

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS – CAV
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL – PPGCA

DANIELLI DOS SANTOS COMASSETTO

**O LEGADO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA E ALTURAS DE
MANEJO EM PASTOS DE VERÃO NA DINÂMICA DO AZEVÉM ANUAL**

LAGES

2023

DANIELLI DOS SANTOS COMASSETTO

**O LEGADO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA E ALTURAS DE
MANEJO EM PASTOS DE VERÃO NA DINÂMICA DO AZEVÉM ANUAL**

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: Produção Animal.

Orientador: Prof. Dr. André Fischer Sbrissia

LAGES

2023

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

Comassetto, Danielli dos Santos

O legado da adubação nitrogenada e alturas de manejo em pastos de verão na dinâmica do azevém anual / Danielli dos Santos Comassetto. -- 2023.

51 p.

Orientador: André Fischer Sbrissia

Dissertação (mestrado) -- Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal, Lages, 2023.

1. Legacy effect. 2. Nitrogênio. 3. Pastos biodiversos. I. Fischer Sbrissia, André . II. Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal. III. Título.

DANIELLI DOS SANTOS COMASSETTO

**O LEGADO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA E ALTURAS DE
MANEJO EM PASTOS DE VERÃO NA DINÂMICA DO AZEVÉM ANUAL**

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: Produção Animal.

Orientador: Prof. Dr. André Fischer Sbrissia

BANCA EXAMINADORA

Professor Dr. André Fischer Sbrissia

Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC

Membros:

Dr. Cassiano Eduardo Pinto

Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina - Epagri

Dr. Paulo Gonçalves Duchini

Engenheiro Agrônomo – Consultor autônomo

Lages, 14 de fevereiro de 2023.

Dedico este trabalho aos meus amados pais, Juarez Antônio Comassetto (*in memoriam*) e Mariana Souza dos Santos, maiores incentivadores e fontes inesgotáveis de amor, carinho, compreensão e apoio incondicional.

AGRADECIMENTOS

À Deus por me guiar, pela fé e por ser sempre força diante das dificuldades.

À minha mãe por ser sempre minha maior incentivadora, pelo amor incondicional, pelo amparo e estímulo nos momentos difíceis, por ser a força que me impulsiona na busca dos meus objetivos.

Ao meu pai (*in memoriam*) por ter sido sempre exemplo de força e coragem para que eu nunca desistisse dos meus objetivos.

Ao Prof. Dr. André Fischer Sbrissia, por ter me confiado a oportunidade de trabalhar no NUPEP, transmitindo incansavelmente valiosos ensinamentos e conselhos. Pela excelente orientação nesses dois anos de trabalho.

À UDESC, oportunidade e estrutura disponíveis para realização deste trabalho.

À CAPES pela concessão de bolsa de estudo.

A todos os professores do PPGCA UDESC que contribuíram com meu aprendizado e conhecimento.

Aos membros da banca Dr. Cassiano Eduardo Pinto e Dr. Paulo Gonçalves Duchini, ao qual agradeço pelas contribuições dadas a este trabalho.

A todos meus colegas e amigos integrantes do grupo NUPEP, em especial ao Daniel Barreta pela receptividade e parceria desde o início, em todas as etapas da condução do experimento e ao Fábio Winter pela paciência e disponibilidade em me ensinar e auxiliar no início do experimento, com certeza mais que colegas de grupo se tornaram grandes amigos.

Aos meus amigos, em especial a Renata Dornelles que já é minha parceira de jornada desde a graduação, e esteve presente ajudando nas atividades do experimento e, aos amigos conquistados ao longo do mestrado Rafaella Horstmann e Roberto Kappes, pelo companheirismo e suporte emocional que com toda certeza foram imprescindíveis.

As minhas amigas (Lu, Adri, Rapha,) que mesmo de longe, sempre se fizeram presente, obrigado pelos momentos de amizade.

A todos minha imensa gratidão, carinho e respeito!

“A humildade é o primeiro degrau da sabedoria”

São Tomás de Aquino

“A simplicidade é o último grau de sofisticação”

Leonardo da Vinci

***“Não há saber mais ou saber menos: há
saberes diferentes”***

Paulo Freire

RESUMO

Pastos biodiversos tem sido uma alternativa na intensificação sustentável das pastagens, uma vez que, por meio da complementaridade de espécies de diferentes grupos funcionais é possível obter melhor aproveitamento dos recursos fornecidos por estes ecossistemas pastoris. Neste estudo, temos como hipótese que alturas de manejo e doses de N aplicados no verão em pastos mistos compostos predominantemente por capim quicuiu (*Pennisetum clandestinum*) e tifton 85 (*Cynodon* spp.), e também, pelas leguminosas trevo-branco (*Trifolium repens*), cornichão (*Lotus corniculatus* L.), amendoim forrageiro (*Arachis pintoi*) alteram os padrões de dinâmica de crescimento e perfilhamento do azevém anual (*Lolium multiflorum* L.) cultivado na estação fria subsequente. Assim, o objetivo deste trabalho foi identificar estratégias de manejo de pasto perenes no verão que resultem em aumentos na produção de forragem do azevém anual na estação fria subsequente. A área experimental foi de aproximadamente 5670 m² e subdividida em 18 unidades experimentais de 315 m². O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com um arranjo fatorial 2x3, com três repetições por tratamento. Os tratamentos experimentais utilizados foram duas alturas de manejo pré-pastejo do dossel forrageiro (17 e 23 cm) e três doses de nitrogênio (50, 150, 250 kg de N ha⁻¹). Durante a estação fria foi empregado um manejo único, com altura de pré-pastejo do dossel forrageiro de 20 cm, associada a adubação de 50 kg de N ha⁻¹. Foram determinadas as características morfogênicas e estruturais através da técnica de perfilhos marcados, onde, 20 perfilhos foram marcados por unidade experimental e estes avaliados em intervalos de quatro dias. A dinâmica do perfilhamento do azevém anual foi determinada por meio da contagem mensal dos perfilhos surgidos e sobreviventes em três anéis de 0,01767m² alocados em cada unidade experimental, e através destes, calculou-se as taxas de aparecimento, mortalidade e sobrevivência de perfilhos e o índice de estabilidade do pasto. A altura de manejo e dose não afetaram as taxas de acúmulo de forragem do azevém anual, bem como, não influenciaram a densidade populacional de perfilhos, as taxas de aparecimento e sobrevivência de perfilhos e os índices estabilidade da população.

Palavras-chave: *Legacy effect*. Nitrogênio. Pastos biodiversos.

ABSTRACT

Biodiverse pastures have been an alternative in the sustainable intensification of pastures, since, through the complementarity of species from different functional groups, it is possible to obtain better use of the resources provided by these pastoral ecosystems. In this study, we hypothesize that management heights and N doses applied in the summer in mixed pastures composed predominantly of kikuyu grass (*Pennisetum clandestinum*) and tifton 85 (*Cynodon* spp.), and also, white clover (*Trifolium repens*) legumes, birdsfoot trefoil (*Lotus corniculatus* L.), forage peanuts (*Arachis pintoi*) alter the patterns of growth and tillering dynamics of annual ryegrass (*Lolium multiflorum* L.) cultivated in the subsequent cold season. Thus, the objective of this work was to identify perennial summer pasture management strategies that result in increases in annual ryegrass forage production in the subsequent cool season. The experimental area was approximately 5670 m² and subdivided into 18 experimental units of 315 m². The experimental design used was randomized blocks with a 2x3 factorial arrangement, with three replications per treatment. The experimental treatments used were two pre-grazing heights of the forage canopy (17 and 23 cm) and three doses of nitrogen (50, 150, 250 kg of N ha⁻¹). During the cold season, a single management was used, with a pre-grazing height of the forage canopy of 20 cm, associated with fertilization of 50 kg of N ha⁻¹. The morphogenetic and structural characteristics were determined through the technique of marked tillers, where 20 tillers were marked per experimental unit and evaluated at intervals of four days. The tillering dynamics of the annual ryegrass was determined by means of the monthly count of the emerged and surviving tillers in three rings of 0.01767m² allocated in each experimental unit, and through these, the appearance, mortality and survival rates of tillers and the pasture stability index. The management height and dose did not affect the forage accumulation rates of the annual ryegrass, as well as, they did not influence the population density of tillers, the appearance and survival rates of tillers and the population stability indices.

