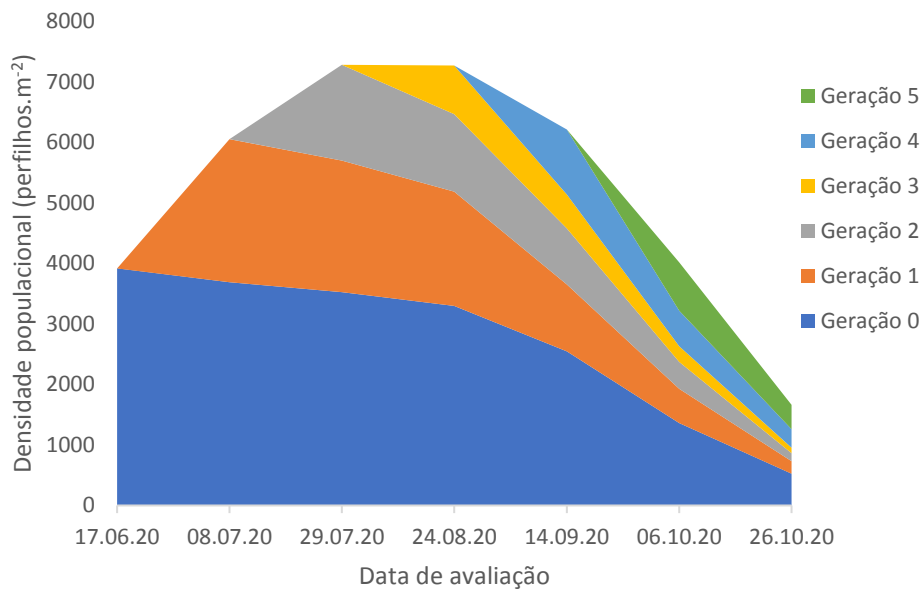


Figura 8 - Padrão demográfico do perfilhamento em pastos de azevém anual mantidos com 50 kg ha<sup>-1</sup> de N

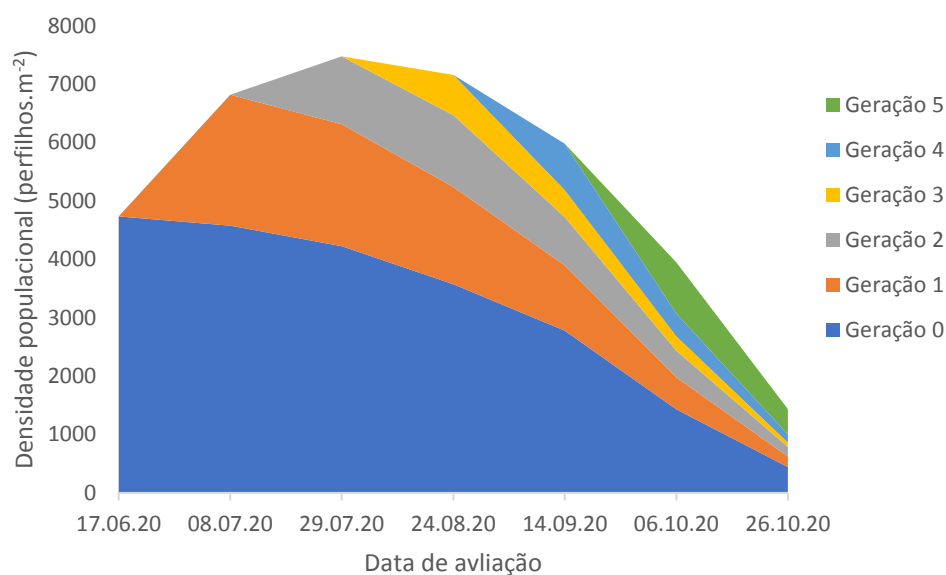


Figura 9 - Padrão demográfico do perfilhamento em pastos de azevém anual mantidos com 150 kg ha<sup>-1</sup> de N.