Keywords: *Legacy effect*. Nitrogen. Biodiverse pastures.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Precipitação e temperatura média ao longo do período experimental e valores médios dos últimos 68 anos em Lages, Santa Catarina, Brasil. Fonte: Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – CPTEC/INPE.27
- Figura 2. Densidade populacional de perfilhos (DPP; perfilhos.m⁻²) em pastos de azevém anual sobressemeado em pastos biodiversos de verão manejados em diferentes alturas e doses de N em duas épocas do ano.35

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1. Atributos morfológicos e estruturais em perfilhos de pastos de azevém anual sobressemeado em pastos perenes de verão manejados com diferentes alturas e doses de N. 34
- Tabela 2. Taxa de aparecimento de perfilhos (TAP), taxa de sobrevivência de perfilhos (TSP), índice de estabilidade linear (IE Linear) e exponencial (IE Exponencial), e meia vida dos perfilhos em pastos de azevém anual sobressemeados em pastos biodiversos de verão manejados em diferentes alturas e doses de N. 36
- Tabela 3. Taxa de aparecimento de perfilhos (TAP), taxa de sobrevivência de perfilhos (TSP), índice de estabilidade linear (IE Linear) e exponencial (IE Exponencial) e meia vida de pastos de azevém anual sobressemeados em pastos biodiversos de verão manejados em diferentes alturas e dose de N ao longo das gerações. 37
- Tabela 4. Níveis de $\text{NO}_3^-/\text{NO}_2^-$ e NH_3^+ (mg N kg^{-1} de solo seco) nas profundidades de 0 a 10 cm e de 10 a 20 cm do solo coletadas em junho em áreas com pastos de azevém anual cultivado em ambiente manejado em diferentes alturas de manejo e doses de nitrogênio. 37

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
2	REVISÃO DA LITERATURA.....	16
2.1	PASTOS BIODIVERSOS	16
2.2	ESPÉCIES FORRAGEIRAS.....	18
2.2.1	Azevém anual (<i>Lolium multiflorum</i> L.).....	18
2.2.2	Capim-quicuiu (<i>Pennisetum clandestinum</i> Hochst. ex. Chiov).....	19
2.2.3	Tifton 85 (<i>Cynodon</i> spp. L.)	19
2.2.4	Trevo branco (<i>Trifolium repens</i> L.).....	20
2.2.5	Cornichão (<i>Lotus corniculatus</i> L.).....	21
2.2.6	Amendoim forrageiro (<i>Arachis pintoi</i>).....	21
2.3	EFEITO LEGADO (“LEGACY EFFECT”)	22
2.4	USO DO NITROGÊNIO EM PASTAGENS.....	23
3	HIPÓTESE.....	25
3.1	HIPÓTESE GERAL	25
3.2	HIPÓTESES ESPECÍFICAS.....	25
4	OBJETIVO.....	26
5	MATERIAL E MÉTODOS	27
5.1	LOCAL E ÉPOCA DO EXPERIMENTO	27
5.2	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL, TRATAMENTOS E MANEJO.....	28
5.3	MORFOGÊNESE, CARACTERÍSTICAS ESTRUTURAIS E ACÚMULO DE FORRAGEM	29
5.3.1	Número de folhas vivas por perfilho.....	29
5.3.2	Filocrono.....	30
5.3.3	Longevidade das folhas	30
5.3.4	Taxa de alongamento foliar, senescência e acúmulo de forragem	30
5.4	DENSIDADE E DINÂMICA POPULACIONAL DE PERFILHOS	31
5.4.1	Densidade populacional de perfilhos (DPP).....	31
5.4.2	Dinâmica populacional de perfilhos.....	31
5.4.3	Taxas de aparecimento, mortalidade e sobrevivência de perfilhos.....	32
5.4.4	Índice de estabilidade linear (IE Linear) e índice de estabilidade exponencial (IE Exponencial).....	32
5.4.5	Tempo de meia vida de perfilhos.....	33

5.5	DETERMINAÇÃO DO N MINERAL (NO ₃ ⁻ /NO ₂ ⁻ E NH ₃ ⁺) NO SOLO.....	33
5.6	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	33
6	RESULTADOS	34
6.1	ACÚMULO DE FORRAGEM, CARACTERÍSTICAS MORFOGÊNICAS E ESTRUTURAIS	34
6.2	DINÂMICA POPULACIONAL DE PERFILHOS.....	35
6.3	NÍVEIS DE N MINERAL (NO ₃ ⁻ /NO ₂ ⁻ E NH ₃ ⁺) NO SOLO.....	37
7	DISCUSSÃO	38
8	CONCLUSÃO.....	41
9	REFERÊNCIAS.....	42

1 INTRODUÇÃO

O ecossistema de pastagens é fundamentalmente importante na produção de alimentos de origem animal, por meio do fornecimento de forragem, ocupando cerca de 40% da superfície terrestre (DILLON et al., 2002; LABIM et al., 2011; HEWINS et al., 2018). Áreas pastoris são, também, responsáveis pela entrega dos mais variados serviços ecossistêmicos, tais como, regulação do clima, conservação e melhoria do solo, manutenção da diversidade, entre outros (LAMARQUE et al., 2011; ZHAO et al., 2020).

Ao longo dos anos os sistemas de produção animal foram se tornando cada vez mais especializados, com o foco voltado principalmente para o monocultivo de gramíneas altamente produtivas, mas, que exigem altos níveis de aporte de nutrientes, realizados geralmente na forma de fertilizantes sintéticos (FRAME, 1991; DAEPP, NÖSBERGER & LÜSCHER, 2001; WOODARD et al., 2003; HERRERO et al., 2016). Apesar de apresentarem altos rendimentos de forragem, pastagens intensivamente manejadas, podem resultar em impactos ambientais negativos, como emissões de gases de efeito estufa, poluição da água e perda de biodiversidade (WOODARD et al., 2003; HERRERO et al., 2016).

Com isso, surge a necessidade de aumentar a eficiência do uso dos recursos de forma sustentável, juntamente com manutenção dos índices produtivos satisfatórios. Nesse contexto, a utilização de pastos biodiversos vem se consolidando como uma alternativa ao monocultivo (MARQUARD et al., 2009; FINN et al., 2013) uma vez que o uso combinado de espécies complementares permite uma melhor eficiência no uso dos recursos disponíveis.

O efeito da diversidade de espécies no funcionamento de ecossistemas pastoris tem sido amplamente estudado, mas poucos exploram os efeitos da diversidade de plantas em cultivos sucessivos (GRANGE et al., 2022). Diversos fatores bióticos e abióticos influenciam no desempenho de plantas cultivadas em sistemas de rotação sendo que alguns deles podem ser controlados por meio do manejo (GÖTZE et al., 2017; GARLAND et al., 2021). Assim, o manejo empregado em uma cultura antecessora, associados às condições edafoclimáticas do local onde as espécies estão implantadas, podem resultar em efeitos persistentes em cultivos sucessivos, o chamado “*legacy effect*” (efeito legado).

Para que os benefícios da biodiversidade sejam potencializados, o manejo desses pastos é de fundamental importância, de forma que possibilitem que as espécies implantadas persistam na área e participem efetivamente da mistura (DUCHINI, 2017; TAMELE et al., 2018, MIQUELOTO et al., 2020). Assim, neste estudo propusemos verificar se o manejo da adubação nitrogenada e alturas do pasto na estação quente altera a dinâmica de perfilhamento e aspectos morfogênicos dos pastos da estação fria.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 PASTOS BIODIVERSOS

A busca pela intensificação sustentável dos sistemas pastoris tem sido crescente nos últimos anos, e nesse cenário, a utilização de pastos biodiversos são uma alternativa promissora. Estudos recentes, indicam que estes ambientes apresentam maior estabilidade produtiva, plasticidade a eventos adversos, eficiência no uso de recursos, além disso, incrementos em biodiversidade resultam em aumento na produção de forragem e, estão diretamente atrelados a manutenção dos mais variados serviços ecossistêmicos, tornando-se mais sustentáveis em longo prazo (DUCHINI et al., 2016; JING et al., 2017; SOLLENBERGER et al., 2019).

Conforme Yachi e Loreau (1999) o aumento da diversidade de espécies oferece um efeito seguro, no qual, misturas com mais espécies garantem que algumas espécies continuem funcionando quando outras falham. Jing et al. (2017) demonstram que alguns estudos obtiveram resultados contrastantes quanto a utilização da diversidade de espécies na produção de forragem em pastos biodiversos, onde, constaram que o efeito de espécies diversas no rendimento de forragem *per se* não é tão importante, quanto o de certos grupos funcionais de plantas e/ou a combinação desses grupos funcionais. Para Vibart et al. (2016) a presença de espécies específicas no pasto é mais relevante para a produção de forragem e na dinâmica do N do que o número de espécies presentes no pasto, enfatizando o papel da complementaridade dos tipos funcionais e sua adaptação ao ambiente em que estão inseridas.

De acordo com Hector et al. (2002), a complementaridade de espécies ocorre via três mecanismos: diferenciação de nicho, interações positivas e efeitos de seleção. A diferenciação de nicho ocorre devido a diferentes características morfológicas, estruturais e fisiológicas das espécies, que permitem diferentes formas do uso dos recursos no espaço e no tempo, otimizando assim, a exploração de recursos tanto acima como abaixo do solo. As interações positivas resultam da facilitação entre espécies que é quando uma dada espécie se beneficia de alguma característica inerente a outra espécie. Já os efeitos de seleção é quando uma dada espécie possui maior adaptabilidade em um ambiente, tornando-se predominante à outras espécies e apresentando melhor desempenho.

As misturas mais comumente utilizadas são formadas por espécies de gramíneas e leguminosas, e são um exemplo clássico da complementaridade via interações positivas,

uma vez que, as gramíneas se beneficiam do N fixado no solo pelas leguminosas. Mas, embora o uso de espécies complementares para melhor aproveitamento do uso dos recursos esteja predominantemente associado ao uso de espécies de famílias diferentes, alguns estudos apontam que espécies de mesma família, mas com dissimilaridades funcionais e morfofisiológicas, também podem ser utilizadas para compor sistemas mistos de pastagens (CRUZ et al., 2002; SILVEIRA et al., 2010), como por exemplo, aumento na diversidade de espécies com misturas exclusivas de gramíneas.

Pastos multiespecíficos, compostos por diferentes grupos funcionais, também refletem positivamente numa maior estabilidade produtiva temporal (GRIFFIN et al., 2009; HECTOR et al., 2010) e maior multifuncionalidade (SUTER et al., 2021), porque são mais resistentes ou resilientes a estresses ambientais ou biológicos causados pelas mudanças climáticas, devido a diferenças de tolerância entre as espécies (COTTINGHAM et al., 2001; POLLEY et al., 2013).

Diversos estudos em pastagens fertilizadas e altamente produtivas (HUSSE et al., 2017) já evidenciaram inúmeros benefícios oferecidos pela associação de gramíneas e leguminosas, como a diminuição e maior eficiência do uso do nitrogênio (NYFELER et al., 2011; SUTER et al., 2015), aumento no rendimento de biomassa e a estabilidade do rendimento (FINN et al., 2013; HAUGHEY et al., 2018) e, aumento na supressão de ervas daninhas (FRANKOW-LINDBERG, 2012; SUTER et al., 2017; CONNOLLY et al., 2018), quando comparadas ao uso das mesmas espécies em monocultivo.

Esses estudos, também demonstraram que é possível associar um número relativamente baixo de espécies e obter efeitos positivos destas misturas, desde que se compreenda os diferentes grupos funcionais utilizando-os com maior eficiência (LÜSCHER et al., 2014, SUTER et al., 2021). No que diz respeito à captura de nutrientes, por exemplo, a complementaridade de nicho pode ser baseada na captura de diferentes formas químicas de um nutriente, bem como na complementaridade espacial e/ou temporal (MCKANE et al., 2002).

É relativamente bem estabelecido que pastos biodiversos compostos por diferentes grupos funcionais de plantas (principalmente a associação entre gramíneas e leguminosas) podem atender às necessidades primárias de produtividade, exigindo menos insumos de fertilizantes sintéticos de N do que as monoculturas de gramíneas, por exemplo (NYFELER et al., 2011; LÜSCHER et al., 2014; SUTER et al., 2015; HUSSE

et al., 2017; GRANGE et al., 2022). No entanto ainda há uma carência de estudos que verifiquem como pastos multiespecíficas e o manejo neles empregados podem influenciar no rendimento de pastos cultivados subsequentemente em sistemas de rotação exclusivamente pecuários. O efeito da diversidade de plantas no funcionamento do ecossistema foi bem estudado, mas poucos experimentos exploram os efeitos da diversidade de plantas na rotação de culturas (GRANGE et al., 2022). Assim, faz-se imprescindível estudos que investiguem se há um efeito legado (“*legacy effect*”) de pastagens biodiversas, de modo, a entender como as espécies antecessoras exploram e utilizam os recursos e, como isso irá afetar no desempenho das espécies sucessoras.

2.2 ESPÉCIES FORRAGEIRAS

Neste item serão abordadas características e aspectos produtivos, relacionados as espécies utilizadas para compor o pasto biodiverso deste estudo.

2.2.1 Azevém anual (*Lolium multiflorum* L.)

O azevém anual (*Lolium multiflorum* L.) é uma gramínea forrageira nativa do sul da Europa (HANNAWAY et al., 1999) e a segunda forrageira de clima temperado mais utilizada no Brasil (CARVALHO et al., 2020), sendo amplamente utilizada no sul do país devido principalmente a sua adaptação às condições edafoclimáticas (EVERS et al., 1997).

Caracteriza-se por apresentar elevada produção de forragem, boa capacidade de rebrote, tolerância ao pastejo e ao excesso de umidade, além de apresentar alta aceitabilidade e digestibilidade (CARÁMBULA, 1977; TAKAHASHI et al., 2014). Possui hábito de crescimento ereto e tem a habilidade de retornar nas áreas por meio de ressemeadura natural, além de apresentar alta eficiência no uso de nitrogênio e elevada capacidade de perfilhamento (LOPES et al., 2009).

Geralmente, o início do estabelecimento do azevém anual se dá no outono e é frequentemente sobressemeado em áreas com pastagens perenes de estação quente (EVERS et al., 1997), bastante utilizado em associação com outras espécies (GUZATTI et al., 2015; DUCHINI et al., 2016), bem como, em rotação em sistemas integrados de produção (CARVALHO et al., 2005; NETO, et al., 2014; FOX et al., 2020).

2.2.2 Capim-quicuiu (*Pennisetum clandestinum* Hochst. ex. Chiov)

O capim-quicuiu (*Pennisetum clandestinum* Hochst. ex. Chiov) é uma gramínea perene de verão natural da África, com boa adaptação em regiões de clima subtropical (WHITNEY, 1974). Possui hábito de crescimento estolonífero e rizomatoso, é sensível a seca e moderadamente tolerante a geadas, tolera pH de solo de até 4,5, é responsiva à adubação nitrogenada, apresentando elevada produção de forragem e boa qualidade nutritiva, e é uma planta caracterizada como competidora de recursos (SÁNCHEZ 2000; FULKERSON & LOWE, 2002; MOORE et al., 2006; FONTANELLI et al., 2012). Sbrissia et al. (2018) verificaram em região de clima Cfb produção de forragem concentrada entre os meses de dezembro a maio, paralisando seu crescimento no inverno, devido as baixas temperaturas e geadas, com rebrote no final da primavera. E, apresentando melhores rendimentos com manejos de altura em pré pastejo de 15 até 25 cm associados a uma desfolha moderada (<50% altura pré pastejo).

Em um estudo de longo prazo em pastos de capim quicuiu sobressemeado com azevém anual, Swanepoel et al. (2014a) concluíram que o uso dessas pastagens aumentou os níveis de matéria orgânica do solo, uma vez que, a diversidade vegetal dessas espécies influenciou a composição dos exsudatos radiculares, contribuindo para a diferença na diversidade microbiana do solo. Em outro estudo, estes mesmos autores relataram altas taxas de produção de forragem de azevém anual, quando cultivado em sobressemeadura em pastos de capim-quicuiu, com produção anual de até 20 t ha⁻¹ (SWANEPOEL et al., 2014b).

2.2.3 Tifton 85 (*Cynodon* spp. L.)

O Tifton 85 (*Cynodon* spp. L.) é um híbrido desenvolvido no Departamento de Estado da Agricultura e pela Universidade da Geórgia, nos EUA. Possui hábito de crescimento prostrado, é estolonífero e rizomatoso, requer um pH de solo de pelo menos 5,5 e é altamente responsivo a fertilização de nitrogênio, produzindo quantidades elevadas de forragem (FONTANELLI et al., 2012). Com relação ao rendimento de matéria seca, Ribeiro & Pereira (2011) verificaram aumento linear nas taxas de crescimento até a dose 400 kg ha⁻¹ de N por ano, com eficiência de 36,8 kg de MS por kg de N, outros estudos revelaram produtividade de MS de até 55 kg ha⁻¹d⁻¹ (DE MATOS et al., 2013; GOMES et al., 2015). Além disso, as plantas do gênero *Cynodon* possuem boa

flexibilidade de manejo (SOHM et al., 2014), sendo recomendada manejo de pastejo com altura em torno de 20 cm (PINTO et al., 2001).

Olivo et al. (2019) avaliando pastos mistos de tifton 85 com amendoim forrageiro, adubado com $100 \text{ kg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}\text{N}$, verificaram rendimento de forragem semelhante quando comparado com a monocultura de tifton adubada com $200 \text{ kg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ de N. Silva et al. (2018) estudando o efeito de espécies de estação fria sobressemeado em Tifton 85, verificaram que a produção de massa de forragem foi superior com sobressemeadura do azevém anual em comparação a aveia, com valores de $4.886 \text{ kg MS ha}^{-1}$ e $3.591 \text{ kg MS ha}^{-1}$, respectivamente.

2.2.4 Trevo branco (*Trifolium repens* L.)

O trevo branco (*Trifolium repens* L.) é uma espécie originária dos países do Leste do Mediterrâneo, atualmente encontra-se distribuída mundialmente, sendo uma das principais plantas forrageiras de clima temperado (BALL, HOVELAND & LACEFIELD, 1991). É uma leguminosa perene de estação fria, estolonífera, com habilidade de ressemeadura e exige solos com boa fertilidade e pH próximo a 6,0 (FONTANELI et al., 2012).

Geralmente, o uso do trevo branco ocorre em associação com gramíneas, especialmente com azévem perene (*Lolium perenne*) (VINTHER & JENSEN, 2000), isso devido a sua elevada capacidade de fixação biológica de nitrogênio, podendo ser transferido para a gramínea em associação.

Carlsson & Huss-Danell (2003) revisando diversos estudos sobre a fixação simbiótica de nitrogênio em leguminosas forrageiras, encontraram valores de até $545 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ fixado em tecidos vegetais acima do solo em pastagens de trevo branco, associada ou não a gramíneas, de diversos locais de clima temperado e subtropical. Rasmussen et al. (2007) encontraram até 40% do teor de N em gramíneas (*Lolium perenne* L.) derivado do trevo branco em pastagens multiespecíficas na Dinamarca. Resíduos de trevo branco apresentaram altas taxas de mineralização após sua incorporação na matriz do solo (NEERGAARD 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).

2.2.5 Cornichão (*Lotus corniculatus* L.)

O cornichão (*Lotus corniculatus* L.) é uma espécie perene de estação fria, com origem possivelmente na região do Mediterrâneo, onde há maior concentração de espécies do gênero *Lotus* (ALLEN & ALLEN, 1981). Possui valor nutricional elevado, com a vantagem de não causar timpanismo nos animais, adapta-se a uma grande variedade edáfica, em solos com pH que varia entre 5,5 e 7,5 (MACADAM & GRIGGS, 2006; SANTACOLOMA et al., 2015), e com baixos percentuais de fósforo e nitrogênio (APRAÉZ, 2014). Com estabelecimento inicial lento, é recomendado sua utilização para pastejo a partir do segundo ano após implantação, a produtividade média é de 4 a 6 toneladas de MS ha⁻¹ e concentra-se nos meses de primavera (FONTANELI et al., 2012). Embora, seja uma espécie amplamente utilizada na região sul do Brasil, principalmente no Rio Grande do Sul ainda há uma escassez de estudos que avaliem a produtividade da espécie quando utilizada em pastos mistos.