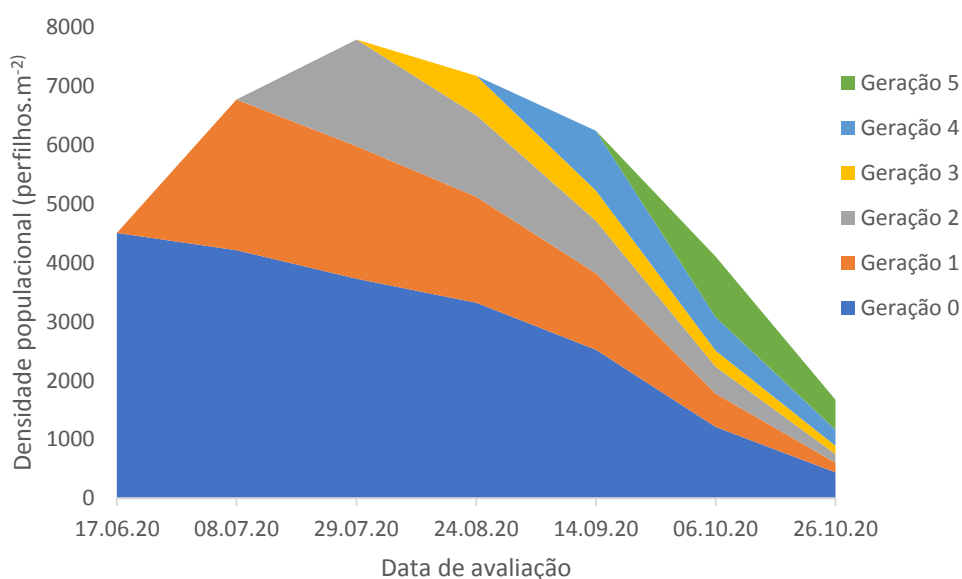


Figura 10 - Padrão demográfico do perfilhamento em pastos de azevém anual mantidos com 250 kg ha<sup>-1</sup> de N.

Para o tratamento composto pela dose de 50 kg ha<sup>-1</sup> de N, o perfil demográfico demonstrou maior período em estabilidade populacional, maior aparecimento e sobrevivência de perfilhos nas quatro primeiras gerações nos meses de junho, julho e agosto, até o dia 24 de agosto de 2020 (Figura 8).

Uma característica comum aos perfis demográficos analisados, quando os pastos foram submetidos as doses de 150 e 250 kg ha<sup>-1</sup> de N, foi a queda da estabilidade da população de perfilhos a partir do dia 29 de julho de 2020, no entanto, houve aumento no aparecimento e sobrevivência de perfilhos nas três primeiras gerações nos meses de junho e julho que aquelas das gerações durante o período de final do inverno (Figuras 9 e 10). Outra característica frequente foi a redução no número de perfilhos marcados em todas as gerações ao longo de todo o experimento (junho a outubro), no entanto, essa perda de perfilhos no início do experimento foi compensada pelo aparecimento de novos perfilhos das gerações G1 e G2.

### 6.2.6 Proporção de perfilhos com inflorescência visível

Não houve efeito de altura de manejo (P=0,9022) e dose de nitrogênio (P=0,0640) sobre a proporção de perfilhos florescidos no final do ciclo do pasto, no entanto, houve efeito de interação altura de manejo x dose de nitrogênio (P=0,0007). Quando o pasto foi manejado a 23 cm, o número de perfilhos com inflorescência visível foi maior na maior dose (23 cm e dose 250 kg ha<sup>-1</sup> de N) com 692 perfilhos.m<sup>-2</sup>, enquanto na altura de 17 cm o número de perfilhos com inflorescência visível foi maior na menor dose (17 cm e dose de 50 kg ha<sup>-1</sup> de N) com 503 perfilhos.m<sup>-2</sup>, um percentual de 27% menor de perfilhos florescidos (Tabela 9).

Tabela 9 – Número de perfilhos de azevém anual com inflorescência visível em pastos de azevém anual ao final do período de cultivo (novembro) quando submetidos a diferentes manejos de altura e doses de nitrogênio.

| Dose N<br>(kg ha ano <sup>-1</sup> ) | Altura (cm) |        | EPM* |
|--------------------------------------|-------------|--------|------|
|                                      | 17          | 23     |      |
| 50                                   | 503 Aa      | 214 Bb | 60   |
| 150                                  | 396 Aab     | 321 Ab | 60   |
| 250                                  | 308 Bb      | 692 Aa | 60   |
| <b>EPM</b>                           | 60          | 60     | -    |

EPM\* - Erro Padrão da Média.

Letras maiúsculas comparam as alturas para cada dose e letras minúsculas comparam as doses para a mesma altura.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

### 6.3 Níveis de N mineral (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/NO<sub>2</sub><sup>-</sup> e NH<sub>3</sub><sup>+</sup>) no solo