2.2.6 Amendoim forrageiro (*Arachis pintoi*)

O amendoim forrageiro (*Arachis pintoi*) é uma espécie nativa do Brasil (BODDEY et al., 2020) é uma leguminosa tropical estolonífera perene, com sistema radicular profundo e denso (FISHER & CRUZ, 1994), amplamente utilizada em condições de pastejo nas regiões tropicais. Devido a sua expansão clonal, possui uma vantagem competitiva, aumentando sua capacidade de persistência e tornando-a uma das leguminosas de estação quente mais recomendadas para compor ambientes de pastos mistos (TOMELE et al., 2018).

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⁻¹ correlacionando-se com a produção de matéria seca (NGOME E MTEI, 2010). Carvalho et al. (2019) verificaram que pastos manejados entre 15 e 20 cm fixam mais nitrogênio em relação aos manejados a 5 e 10 cm. Jochims et al., (2015) utilizando amendoim forrageiro em consorciação com Grama Missioneira gigante encontraram produtividades de até 13.023 kg ha⁻¹. A presença do amendoim forrageiro em pastos de capim marandu, aumentou a

massa de forragem quando comparados ao monocultivo da gramínea, e apresentou massa de forragem semelhante, na primavera e no verão, em relação ao monocultivo de capim marandu adubado com 150 kg de N ha⁻¹ (HOMEM et al., 2020).

2.3 EFEITO LEGADO (“*LEGACY EFFECT*”)

Segundo Wurst & Ohgushi (2015), o chamado “*legacy effect*” (efeito legado) pode ser definido como os efeitos a longo prazo que persistem no sistema produtivo, após a interação biótica entre os componentes que originaram estes efeitos, já tenha sido cessada. Para Van Der Putten et al. (2016), o efeito legado são efeitos persistentes em culturas sucessivas que podem resultar no acúmulo de nutrientes e/ou estimulação do funcionamento biológico do solo, por meio de uma troca planta-solo.

Grange et al. (2022), explicam que o efeito legado da diversidade de espécies pode ocorrer aumentando a produção de biomassa em pastagens, elevando o rendimento da cultura seguinte, e devido ao aumento da biomassa abaixo do solo e da atividade microbiana, conseqüentemente, poderá, aumentar a matéria orgânica e o nitrogênio disponível para uma cultura subsequente. Por outro lado, os autores destacam que o melhor uso dos recursos disponíveis por pastos multiespecíficos, podem resultar em níveis mais baixos de nutrientes disponíveis para a cultura seguinte.

Fox et al. (2020), observaram aumento de 31% na produtividade do azevém anual cultivado em sucessão à pastos mistos compostos por 50% de leguminosas, comparados a monoculturas anteriores sem leguminosa. evidenciando, o efeito legado associado a maior absorção de N do solo pela cultura seguinte induzidos pelas leguminosas. Grange et al. (2022), também atribuíram o melhor desempenho da cultura em sucessão a pastos multiespecíficos aos efeitos sinérgicos entre a produção de matéria seca e proporção de leguminosas presentes na mistura, de modo que, as misturas semeadas com 33% a 75% de proporção de leguminosas permitiram maior produtividade de matéria seca do que as monoculturas de gramíneas.

Embora estes estudos do efeito legado associado a maior absorção de N do solo pela cultura seguinte venham elucidando e assegurando a importância das leguminosas em pastos mistos, faz-se necessário verificar também a resposta de como pastos compostos majoritariamente por diferentes espécies de gramíneas forrageiras irão

influenciar na dinâmica do solo e ciclagem de nutrientes, refletindo em um efeito legado nos pastos cultivados em sucessão.

2.4 USO DO NITROGÊNIO EM PASTAGENS

O nitrogênio é o macronutriente mais limitante para a produção vegetal, pois atua na síntese de proteínas, que, serão utilizadas em diversos processos metabólicos nas plantas (RAIJ, 2011). As gramíneas forrageiras em geral, são altamente demandantes e responsivas a grandes quantidades de nitrogênio, pois este nutriente está diretamente relacionado com a síntese de compostos orgânicos, que podem alterar os parâmetros morfogênicos e as características estruturais (LEMAIRE & CHAPMAM, 1996; LEMAIRE et al., 2011), que por sua vez, irão refletir sobre o acúmulo de massa de forragem. Assim, as respostas produtivas dos pastos à adubação nitrogenada dependerão da relação entre a taxa fotossintética e a concentração de N, da expansão e distribuição espacial das folhas no dossel da pastagem e seu impacto na interceptação luminosa (GASTAL & LEMAIRE, 2002).

Grande parte do nitrogênio vem da mineralização da matéria orgânica do solo estimulada pelo preparo do solo (MATUS et al., 1997), de forma que a repetição regular da renovação do pasto leva à perda gradual da matéria orgânica. Além disso, a baixa fertilidade natural dos solos e a não reposição dos nutrientes perdidos no processo produtivo somados a perda de N via volatilização, lixiviação, escoamento superficial (FAGERIA & BALIGAR, 2005), exigem a reposição constante deste nutriente, sendo na maioria das vezes aplicado na forma de fertilizantes inorgânicos, resultando em altos custos de produção e impactos ambientais.

O uso intensivo do N ao longo dos anos elevou as produtividades dos cultivos em geral, mas também resultou na diminuição da eficiência de absorção dos fertilizantes nitrogenados, que é a proporção de N aplicada a um campo que é absorvida pela cultura (TILMAN et al., 2002; FOLEY et al., 2011; NORTON & OUYANG, 2019). As culturas podem consumir apenas 40–60% do N aplicado em uma estação de crescimento, com maior perda associada a uma maior taxa de aplicação (DRINKWATER & SNAPP, 2007; LASSALETTA et al., 2014). Assim, em decorrência das preocupações a cerca dos impactos ambientais da poluição de N, aliado ao desejo da diminuição de custos

produtivos, mas, mantendo altos rendimentos das culturas, a pesquisa deve se concentrar em otimizar a eficiência de absorção de N por meio de melhores práticas de manejo.

Nesse contexto, a utilização de pastos biodiversos com o uso combinado de espécies de gramíneas e leguminosas é cada vez mais crescente, com evidências de transferências significativas de N das leguminosas 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 alto potencial de transferência de N abaixo do solo (HØGH-JENSEN & SCHJOERRING 1997; OBERSON et al., 2013), por meio da decomposição das raízes das leguminosas e de exsudatos das raízes (FUSTEC et al., 2010; HAMMELEHLE et al., 2018). Resíduos de leguminosas são reconhecidos pelo alto teor de N e baixa relação C/N, sendo assim, induz a mineralização e, assim, aumentando a disponibilidade de N do solo para a cultura seguinte (SIELING, 2019).

Fox et al. (2020) avaliando o efeito legado da proporção leguminosas sobre o desempenho do *Lolium multiflorum* cultivado em sequência, obtiveram resultados que demonstraram que com proporções de 50% de leguminosas cultivadas anteriormente à gramínea, houve um efeito herdado via solo, refletindo na melhoria do desempenho da cultura seguinte, com respostas positivas em produção de biomassa e rendimento de nitrogênio.

Vibart et al. (2016) verificaram que a maior diversidade de espécies em pastagens pode aumentar a absorção de N do pasto, atribuível à complementaridade de espécies através da diferenciação em profundidades de enraizamento e atividade sazonal de crescimento da planta. Nesse sentido, a integração de pastagens com uso de culturas em sucessão é uma prática que pode introduzir substratos ricos em carbono (C) para decomposição microbiana, as alocações de C abaixo do solo de espécies de pastagens perenes aumentam com várias estações de crescimento (BOLINDER et al., 2002) e podem aumentar os conteúdos de C orgânico do solo ao longo do tempo (VAN EEKEREN et al., 2008; DE SANT-ANNA et al., 2017; SCHIPANSKI et al., 2017). Consequentemente, este manejo pode estimular a imobilização de N pelos heterotróficos do solo pelas espécies antecessoras, podendo estar disponível para a cultura seguinte, limitando assim as perdas de fertilizantes de N (SCHIMEL & BENNET, 2004; CHAVES et al., 2007; DRINKWATER & SNAPP, 2007).

3 HIPÓTESE

3.1 HIPÓTESE GERAL

Alturas de manejo e doses de N aplicados no verão alteram os padrões de dinâmica de crescimento e perfilhamento do azevém anual (*Lolium multiflorum* L.) na estação fria subsequente.

3.2 HIPÓTESES ESPECÍFICAS

a) Maior dose N não é completamente utilizada pelas espécies perenes na estação quente, legando um efeito residual do nutriente para o azevém-anual na estação fria subsequente.

b) Menor altura de pastejo na estação quente aumenta a diversidade de espécies, e assim, reflete em maior efeito legado positivo para o azevém-anual na estação fria.

4 OBJETIVO

Identificar estratégias de manejo de pasto no verão que resultem em aumentos na produção de forragem do azevém anual (*Lolium multiflorum* L.) na estação fria subsequente.

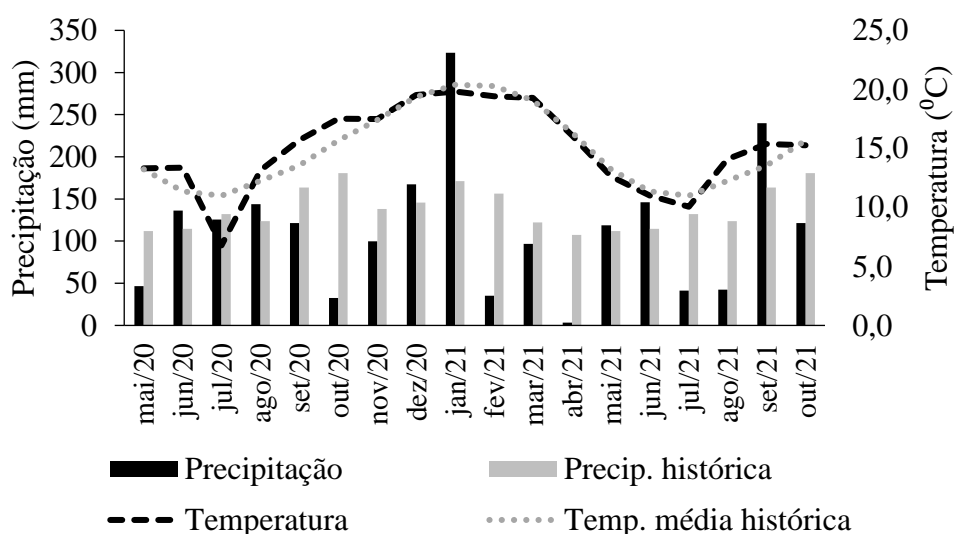
5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 LOCAL E ÉPOCA DO EXPERIMENTO

O experimento foi conduzido no centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina (CAV-UDESC), no município de Lages, Santa Catarina, Brasil (27° 48' 58" Sul e 50° 19' 34" Oeste, altitude de 910 metros acima do nível do mar). O período experimental foi de dois anos, se estendendo de dezembro de 2019 a novembro de 2020 (tratamentos aplicados nos pastos de verão de 20 de dezembro de 2019 à 11 de maio de 2020 e avaliações nos pastos de azevém anual de 16 de junho a 15 de novembro de 2020) e de novembro de 2020 a outubro de 2021 (12 de novembro de 2020 a 25 de abril de 2021 a aplicação dos tratamentos e 09 de julho a 27 de outubro realizadas as avaliações no azevém anual).

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é o do tipo Cfb, subtropical úmido com verões amenos (Alvares et al., 2013). Os dados climáticos referentes ao período experimental e médias históricas (68 anos) estão apresentados na Figura 1.

Figura 1. Precipitação e temperatura média ao longo do período experimental e valores médios dos últimos 68 anos em Lages, Santa Catarina, Brasil. Fonte: Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – CPTEC/INPE.



Fonte: elaborado pelo autor.

A área experimental utilizada foi de 5670 m², que foi dividida em 18 unidades experimentais, com área de 315 m² cada. O solo do local é classificado como Cambissolo Húmico Alumínico Léptico (Embrapa, 2013), com as seguintes características químicas na camada de 0 a 20 cm: pH (H₂O) = 6,0; MO = 4,3%; K = 99 mg dm⁻³; P = 8,4 mg dm⁻³; Ca = 9,3 cmolc dm⁻³; Mg = 7.6 cmolc dm⁻³; H + Al = 2,9 cmolc dm⁻³; CTC pH 7,0 = 20 cmolc dm³; saturação de bases = 85%; e argila = 40%.

A área era formada pelas espécies *Arachis pintoi*, *Pennisetum clandestinum* e *Cynodon* spp., implantadas em fevereiro de 2018, *Lotus corniculatus* L. cv. São Gabriel e *Trifolium repens* L. cv. Zapican, implantadas em maio de 2019, as quais foram manejadas com pastejo intermitente até meados de maio de cada ano experimental (2020 e 2021, respectivamente), momento em que todos os piquetes foram rebaixados a altura de 10 cm e na sequência realizada a sobressemeadura em sistema de plantio direto da espécie *Lolium multiflorum* L. cv. La Estanzuela 284 com densidade de 25 kg de semente ha⁻¹ e espaçamento entre linhas de 17 cm.

5.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL, TRATAMENTOS E MANEJO

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados (DBC) com um arranjo fatorial 2x3, com três repetições por tratamento. Os tratamentos experimentais utilizados foram duas alturas de manejo pré-pastejo do dossel forrageiro (17 e 23 cm) e três doses de nitrogênio (50, 150, 250 kg de N ha⁻¹). O período experimental foi dividido em duas épocas: estação quente (dezembro 2019 a maio de 2020 e novembro de 2020 a maio de 2021), e estação fria (junho a outubro de 2020 e 2021). Os tratamentos foram empregados na estação quente em pastos perenes de verão com predomínio de tifton-85 e capim-quicuiu e avaliados no inverno em pastos de azevém anual, a fim de, poder avaliar um possível “*legacy effect*” do manejo de verão sobre o a dinâmica do azevém na estação fria subsequente. Durante a estação fria foi empregado um manejo único, com altura de pré-pastejo do dossel forrageiro de 20 cm, associada a adubação de 50 kg de N ha⁻¹ aplicado em todos os tratamentos no início do perfilhamento do azevém anual.

Durante o período de verão o método de pastejo adotado foi intermitente, no qual, os animais eram alocados quando a altura média da unidade experimental alcançava as alturas pré-definidas, 17 e 23 cm, e permaneceram até a altura de resíduo alcançar 60% da altura de entrada, 10 e 14 cm, respectivamente, ou seja, remoção de 40% da altura em

pré-pastejo. A mesma diretriz de pastejo foi utilizada na estação fria para o azevém anual, com altura pré-pastejo de 20 cm e pós-pastejo de 12 cm. As alturas 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 (BARTHAM, 1986 adaptado).

5.3 MORFOGÊNESE, CARACTERÍSTICAS ESTRUTURAIS E ACÚMULO DE FORRAGEM

As características morfogênicas e estruturais foram determinadas através da técnica de perfilhos marcados (DAVIES, 1993). A marcação dos perfilhos era realizada sempre no pós-pastejo, onde, eram escolhidos 20 perfilhos, representativos da condição média dos pastos em cada unidade experimental. Os perfilhos eram divididos de forma equidistantes, em duas transectas com 10 perfilhos cada, marcados e identificados com um anel plástico enumerado. Em cada perfilho mediu-se com uma régua milimetrada, o comprimento do colmo (do solo até a última lígula exposta), perfilho estendido (do solo até a ponta da folha mais alta quando esticadas), e o comprimento de cada folha (medido da lígula até a ponta da respectiva folha; para folhas em expansão, sem lígula exposta, era tomada como referência a última lígula exposta; para folhas em senescência foram considerados os comprimentos de lâmina verde, ou seja, até o local onde a senescência havia avançado). Também, foram identificados a maturidade (expansão ou madura) e o estado de integridade das folhas (intacta ou desfolhada). As avaliações eram realizadas a cada quatro dias, e cada ciclo de avaliação compreendeu o período entre o pós e pré-pastejo (quando as metas de altura de cada tratamento eram atingidas), a cada ciclo um novo grupo de perfilhos era selecionado para as avaliações.

5.3.1 Número de folhas vivas por perfilho

Para o cálculo do número de folhas vivas (folhas vivas/perfilho) foram consideradas todas as folhas existentes nos perfilhos, exceto as folhas mortas (100% senescidas). Foi determinado os valores fixos de 1 para folhas maduras e 0,5 para folhas em expansão e senescentes e calculado conforme a seguinte equação (1):

$$NFV = \Sigma (\text{folhas em expansão} + \text{maduras} + \text{senescentes}) \quad (1)$$

5.3.2 Filocrono

Filocrono é o intervalo de tempo para o surgimento de duas folhas consecutivas, e é o equivalente ao inverso da taxa de aparecimento foliar (TAF), que é o número de folhas surgidas em um dado intervalo de tempo. O filocrono foi calculado com base na somatória calórica expressa em graus-dia (GD) (Ometto, 1981), onde, adotou-se para o cálculo a temperatura basal de 6°C (EVERS et al., 1997). E foi obtido a partir da equação (2) a seguir:

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

Onde: TAF = n° de novas folhas/n° de perfilhos x duração da avaliação (em GD)

5.3.3 Longevidade das folhas

A longevidade foliar é o período de vida das folhas, ou seja, o intervalo de tempo desde seu aparecimento até sua morte e foi calculado em graus-dia. O cálculo foi realizado a partir da equação (3):

$$\text{LF} = \text{NFV} \times \text{filocrono (em GD)} \quad (3)$$

5.3.4 Taxa de alongamento foliar, senescência e acúmulo de forragem

A taxa de alongamento foliar (TAIF) e a senescência foliar (TSF) foram calculadas pela diferença em comprimento de cada estrutura entre duas avaliações consecutivas. Diferenças positivas em comprimento foram utilizadas para calcular as taxas de alongamento, assim como as reduções no comprimento da porção verde de lâmina foliar resultaram nas taxas de senescência. As taxas de alongamento foliar e senescência foliar foram obtidas através das equações (4) e (5) respectivamente:

$$\text{TAIF} = \Sigma \text{Aumento no comprimento de lâminas foliares/n° de perfilhos avaliados} \quad (4)$$

$$\text{TSF} = \Sigma \text{Aumento no comprimento senescido das folhas/n° de perfilhos avaliados} \quad (5)$$

TAIF e TSF em cm/perfilho.dia

A taxa de acúmulo líquido (TAL) de forragem foi obtida pela diferença entre as taxas de crescimento e senescência. Para que os valores do acúmulo líquido, assim como os valores das taxas de crescimento e senescência fossem expressos em kg. ha⁻¹ de MS foi necessário criar um fator de conversão (FC). Para obtenção deste fator de conversão, sempre após a última avaliação de cada ciclo, todos os perfilhos marcados eram removidos da unidade experimental, levados ao laboratório onde eram separados e posteriormente medidos de forma semelhante às realizadas no campo. Após, todas as estruturas eram acondicionadas em sacos de papel e secas em estufa com circulação forçada de ar a 65°C por 72 horas. Posteriormente, pesou-se cada componente, e o peso obtido em gramas foi dividido pelo comprimento total correspondente para cada transecta, assim, se obteve um fator de conversão em g de MS/cm. Por fim, para que as variáveis fossem expressas em kg.ha⁻¹.dia⁻¹ de MS os valores foram multiplicados pela densidade populacional média de perfilhos (DPP) de cada unidade experimental. O cálculo da taxa de acúmulo líquido foi obtido então conforme a seguinte equação (6):

$$\text{TAL} = (\text{TAIF} - \text{TSF}) * \text{FC} * \text{DPP (em kgMS.ha}^{-1}\text{.dia}^{-1}) * 10 \quad (6)$$

5.4 DENSIDADE E DINÂMICA POPULACIONAL DE PERFILHOS

5.4.1 Densidade populacional de perfilhos (DPP)

Para a estimativa da densidade populacional de perfilhos (DPP - perfilhos/m²) foram coletadas três amostras de massa de forragem por unidade experimental, em pontos representativos da condição média de cada tratamento. Toda a massa de forragem contida em um quadrado medindo 0,5 m² 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 convertida então, para número de perfilhos.m⁻².