Para os níveis de nitrogênio mineral ( $\text{NO}_3^-/\text{NO}_2^-$  e  $\text{NH}_3^+$ ) não houve efeito quanto as duas alturas de manejo, três doses de nitrogênio, duas profundidades de coleta de solo e interação entre as variáveis. Para ambas as alturas de manejo, quando o solo foi coletado na profundidade de 0-10 cm, não houve efeito para os níveis de  $\text{NO}_3^-/\text{NO}_2^-$  ( $P=0,2159$ ) e para os níveis de  $\text{NH}_3^+$  ( $P=0,3775$ ). Assim como, na profundidade de 10-20 cm também não apresentou efeito para os níveis de  $\text{NO}_3^-/\text{NO}_2^-$  ( $P=0,2292$ ) e os níveis de  $\text{NH}_3^+$  ( $P=0,7451$ ). Para as doses de nitrogênio, quando o solo foi coletado na profundidade de 0-10 cm, não houve efeito para os níveis de  $\text{NO}_3^-/\text{NO}_2^-$  ( $P=0,4452$ ) e para os níveis de  $\text{NH}_3^+$  ( $P=0,1091$ ). Assim como, na profundidade de 10-20 cm não apresentou efeito nos níveis de  $\text{NO}_3^-/\text{NO}_2^-$  ( $P=0,4207$ ) quanto nos níveis de  $\text{NH}_3^+$  ( $P=0,4092$ ) (Tabela 10).

Tabela 10 – Níveis de  $\text{NO}_3^-/\text{NO}_2^-$  e  $\text{NH}_3^+$  ( $\text{mg N kg}^{-1}$  de solo seco) nas profundidades de 0 a 10 cm e de 10 a 20 cm do solo coletados em áreas com pastos de azevém anual cultivado em ambiente manejado em diferentes alturas de manejo e doses de nitrogênio.

|                | Altura de manejo              |      |      | Dose de N |      |      |      |
|----------------|-------------------------------|------|------|-----------|------|------|------|
|                | 17                            | 23   | EPM* | 100       | 200  | 300  | EPM* |
|                | $\text{NO}_3^-/\text{NO}_2^-$ |      |      |           |      |      |      |
| <b>0 – 10</b>  | 2,08                          | 2,49 | 0,22 | 2,15      | 2,13 | 2,57 | 0,27 |
| <b>10 – 20</b> | 2,17                          | 2,58 | 0,23 | 2,21      | 2,23 | 2,69 | 0,28 |
|                | $\text{NH}_3^+$               |      |      |           |      |      |      |
| <b>0 – 10</b>  | 6,96                          | 6,75 | 0,16 | 6,51      | 6,90 | 7,15 | 0,19 |
| <b>10 – 20</b> | 6,78                          | 6,67 | 0,24 | 6,86      | 6,93 | 6,39 | 0,29 |

EPM\* – Erro padrão da média.

Médias seguidas por letras diferentes na linha, diferem entre si pelo teste t ( $P < 0,05$ ).

Fonte: Elaborado pelo autor.

## 7. DISCUSSÃO

De maneira geral não houve qualquer efeito do manejo de verão nas variáveis responsáveis pelo acúmulo de forragem em pastos de azevém anual cultivado na estação fria subsequente. Essa ausência de diferença ocorreu tanto sobre os padrões de perfilhamento quanto nas características morfogênicas e estruturais da planta. É bastante conhecido o fato da taxa de aparecimento de folhas (TAF) possuir um papel central nas características estruturais do dossel forrageiro, uma vez que interfere diretamente na densidade populacional de perfilhos (DPP), no tamanho da folha e no número de folhas por perfilho (LEMAIRE; CHAPMAN, 1996). Já o filocrono, o inverno da TAF, também pode

ser discutido nos mesmos termos. Tanto a TAF, taxa de alongamento foliar, TSF e filocrono avaliados não apresentaram variações entre as alturas de manejo e doses de nitrogênio no primeiro ano de avaliação. Quanto à TAF, a média do período foi de 0,087 cm de folha.perfilho<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup>.

Segundo alguns autores, o déficit hídrico no período de avaliação parece ter uma grande influência nos valores de filocrono (BAUER et al., 1984). Além disso, conforme discutido por Bonhomme (2000), a ausência de quaisquer outros fatores (água, luz, nutriente etc.) que possam interferir no desenvolvimento também pode refletir na TAF e, conseqüentemente, no filocrono. Dessa forma, o déficit hídrico verificado nos meses de março, abril e maio (Tabela 1) pode ter caracterizado uma condição momentânea de baixa fertilidade já que a maior parte dos nutrientes ficaria indisponibilizada pela escassez hídrica. Uma consequência direta dessa indisponibilidade de recursos foram as pequenas taxas de alongamento foliar, aparecimento foliar e conseqüentemente, de filocrono.

Em resposta aos resultados apresentados neste estudo, alguns estudos demonstram que as maiores produções de biomassa e produção de nitrogênio transferido de pastagens mistas resultantes do uso dos recursos disponíveis podem resultar em níveis mais baixos de nutrientes disponíveis para a cultura sucessora. Sendo assim, dependendo do resultado desses processos, o efeito das misturas mistas no efeito legado em uma cultura subsequente pode ser positivo, negativo ou até mesmo nulo. Porém, o efeito a longo prazo relacionado as alterações climáticas também pode interferir na intensidade do efeito legado de uma pastagem sobre a cultura subsequente (EISENHAUER et al., 2016).