5.4.2 Dinâmica populacional de perfilhos

Para avaliar a dinâmica populacional de perfilhos utilizou-se três anéis de PVC por unidade experimental, com 15 cm de diâmetro cada (0,01767 m²), fixados no solo com grampos metálico, alocados em pontos representativos antes do primeiro pastejo. As

avaliações foram realizadas aproximadamente a cada 21 dias, quando eram contados todos os perfilhos presentes na área interna dos anéis. No primeiro dia de avaliação todos os perfilhos presentes no interior de cada anel foram marcados com uma cor, denominados de “geração um” (G1). Após 21 dias, era efetuada marcação dos novos perfilhos e contabilizados todos os perfilhos sobreviventes, mortos e novos dentro de cada anel e determinada uma nova geração, assim procedeu-se sucessivamente a cada amostragem. Com os dados obtidos da população de perfilhos, foi possível calcular a taxa de aparecimento, mortalidade, sobrevivência e a meia vida dos perfilhos. Além disso, pôde ser calculado o índice de estabilidade populacional do pasto.

5.4.3 Taxas de aparecimento, mortalidade e sobrevivência de perfilhos

Para determinação das taxas de aparecimento de perfilhos (TAP) foram contabilizados todos os perfilhos surgidos em cada ciclo (21 dias). Posteriormente foi determinada qual a porcentagem que esses novos perfilhos representavam em relação a população total de perfilhos do ciclo anterior. As taxas de sobrevivência perfilhos (TSP) foram obtidas a partir da diferença entre a população existente num dado ciclo e a população existente no ciclo anterior, sendo os valores estimados em porcentagem. As taxas de mortalidade de perfilhos (TMP) foram estimadas a partir das taxas de sobrevivência, as quais foram subtraídas de 100.

5.4.4 Índice de estabilidade linear (IE Linear) e índice de estabilidade exponencial (IE Exponencial)

A partir das taxas de aparecimento e sobrevivência de perfilhos calculou-se o índice de estabilidade populacional de perfilhos. Esse índice explica estabilidade da população de perfilhos dos pastos, onde, quando os valores são maiores ou próximos a 1 (um) o pasto se mantém estável e quanto mais abaixo de 1 (um) mais instável é o pasto. Para o cálculo dos índices linear e exponencial de estabilidade populacional de perfilhos foram utilizadas as seguintes equações (7) (8):

$$\text{IE Linear} = \text{TAP} + \text{TSP} \quad (7)$$

$$\text{IE Exponencial} = \text{TSP} * (1 + \text{TAP}) \quad (8)$$

5.4.5 Tempo de meia vida de perfilhos

A meia-vida dos perfilhos ($t_{1/2}$), ou o tempo em dias necessários para metade dos perfilhos morrerem foi calculada com base na equação descrita por Korte (1986) (9):

$$t_{1/2} = \ln 2/b \quad (9)$$

Onde: 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.

5.5 DETERMINAÇÃO DO N MINERAL ($\text{NO}_3^-/\text{NO}_2^-$ E NH_3^+) NO SOLO

A determinação dos teores de nitrogênio mineral ($\text{NO}_3^-/\text{NO}_2^-$ e NH_3^+) no solo foram realizadas em duas camadas de profundidade (0-10 e 10-20 cm). As amostras foram coletadas em cinco pontos distintos em cada unidade experimental, e posteriormente misturadas e homogeneizadas.

A seguir, as amostras de solo foram secas ao ar e peneiradas (2 mm), e foram retirados materiais vegetais grosseiros, como pedaços de hastes, talos e raízes. Os teores nitrogênio mineral ($\text{NO}_3^-/\text{NO}_2^-$ e NH_3^+) nas camadas de solo, foram determinados pelo método de destilação a vapor conforme descrito por Tedesco et al. (1995).

5.6 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 e o ano. 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 ACÚMULO DE FORRAGEM, CARACTERÍSTICAS MORFOGÊNICAS E ESTRUTURAIS

As taxas de acúmulo bruto, senescência e líquido de forragem não foram afetadas ($P > 0,005$) pelos tratamentos, apresentando valores médios de 51, 16 e 35 kg de MS ha⁻¹ dia, respectivamente, para os dois anos avaliados.

Não houve efeito ($P > 0,005$) de tratamento (altura e/ou dose de N) para as taxas de alongamento e senescência foliar sendo que o valor médio foi de 1,42 cm.perfilho⁻¹.dia⁻¹ e 0,47 cm.perfilho⁻¹.dia⁻¹ para a TAlF e TSF, respectivamente. Para o filocrono e a longevidade foliar também não houve efeito ($P > 0,005$) de altura de manejo e dose de N, com média dos dois anos avaliados de 112 graus dia⁻¹. folha para o filocrono e 399 graus dia⁻¹. folha para a longevidade foliar. Também não foi verificado efeito ($P > 0,005$) de tratamento para o número de folhas vivas e para a densidade populacional de perfilhos (DPP), os quais, apresentarem valores médios para de 3,5 folhas.perfilho⁻¹ e 2.290 perfilhos.m⁻², respectivamente (Tabela 1).

Tabela 1. Atributos morfológicos e estruturais em perfilhos de pastos de azevém anual sobressemeado em pastos perenes de verão manejados com diferentes alturas e doses de N.

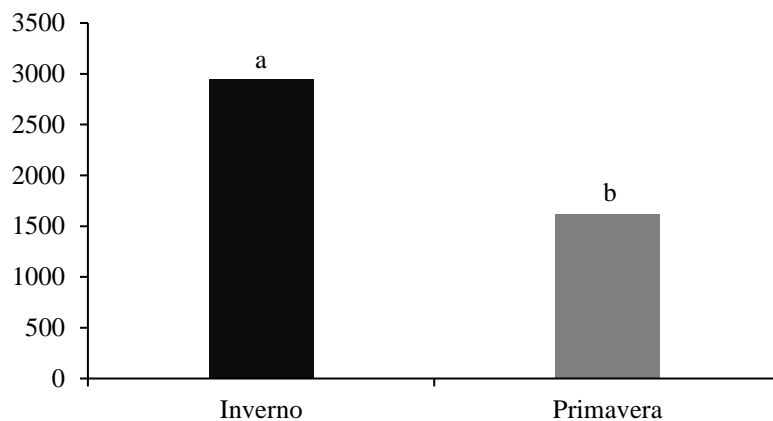
Variável	Valor*	EPM**	P***		
			Altura	Dose	Alt.*Dose
TAlF (cm.perfilho ⁻¹ .dia ⁻¹)	1,42	0,11	0,644	0,678	0,624
TSF (cm.perfilho ⁻¹ .dia ⁻¹)	0,47	0,10	0,738	0,653	0,532
Filocrono (graus dia.folha)	112	13	0,223	0,855	0,825
Longevidade foliar (graus dia.folha)	399	51	0,181	0,744	0,985
Nº folhas vivas (folhas.perfilho)	3,5	0,1	0,721	0,736	0,118
DPP (perfilhos.m ⁻²)	2289	465	0,672	0,327	0,296

*Valores médios de dois anos de avaliação. **Erro padrão da média. ***Probabilidade. Médias seguidas por letras diferentes na linha, diferem entre si pelo teste t ($P < 0,05$).

Fonte: Elaborado pelo autor.

Houve efeito de época do ano sobre a densidade populacional de perfilhos ($P < 0,0001$) com valores médios observados de 2.950 e 1.620 perfilhos.m⁻² no inverno e primavera, respectivamente (Figura 2).

Figura 2. Densidade populacional de perfilhos (DPP; perfilhos.m⁻²) em pastos de azevém anual sobressemeado em pastos biodiversos de verão manejados em diferentes alturas e doses de N em duas épocas do ano.



Média de dois anos experimentais.

Fonte: elaborado pelo autor.

6.2 DINÂMICA POPULACIONAL DE PERFILHOS

As taxas de aparecimento (TAP) e sobrevivência (TSP) de perfilhos não tiveram efeito ($P > 0,005$) dos tratamentos, onde a taxa média de aparecimento foi de 0,23 perfilho/perfilho.mês e a taxa média de sobrevivência foi de 0,77 perfilho/perfilho.mês durante os dois anos experimentais. Não houve efeito ($P > 0,005$) de altura de manejo e dose de N para os índices de estabilidade da população de perfilhos, sendo que o valor médio do índice de estabilidade linear para os dois anos avaliados foi de 1, e do índice de estabilidade calculado de forma exponencial de 0,71. Também não houve efeito ($P > 0,005$) dos tratamentos para o tempo de meia-vida dos perfilhos, sendo a meia vida média nos dois anos avaliados de 35 dias. Todos os valores das respectivas variáveis estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Taxa de aparecimento de perfilhos (TAP), taxa de sobrevivência de perfilhos (TSP), índice de estabilidade linear (IE Linear) e exponencial (IE Exponencial), e meia vida dos perfilhos em pastos de azevém anual sobressemeados em pastos biodiversos de verão manejados em diferentes alturas e doses de N.

Variável	Valor*	EPM**	P***		
			Altura	Dose	Alt.*Dose
TAP (perfilho/perfilho.mês)	0,23	0,03	0,988	0,936	0,922
TSP (perfilho/perfilho.mês)	0,77	0,03	0,501	0,974	0,852
IE Linear	1,00	0,05	0,690	0,951	0,802
IE Exponencial	0,71	0,05	0,877	0,938	0,988
Meia vida (dias)	35	2	0,077	0,282	0,983

*Valores médios de dois anos de avaliação. **Erro padrão da média. ***Probabilidade. Médias seguidas por letras diferentes na linha, diferem entre si pelo teste t ($P < 0,05$).

Fonte: Elaborado pelo autor.

Foi observado efeito de geração ($P < 0,0001$) para todas as variáveis relacionadas à dinâmica do perfilhamento. A maior taxa de aparecimento de perfilhos foi observada na geração 1 (G1) com 0,53 perfilho/perfilho.mês, havendo uma decréscimo nas demais gerações. As maiores taxas de sobrevivência foram verificadas nas gerações 1 e 2 (G1 e G2), com 0,97 e 0,92 perfilho/perfilho.mês, respectivamente, havendo decréscimo gradual nas gerações seguintes. Quanto aos índices de estabilidade do pasto, as gerações 1, 2 e 3 (G1, G2 e G3) apresentaram os maiores valores para o IE linear (1,50; 1,12 e 0,95, respectivamente) e valores de IE exponencial semelhantes (0,84; 0,86 e 0,81, respectivamente), decaindo nas gerações 4 e 5 (G4 e G5). O maior tempo de meia vida dos perfilhos foi obtido na G1 com 62 dias, seguido da G2 com 40 dias, e valores semelhantes (média de 25 dias) nas gerações 3, 4 e 5. As gerações 1 e 2 juntas foram responsáveis por 39% da população do azevém anual durante todo o ciclo de produção. Todos resultados representam a médias de dois anos de avaliação e estão descritos na Tabela 3.

Tabela 3. Taxa de aparecimento de perfilhos (TAP), taxa de sobrevivência de perfilhos (TSP), índice de estabilidade linear (IE Linear) e exponencial (IE Exponencial) e meia vida de perfilhos de pastos de azevém anual sobressemeados em pastos biodiversos de verão manejados em diferentes alturas e dose de N ao longo das gerações.

Variável	Geração*					EPM**	P***		
	1	2	3	4	5		Geração	Alt.*Ger.	Dose*Ger.
TAP (perf./perf.mês)	0,53 ^a	0,20 ^b	0,11 ^b	0,17 ^b	0,16 ^b	0,03	<0,001	0,629	0,979
TSP (perf./perf.mês)	0,97 ^a	0,92 ^{ab}	0,85 ^b	0,60 ^c	0,52 ^d	0,03	<0,001	0,694	0,803
IE Linear	1,50 ^a	1,12 ^b	0,95 ^b	0,77 ^c	0,68 ^c	0,05	<0,001	0,477	0,950
IE Exponencial	0,84 ^a	0,86 ^a	0,81 ^a	0,57 ^b	0,48 ^b	0,05	<0,001	0,730	0,974
Meia Vida (dias)	62 ^a	40 ^b	29 ^c	25 ^c	21 ^c	2,00	<0,001	0,310	0,985

*Valores médios de dois anos de avaliação. **Erro padrão da média. ***Probabilidade. Médias seguidas por letras diferentes na linha, diferem entre si pelo teste t ($P < 0,05$).

Fonte: Elaborado pelo autor.

6.3 NÍVEIS DE N MINERAL ($\text{NO}_3^-/\text{NO}_2^-$ E NH_3^+) NO SOLO

Para os níveis de nitrogênio mineral no solo ($\text{NO}_3^-/\text{NO}_2^-$ e NH_3^+) não houve efeito ($P > 0,05$) independentemente da altura de manejo e doses de nitrogênio (Tabela 4).

Tabela 4. Níveis de $\text{NO}_3^-/\text{NO}_2^-$ e NH_3^+ (mg N kg^{-1} de solo seco) nas profundidades de 0 a 10 cm e de 10 a 20 cm do solo coletadas em junho de 2020 em áreas com pastos de azevém anual cultivado em ambiente manejado em diferentes alturas de manejo e doses de nitrogênio.

Variável	Profundidade (cm)		EPM*	P**		
	0-10	10-20		Alt.	Dose	Alt*Dose
$\text{NO}_3^-/\text{NO}_2^-$	2,28	2,38	0,42	0,1342	0,2856	0,8268
NH_3^+	6,89	6,92	0,26	0,6593	0,4922	0,9070

*Erro padrão da média. **Probabilidade. Médias seguidas por letras diferentes na linha, diferem entre si pelo teste t ($P < 0,05$). Fonte: Elaborado pelo autor.

7 DISCUSSÃO

A ausência de diferença entre os tratamentos nos padrões de perfilhamento e características morfogênicas e estruturais da planta resultou em uma quantidade semelhante de forragem acumulada nos pastos de azevém anual. O acúmulo total de forragem é calculado a partir do equilíbrio entre as taxas de crescimento e senescência das folhas, relacionadas ao número de perfilhos na área. Essas taxas são determinadas geneticamente, mas podem ser afetadas pela disponibilidade de fatores de crescimento como água, luz e nutrientes, que influenciam a velocidade desses processos e, conseqüentemente, definem a estrutura do pasto e padrões de crescimento e acúmulo de forragem (LEMAIRE & CHAPMAN, 1996).

Em nosso estudo, os valores de nitrogênio mineral encontrados em duas diferentes camadas de profundidade do solo (0-10 e 10-20 cm) foram semelhantes independente de tratamento, sugerindo não haver remanescente de nitrogênio aplicado nas culturas de verão para o azevém anual no inverno. Grange et al. (2022) comparando doses 150 e 300 kg ha⁻¹ de N, aplicadas em *Lolium perenne* cultivado em monocultivo, também não verificaram incremento no desempenho de azevém anual na estação subsequente. De acordo com esses autores o nitrogênio adicional não foi armazenado no solo, mas perdido no sistema. Há uma chance do mesmo ter ocorrido em nosso estudo, uma vez que o nitrogênio é altamente suscetível a perdas ambientais por diversas formas, como a volatilização de amônia (NH₃), emissões de óxido nitroso (N₂O), lixiviação de nitrato (NO₃) (FAGERIA & BALIGAR, 2005; MAHARJAN et al., 2014; CUMMINS et al., 2021; MAHMUD et al., 2021).

No entanto, outra hipótese que poderia justificar a ausência de qualquer efeito legado, seria que as gramíneas cultivadas no verão (tifon e quicuio) podem ter absorvido a maior parte do nitrogênio aplicado no verão impossibilitando, assim, sua disponibilidade na estação seguinte. Isso pode ser ilustrado com os resultados do maior acúmulo de forragem das espécies de verão na maior dose de nitrogênio (250 kg N ha⁻¹) em relação a produção obtida na menor dose (50 kg N ha⁻¹), e com produção de forragem na dose intermediária (150 kg N ha⁻¹) equivalente, tanto com a menor, quanto com a maior dose de N (BARRETA, 2023). Bem como, pelo índice de adubação nitrogenada (INN) que apresentou valores de 0,78, 0,87 e 0,97 para o quicuio e de 0,70, 0,81 e 0,92 para o tifon nas doses de 50, 150 e 250 de N ha⁻¹ (BARRETA, 2023), respectivamente. O INN

é a relação entre o teor de N atual da cultura (N_a) pelo teor de N crítico (N_c), assim, quando INN for maior ou igual a 1,0 indica que as plantas estão bem nutridas, e quando o INN for menor que 1,0 indica que as plantas já apresentam algum grau de deficiência do nutriente (LEMAIRE & GASTAL, 1997; LEMAIRES; JEUFFROY; GASTAL, 2008). Eisenhauer et al., (2016), sugeriram que maiores acúmulos de matéria seca em pastagens mistas, na estação antecessora, podem ser parcialmente explicados pelo melhor uso dos recursos disponíveis, o que pode resultar em níveis mais baixos de nutrientes disponíveis para a cultura seguinte.

Já a ausência de efeito referente a estrutura do pasto, pode ser explicada, pelo fato das alturas utilizadas (17 e 23 cm) estarem dentro da amplitude ótima para manejo tanto do capim-quicuío (SBRISSIA et al., 2018) quanto tifton-85 (PINTO et al., 2001) que maximizam a produção de matéria seca de forragem, indicando tanto que as estruturas de resíduo quanto a densidade de lotação diferentes (dados não mostrados) utilizadas no verão não comprometeram o estabelecimento e produção do azevém na estação subsequente.