Alguns autores estudaram a comparação da alta diversidade de plantas em uma mistura e baixas entradas de nutriente no sistema e vice-versa, no entanto, a quantificação dos efeitos legados em níveis mais altos de fertilização ainda permanecem incertos quanto aos efeitos legados deixados no sistema e como os distúrbios ambientais interagem com a diversidade de plantas e aplicação de fertilizantes para modificar o efeito legado (KOLLAS et al., 2015).

A inclusão de leguminosas forrageiras em misturas de forragem de baixo aporte melhora a produção de forragem e a fertilidade do solo por meio da adição de nitrogênio (N) da fixação de N<sub>2</sub>. O impacto de diferentes misturas de gramíneas e leguminosas na contribuição de N da mistura de forragem raramente foi investigado em condições de solo e clima comparáveis. Estudos já mostraram que a contribuição de leguminosas forrageiras para um efeito legado na cultura sucessora é resultante tanto de efeitos da adubação nitrogenada quanto dos resíduos da cultura. A contribuição da fixação biológica de N<sub>2</sub> fica

em torno de 16% do N disponível (LIU et al., 2010) provenientes de grãos e leguminosas forrageiras que oferecem a maior parcela do N fixado biologicamente (HERRIDGE et al., 2008), por meio da economia ou transferência de N, na qual cerca de 10-20% de N derivado de leguminosas são transferidos para a biomassa de plantas consorciadas ou de rotação (CARLOS et al., 2010).

Grange et al., (2022) realizaram um experimento de campo de três anos com diferentes combinações de espécies (gramíneas e leguminosas) para melhor compreensão do efeito das pastagens mistas no desempenho do azevém anual (*L. multiflorum* L) como cultura subsequente, e investigaram o efeito do déficit hídrico no verão e aumento de fertilizantes neste sistema misto. Neste mesmo estudo, entre as espécies testadas, as duas espécies de leguminosas (*T. repens* e *T. pratense*) resultaram nos maiores teores de nitrogênio e produção de matéria seca do azevém anual na fase de cultivo, sendo que *T. repens* resultou na maior produção de matéria seca de azevém anual (6,54 t ha<sup>-1</sup>), seguido por *T. pratense* (6,09 t ha<sup>-1</sup>). Entre as espécies não leguminosas, *C. intybus* foi a cultura antecessora que melhor resultou em desempenho (5,45 t ha<sup>-1</sup>) de biomassa de azevém anual. Para os resultados de produção de nitrogênio, as espécies leguminosas entregaram o maior efeito legado (138 kg de N ha<sup>-1</sup>) que espécies não leguminosas (104 kg de N ha<sup>-1</sup>). As raízes das plantas recebem nitrogênio por meio do reservatório de N inorgânico disponível no solo (NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), formas estas provenientes do N simbioticamente fixado na região da rizosfera de plantas leguminosas (WACQUANT et al., 1989).

O aumento da aplicação de fertilizantes nitrogenados (300 kg ha<sup>-1</sup>) em áreas com monocultivo de *L. perenne* não resultou em desempenhos maiores na cultura sucessora quando comparado com uma menor taxa de fertilização (150 kg ha<sup>-1</sup>). Além disso, o excesso do nitrogênio aplicado aumentou somente 64 kg N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> na produção de N para o desenvolvimento do *L. multiflorum* na estação fria. Dessa forma, o nitrogênio adicional não foi armazenado no solo mas perdido no sistema, pois não se traduziu em efeito legado (GRANGE et al., 2022).

Existem inúmeras formas possíveis de perdas potenciais de nitrogênio, como lixiviação de nitrato e emissões de óxido nitroso (CUMMINS et al., 2021), com impactos negativos ao meio ambiente. Mais pesquisas são necessárias para maiores evidências de efeitos de interação interespecífica e a ocorrência de efeitos legados de interação sinérgica em sistemas de pastagem mistas em uma safra subsequente.

Em um estudo conduzido por Rasmussen et al. (2012) com duas doses de nitrogênio e sete misturas de forrageiras (leguminosas e não leguminosas) foi observado alta fixação

de  $N_2$  de mais de  $300 \text{ kg N ha}^{-1}$  tanto provenientes do trevo vermelho quanto de alfafa, mesmo com a adição de  $300 \text{ kg de N total ha}^{-1}$  por meio de dejetos bovinos. Porém, para a mistura de trevo branco e trevo vermelho, a adição de fertilizante nitrogenado em forma de dejetos bovinos reduziu a fixação de  $N_2$ . Concluímos que a competição por N do solo disponível de azevém perene em mistura foi um fator importante para a proporção de N em alfafa, trevo branco e cornichão obtido a partir da fixação de  $N_2$ . O trevo branco teve uma alta proporção de N derivado da atmosfera para todas as gramíneas companheiras, apesar das diferenças significativas na proporção do trevo branco. Embora a mistura de azevém perene e alfafa tenha produzido mais do que o dobro do N da fixação de  $N_2$  em comparação com o trevo branco na mistura de azevém perene, isso não levou a maiores efeitos residuais de N da alfafa no ano seguinte.

No entanto, as culturas diferem entre si quanto ao uso eficiente de nitrogênio, sendo fortemente influenciado pelo estresse hídrico, níveis de competitividade com outros nutrientes e estrutura dos sistemas mistos. A mistura de diferentes espécies pode influenciar na eficiência do uso de nitrogênio, como por exemplo, verificou-se que uma mistura de azevém + alfafa produz mais que 50% do N da fixação de  $N_2$  em comparação com uma mistura de trevo branco + azevém (Rasmussen et al., 2012). Dessa forma, pode-se dizer que no período de avaliação do presente estudo (abril a outubro) a cultura do azevém anual não obteve quaisquer efeitos legados oriundos da pastagem perene de verão mista implantada previamente sobre as TAF, TSF, taxas de alongamento foliar e filocrono.

Alguns resultados demonstrados por Braun et al., (2022) mostram a influência dos níveis de adubação nitrogenada na presença e persistência de colmos senescentes visíveis no azevém perene. Taxas de fertilização nitrogenada maiores que  $24 \text{ kg N ha}^{-1}$  aplicadas antes do pico de floração diminuí visivelmente os perfilhos florescidos de azevém perene. Níveis de fertilização nitrogenada superiores a  $98 \text{ kg N ha}^{-1}$ , além de reduzir em uma proporção maior o número de perfilhos florescidos, proporcionaram maior qualidade geral da pastagem e resistência à infestação de ervas daninhas

Fox et al., (2020b) sugerem a possibilidade dos efeitos legados persistirem por mais de um ano embora o efeito diminua ao longo do tempo. Porém, no caso do nosso estudo, como já não houve um legado no momento seguinte ao uso da cultura de verão, resta muito improvável uma transferência de legado para essa mesma cultura no inverno do ano seguinte. Uma hipótese que ainda carece de melhor reflexão é a possibilidade que o N contido na cultura de verão seja transferido para a mesma cultura no verão seguinte, com aumentos na temperatura e consequentes taxas de mineralização.



Quanto aos resultados dos padrões demográficos do azevém anual na estação fria, é interessante salientar que as primeiras duas gerações (G0 e G1) em todos os tratamentos aplicados, quando somadas, possuem uma grande representatividade nos padrões demográficos, tornando-se extremamente importante na estabilidade populacional do pasto. Os perfilhos de azevém anual surgidos nas duas primeiras gerações apresentaram as maiores longevidades em todos os padrões demográficos do perfilhamento (Figura 6 a 10) reforçando o que já havia sido constatado nos tempos de meia-vida dos perfilhos de azevém anual (Tabela 11). Por outro lado, as gerações subsequentes representam as populações que tendem a manter a estabilidade populacional dos perfilhos até o final do ciclo do azevém anual.

Tabela 11 – Efeito das diferentes alturas de manejo sobre o tempo de meia-vida ( $t_{1/2}$  em dias) de perfilhos de azevém anual nas gerações zero (G0), geração um (G1), geração dois (G2) e geração quatro (G4).

| Geração   | Altura (cm) |      | EPM* |
|-----------|-------------|------|------|
|           | 17          | 23   |      |
| <b>G0</b> | 96          | 98   | 1,8  |
| <b>G1</b> | 63 b        | 75 a | 2,2  |
| <b>G2</b> | 48          | 51   | 2,2  |
| <b>G4</b> | 24          | 23   | 1,4  |

EPM\* - Erro Padrão da Média.

Médias seguidas por letras diferentes na linha diferem entre si ( $P < 0,05$ ).

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Em relação ao tempo de meia-vida dos perfilhos das primeiras duas gerações do azevém anual mostram que independente do manejo aplicado no verão (alturas de manejo e doses de adubação nitrogenada) é fundamental assegurar o perfilhamento dessas gerações pois esses perfilhos são considerados os mais longevos, com um tempo médio de meia-vida de 97 dias na G0 e 69 dias na G1, o que demonstrou a alta longevidade dos perfilhos de azevém anual. Essas gerações de perfilhos de azevém anual surgidos no inverno (junho e julho) foram fundamentais para os incrementos populacionais da espécie em toda a estação fria, além de assegurar sua persistência, uma vez que essas duas gerações foram responsáveis pela manutenção da população. Esses dados podem ser constatados e corroborados pelos padrões demográficos do azevém anual presentes neste mesmo estudo.

Nossos resultados sugerem que há necessidade de mais estudos que avaliem os legados transferidos de pastagens mistas conduzidas na estação quente do ano sobre as

culturas subsequentes na estação fria, a fim de quantificar o acúmulo de forragem e determinar manejos precisos na cultura do azevém anual.

## 8. CONCLUSÃO

Não há legado do manejo de altura no verão e doses de adubações nitrogenadas sobre as variáveis ligadas ao processo de acúmulo de forragem (TAF, TSF, taxa de alongamento, filocrono e dinâmica do perfilhamento) na cultura do azevém anual.

## 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

ANGLADE, J.; BILLEN, G.; GARNIER, J. Relationships for estimating N<sub>2</sub> fixation in legumes: incidence for N balance of legume-based cropping systems in Europe. **Ecosphere**, v. 6, n. 3, p. 1-24, 2015.

BAREL, J. M. et al. Legacy effects of diversity in space and time driven by winter cover crop biomass and nitrogen concentration. **Journal of Applied Ecology**, v. 55, n. 1, p. 299-310, 2018.

BRAUN, R. C.; PATTON, A. J. Perennial ryegrass (*Lolium perenne*) culm and inflorescence density in lawns: Effects of nitrogen fertilization and scalping timing and height. **Crop Science**, v. 62, n. 1, p. 489-502, 2022.

BONHOMME, R. Bases and limits to using 'degree.day' units. **European Journal of Agronomy**, v.13, p.1-10, 2000.

BURCHILL, W. et al. Comparisons of biological nitrogen fixation in association with white clover (*Trifolium repens* L.) under four fertiliser nitrogen inputs as measured using two <sup>15</sup>N techniques. **Plant and soil**, v. 385, n. 1-2, p. 287-302, 2014.

CANFIELD, D. E.; GLAZER, A. N.; FALKOWSKI, P. G. The evolution and future of Earth's nitrogen cycle. **science**, v. 330, n. 6001, p. 192-196, 2010.

CASTRO, L. M. et al. Produção de forragem e composição estrutural de pastos de *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés manejados em diferentes alturas de pastejo. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, p. 4145-4156, p. 2013.

CARLOS et al. Estimating the contribution of nitrogen from legume cover crops to the nitrogen nutrition of grapevines using a <sup>15</sup>N dilution technique. **Plant Soil**. (2010).

CARLSSON, G.; HUSS, D. K. Nitrogen fixation in perennial forage legumes in the field. **Plant and Soil**. 253, 353–372 (2003).

CHAPMAN, D. F.; LEMAIRE, G. Morphogenetic and structural determinants of plant regrowth after defoliation. In: BAKER, M. J. (Ed.) **Grasslands for Our World**. SIR Publishing, Wellington, p.55-64, 1993.

CONNOLLY, J. et al. Weed suppression greatly increased by plant diversity in intensively managed grasslands: A continental-scale experiment. **Journal of Applied Ecology**, v. 55, n. 2, p. 852-862, 2018.

EISENHAUER, N., et al. Root biomass and exudates link plant diversity with soil bacterial and fungal biomass. **Scientific reports**, v. 7, n. 1, p. 1-8, 2017.

EVERS, G.W. Introduction to annual ryegrass. In: Annual Ryegrass. A Symposium on Annual Ryegrass, 31 August–1 September, Tyler, Texas, pp. 1–6. Houston, Texas, USA: Texas A & M University, 1995.

EVERS, G. W.; SMITH, G. R.; HOVELAND, C. S. Ecology and production of annual ryegrass. **Ecology, Production, and Management of *Lolium* for Forage in the USA**, v. 24, p. 29-43, 1997.

FAO. **The state of food and agriculture**. Rome: FAO, 2009. Disponível em: <http://bit.ly/dcsAFD>. Acesso em: 15 jan. 2021. FERRAZ, J. B. S.; FELÍCIO, P. E. D. Production systems - An example from Brazil. **Meat Science**, v. 84, n. 2, p. 238-243, 2010.

FISHER, M. J.; CRUZ, P. Some ecophysiological building blocks in the domestication of an outstanding tropical pasture legume ideotype. **Biology and Agronomy of Forage Arachis**. Eds. PC Kerridge and W Hardy. CIAT, Cali, Colombia, 1994.

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**, v. 50, n. 2, p. 365-375, 2013.

FOX, A., et al. Positive legacy effect of previous legume proportion in a ley on the performance of a following crop of *Lolium multiflorum* L. **Plant Soil** 447, 497–506, 2020.

FUSTEC, J. et al. Nitrogen rhizodeposition of legumes. A review. **Agronomy for sustainable development**, v. 30, n. 1, p. 57-66, 2010.

GRANGE, G.; BROPHY, C.; FINN, J. A. Grassland legacy effects on yield of a follow-on crop in rotation strongly influenced by legume proportion and moderately by drought. **European Journal of Agronomy**, v. 138, p. 126531, 2022.

GUY, C. et al. Growth, morphology and biological nitrogen fixation potential of perennial ryegrass-white clover swards throughout the grazing season. **The Journal of Agricultural Science**, v. 156, n. 2, p. 188, 2018.

HAMMELEHLE, A. et al. Above-and belowground nitrogen distribution of a red clover-perennial ryegrass sward along a soil nutrient availability gradient established by organic and conventional cropping systems. **Plant and Soil**, v. 425, n. 1, p. 507-525, 2018.

HANSEN, J. P.; VINTHER, F. P. Spatial variability of symbiotic N<sub>2</sub> fixation in grass-white clover pastures estimated by the <sup>15</sup>N isotope dilution method and the natural <sup>15</sup>N abundance method. **Plant and Soil**, v. 230, n. 2, p. 257-266, 2001.

HEGEWALD, H. et al. Impacts of break crops and crop rotations on oilseed rape productivity: A review. **European journal of agronomy**, v. 101, p. 63-77, 2018.

HERRIDGE, D. F.; PEOPLES, M. B.; BODDEY, R. M. Global inputs of biological nitrogen fixation in agricultural systems. **Plant and soil**, v. 311, n. 1, p. 1-18, 2008.

HØGH-JENSEN, H.; SCHJOERRING, J. K. Interactions between white clover and ryegrass under contrasting nitrogen availability: N<sub>2</sub> fixation, N fertilizer recovery, N transfer and water use efficiency. **Plant and soil**, v. 197, n. 2, p. 187-199, 1997.

HUMPHREYS, J.; O'CONNELL, K.; CASEY, I. A. Nitrogen flows and balances in four grassland-based systems of dairy production on a clay-loam soil in a moist temperate climate. **Grass and Forage Science**, v. 63, n. 4, p. 467-480, 2008.

ISHIZUKA, J. Trends in biological nitrogen fixation research and application. In: **Biological Nitrogen Fixation for Sustainable Agriculture**. Springer, Dordrecht, 1992. p. 197-209.

JÖNCK, F. et al. Intoxicação espontânea e experimental por nitrato / nitrito em bovinos alimentados com *Avena sativa* (aveia branca) e/ou *Lolium* spp. (azevém). **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v. 33, n. 9, p. 1062–1070, 2013.

NYFELER, D. et al. Grass–legume mixtures can yield more nitrogen than legume pure stands due to mutual stimulation of nitrogen uptake from symbiotic and non-symbiotic sources. **Agriculture, ecosystems & environment**, v. 140, n. 1-2, p. 155-163, 2011.

NGOME, A.F., MTEI, M. Establishment, biological nitrogen fixation and nutritive value of *Arachis pintoii* (CIAT 18744) in western Kenya. **Tropical Grasslands**, 44, 289-294, 2010.

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

LEMAIRE, G.; CHAPMAN, D. Tissue fluxes in grazing plant communities. In: HODGSON, J.; ILLIUS, A. W. (Eds.). **The ecology and management of grazing systems**. Wallingford: CAB International, 1996. p. 3-36.

- LEMAIRE, G.; JEUFFROY, M. H.; GASTAL, F. Diagnosis tool for plant and crop N status in vegetative stage: Theory and practices for crop N management. **European Journal of agronomy**, v. 28, n. 4, p. 614-624, 2008.
- LEDGARD, S. F.; STEELE, K. W. Biological nitrogen fixation in mixed legume/grass pastures. **Biological Nitrogen Fixation for Sustainable Agriculture**, p. 137-153, 1992.
- LEDGARD, S. F. Nitrogen cycling in low input legume-based agriculture, with emphasis on legume/grass pastures. **Plant and Soil**, v. 228, n. 1, p. 43-59, 2001.
- LEDGARD, S. et al. Environmental impacts of grazed clover/grass pastures. **Irish journal of Agricultural and food research**, p. 209-226, 2009.
- LIU, J. et al. A high-resolution assessment on global nitrogen flows in cropland. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 107, n. 17, p. 8035-8040, 2010.
- LOPES, V. et al. Morphological characterization of Portuguese Italian ryegrass landraces. **Journal of Central European Agriculture**. v. 10, p. 89-99, 2009.
- LÜSCHER, A. et al. Potential of legume-based grassland–livestock systems in Europe: a review. **Grass and forage science**, v. 69, n. 2, p. 206-228, 2014.
- NELSON, C.J. Shoot morphological plasticity of grasses: Leaf growth vs. Tillering. In: EMAIRE, G.; HODGSON, J.; MORAES, A.; CARVALHO, P.C.F.; NEBINGER, C. (Ed.) **Grassland Ecophysiology and Grazing Ecology**. Wallingford: CABI Publishing, 2000. cap. 6, p.101-126.
- NAEEM, S. et al. Declining biodiversity can alter the performance of ecosystems. **Nature**, v. 368, n. 6473, p. 734–737, 1994.
- OBERSON, A. et al. Nitrogen fixation and transfer in grass-clover leys under organic and conventional cropping systems. **Plant and Soil**, v. 371, n. 1, p. 237-255, 2013.
- PEOPLES, M. B.; HERRIDGE, D. F.; LADHA, J. K. Biological nitrogen fixation: an efficient source of nitrogen for sustainable agricultural production? In: **Management of Biological Nitrogen Fixation for the Development of More Productive and Sustainable Agricultural Systems**. Springer, Dordrecht, 1995. p. 3-28.
- PEMBLETON, K. G. et al. Simple versus diverse pastures: opportunities and challenges in dairy systems. **Animal Production Science**, v. 55, n. 7, p. 893-901, 2015.
- PIRHOFER-WALZL, K. et al. Nitrogen transfer from forage legumes to nine neighbouring plants in a multi-species grassland. **Plant and soil**, v. 350, n. 1-2, p. 71-84, 2012.
- RASMUSSEN, J. et al. In situ carbon and nitrogen dynamics in ryegrass–clover mixtures: transfers, deposition and leaching. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 39, n. 3, p. 804-815, 2007.

RASMUSSEN, Jim et al. N<sub>2</sub>-fixation and residual N effect of four legume species and four companion grass species. **European Journal of Agronomy**, v. 36, n. 1, p. 66-74, 2012.

ROSE, T. et al. Pinto peanut cover crop nitrogen contributions and potential to mitigate nitrous oxide emissions in subtropical coffee plantations. **The Science of the total environment**, 656, 108-117, 2019.

SALEEM, A. et al. Effect of Common Vetch (*Vicia sativa* L) Legume on Growth and Yield of Rye Grass (*Lolium multiflorum* L). **Pakistan Journal of Agricultural Research**, v. 32, n. 4, 2019.

SBRISSIA, A.F., Da SILVA, S.C. O ecossistema de pastagens e a produção animal In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 38, Piracicaba, 2001. **Anais...** Piracicaba : SBZ, 2001, p.731-754.

SBRISSIA, A. F. et al. Produção animal em pastagens cultivadas em regiões de clima temperado da América Latina. **Archivos Latino americanos de Producción Animal**, v. 25, p. 1, 2017.

SHCHERBAK, I.; MILLAR, N.; ROBERTSON, G. P. Global meta analysis of the nonlinear response of soil nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) emissions to fertilizer nitrogen. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 111, n. 25, p. 9199-9204, 2014.

SIELING, K. Improved N transfer by growing catch crops - A challenge. **J. Kulturpflanz**, v. 71, p. 145-160, 2019.

SKINNER, R.H.; NELSON, C.J. Estimation of potential tiller production and site usage during tall fescue canopy development. **Annals of Botany**, v.70, n.6, p.493- 499, 1992.

SMIDT, N. W.; BRIMER, L. The use of herbs in pastures: an interview survey among bio-dynamic and organic farmers with dairy cattle. **Agriculture and Human Values**, v. 22, n. 3, p. 355-363, 2005.

SUTER, M. et al. Nitrogen yield advantage from grass–legume mixtures is robust over a wide range of legume proportions and environmental conditions. **Global change biology**, v. 21, n. 6, p. 2424-2438, 2015.

TAKAHASHI, W. et al. Identification of a novel major locus for gray leaf spot resistance in Italian ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.). **BMC plant biology**, v. 14, n. 1, p. 1-11, 2014.

TILMAN, D. et al. Plant diversity and composition: effects on productivity and nutrient dynamics of experimental grasslands. Biodiversity and ecosystem functioning: synthesis and perspectives. **Oxford University Press, Oxford, UK**, p. 21-35, 2002.

TILMAN, D., POLASKY, S., LEHMAN, C., Diversity, productivity and temporal stability in the economies of humans and nature. *Journal of Environmental Economics and Management*. v. 49, p. 405–426, 2005.

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

UNKOVICH, M. Nitrogen fixation in Australian dairy systems: review and prospect. ***Crop and Pasture Science***, v. 63, n. 9, p. 787-804, 2013.

VANCE, C. P. Enhanced agricultural sustainability through biological nitrogen fixation. In: ***Biological fixation of nitrogen for ecology and sustainable agriculture***. Springer, Berlin, Heidelberg, 1997. p. 179-186.

VENUTO, B.C. et al. Impact of seeding rate on annual ryegrass performance. ***Grass and Forage Science***, 59: 8-14, 2004.