Estudos recentes têm demonstrado um efeito legado positivo em pastos biodiversos, com incremento na produção e maior disponibilidade de N, contudo, estes estudos salientam a importância da contribuição das espécies leguminosas para que isso ocorra. Fox et al. (2020) mostraram que a proporção de leguminosas, que sustentou um efeito positivo de produção de biomassa e nitrogênio na cultura seguinte seria de, pelo menos, 50% nas pastagens antecessoras. Grange et al. (2022) verificaram que pastos mistos contendo proporções de leguminosas de 33% a 75%, apresentaram incrementos na produção dos pastos da estação sucessora. Neste estudo, apesar de conter espécies leguminosas na mistura, a participação destas durante a estação fria, nos dois anos avaliados, foi inferior as proporções indicadas na literatura (cerca de 8,6%, somando o amendoim forrageiro, cornichão e trevo branco), insuficientes, portanto, para refletirem em um efeito legado na produção do azevém anual.

Apesar da ausência de efeito dos fatores principais para todas as variáveis analisadas, os achados desse estudo apresentam alguns resultados interessantes quanto a demografia do perfilhamento do azevém anual. Foi observado um decaimento nas taxas de aparecimento dos perfilhos ao longo das gerações, sendo as gerações 1 e 2 com os maiores valores e, também, com maiores taxas de sobrevivência e tempo de meia vida

dos perfilhos. Da mesma forma, a duração de vida dos perfilhos varia de acordo com a espécie ou mesmo entre gerações de uma mesma espécie (KORTE, 1986; PAKIDING e HIRATA, 1999). Isso explica os padrões de perfilhamento do azevém anual neste estudo, onde a DPP no inverno foi resultado principalmente de perfilhos surgidos e sobreviventes das gerações 1 e 2. Por outro lado, a redução no número de perfilhos na primavera pode ser explicada pela queda nas taxas de aparecimento de perfilhos nessa época do ano, uma vez que as taxas de sobrevivência se mantiveram altas em praticamente todo o período. A dependência da sobrevivência de perfilhos para a manutenção da estabilidade populacional de espécies já havia sido demonstrada por Duchini et al. (2018) com diversas espécies perenes de clima temperado. Esses mesmos autores explicam também, que a transição do estágio de desenvolvimento vegetativo para o reprodutivo também é responsável pela redução do surgimento de novos perfilhos, uma vez que, os nutrientes e fotoassimilados são translocados para os órgãos reprodutivos, o que explica o fenômeno nas gerações subsequentes.

8 CONCLUSÃO

O manejo da estrutura e doses de nitrogênio variando de 50 a 250 kg de N.ha⁻¹ em pastos perenes na estação quente não legam efeito sobre o acúmulo de forragem do azevém anual na estação fria subsequente. Uma das implicações desse achado é que em sistemas de produção que utilizam uma sequência de pasto de inverno sobre pasto de verão os manejos das culturas devem ser tomados de forma independentes, pelo menos quando o maior aporte de N ocorre no período de verão.

9 REFERÊNCIAS

ALLEN, O. N.; ALLEN, E. K. The Leguminosae. **Madison**: University of Wisconsin Press, 1981. p. 401-405.

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

APRÁEZ, E.; ALVEAR, C.; DÍAZ, N. Valoración productiva de algunas asociaciones de gramíneas y leguminosas en el trópico alto andino de Nariño. **Revista Ciencia Animal**, v. 1, n. 8, p. 21-40, 2014.

BALL, D. M.; HOVELAND, C. S.; LACEFIELD, G. D. Southern forages. 4. ed. Lawrenceville, Georgia: **International Plant Nutrition Institute (IPNI)**, 2007. 322 p.

BARTHAM, G.T. Experimental techniques – the HFRO sward stick. **Biennial Report of the Hill Farming Research Organisation 1984–85** (ed. M.M. Alcock). Hill Farming Research Organisation, Penicuik, Midlothian, UK, p. 29– 30, 1986.

BODDEY, R. M. et al. Forage legumes in grass pastures in tropical Brazil and likely impacts on greenhouse gas emissions: A review. **Grass and Forage Science**, v. 75, n. 4, p. 357-371, 2020.

BOLINDER, M. A. et al. Root biomass and shoot to root ratios of perennial forage crops in eastern Canada. **Canadian journal of plant science**, v. 82, n. 4, p. 731-737, 2002.

CARÁMBULA, M. Producción y manejo de pasturas sembradas. Montevideo: Hemisferio Sur, 1977. 476 p.

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

CARVALHO, P.C. de F. et al. O estado da arte em integração lavoura-pecuária. **Produção animal: mitos, pesquisa e adoção de tecnologia**. Canoas: Ulbra, p. 7-44, 2005.

CARVALHO, L. R. et al. Nodulation and biological nitrogen fixation (BNF) in forage peanut (*Arachis pintoi*) cv. Belmonte subjected to grazing regimes. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 278, p. 96-106, 2019.

CARVALHO, P. C. F. et al. Forrageiras de clima temperado. In: FONSECA, D. M.; SANTOS, M. E. R.; MARTUSCELLO, J. A. (ed.). **Plantas forrageiras**. Viçosa, MG: UFV, 2020.

CHAVES, B. et al. Manipulating nitrogen release from nitrogen-rich crop residues using organic wastes under field conditions. **Soil Science Society of America Journal**, v. 71, n. 4, p. 1240-1250, 2007.

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.

COTTINGHAM, K. L.; BROWN, B. L.; LENNON, J. T. Biodiversity may regulate the temporal variability of ecological systems. **Ecology Letters**, v. 4, n. 1, p. 72-85, 2001.

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

CUMMINS, S. et al. Beneficial effects of multi-species mixtures on N₂O emissions from intensively managed grassland swards. **Science of the Total Environment**, v. 792, p. 148163, 2021.

DAEPP, M.; NÖSBERGER, J.; LÜSCHER, A. Nitrogen fertilization and developmental stage alter the response of *Lolium perenne* to elevated CO₂. **New Phytologist**, v. 150, n. 2, p. 347-358, 2001.

DAVIES, A. **Sward measurement handbook**. British grassland society, 1993, p. 183-215.

DE MATOS, A. T. et al. Produtividade e composição química do capim-Tifton 85 submetido a diferentes taxas de aplicação do percolado de resíduo sólido urbano. **Engenharia Agrícola**, v. 33, p. 188-200, 2013.

DE SANT-ANNA, S. A.C. et al. Changes in soil organic carbon during 22 years of pastures, cropping or integrated crop/livestock systems in the Brazilian Cerrado. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 108, p. 101-120, 2017.

DILLON, P. et al. The effect of forage type and level of concentrate supplementation on the performance of spring-calving dairy cows in early lactation. **Grass and Forage Science**, v. 57, n. 3, p. 212-223, 2002.

DRINKWATER, L. E.; SNAPP, S. Nutrients in agroecosystems: rethinking the management paradigm. **Advances in agronomy**, v. 92, p. 163-186, 2007.

DUCHINI, P. G. et al. Intercropping black oat (*Avena strigosa*) and annual ryegrass (*Lolium multiflorum*) can increase pasture leaf production compared with their monocultures. **Crop and Pasture Science**, v. 67, n. 5, p. 574-581, 2016.

DUCHINI, P. G. Aspectos produtivos e estabilidade populacional de gramíneas perenes com diferentes estratégias de crescimento cultivadas puras ou em mistura. (Tese de doutorado) Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages SC, 104 p., 2017.

DUCHINI, P. G. et al. Changes in tillering dynamics of intercropped black oat and annual ryegrass ensure a stable sward. **Experimental Agriculture**, v. 54, n. 6, p. 931-942, 2018.

EISENHAUER, N. et al. Biodiversity–ecosystem function experiments reveal the mechanisms underlying the consequences of biodiversity change in real world ecosystems. **Journal of Vegetation Science**, v. 27, n. 5, p. 1061-1070, 2016.

EVERS, G. W. et al. Ecology and production of annual ryegrass. **Ecology, Production, and Management of *Lolium* for Forage in the USA**, v. 24, p. 29-43, 1997.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C. Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. **Advances in agronomy**, v. 88, p. 97-185, 2005.

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.

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.

FOLEY, J. A. et al. Solutions for a cultivated planet. **Nature**, v. 478, n. 7369, p. 337-342, 2011.

FONTANELI, R. S. et al. Forrageiras para Integração Lavoura-Pecuária-Floresta na Região Sul-brasileira. 2. ed. Brasília: **EMBRAPA**, 544p., 2012.

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

FRAME, J. Herbage production and quality of a range of secondary grass species at five rates of fertilizer nitrogen application. **Grass and Forage Science**, v. 46, n. 2, p. 139-151, 1991.

FRANKOW-LINDBERG, B. E. Grasslands plant species diversity decreases invasion by increasing resource use. **Oecologia**, v. 169, n. 3, p. 793-802, 2012.

FULKERSON, W.J. y LOWE, K.F. **Grazing management**. Forages and pastures. Elsevier Science Ltd., 2002, p 1142-1149.

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

GARLAND, G. et al. Crop cover is more important than rotational diversity for soil multifunctionality and cereal yields in European cropping systems. **Nature Food**, v. 2, n. 1, p. 28-37, 2021.

GASTAL, F.; LEMAIRE, G. N uptake and distribution in crops: an agronomical and ecophysiological perspective. **Journal of experimental botany**, v. 53, n. 370, p. 789-799, 2002.

GOMES, E. P. et al. Produtividade de capim Tifton 85 sob irrigação e doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, p. 317-323, 2015.

GÖTZE, P. et al. Crop rotation effects on yield, technological quality and yield stability of sugar beet after 45 trial years. **European Journal of Agronomy**, v. 82, p. 50-59, 2017.

GRANGE, G. et al. 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.

GRIFFIN, J. N. et al. Biodiversity and the stability of ecosystem functioning. In: NAEEM, S.; BUNKER, D.; LOREAU, M. et al. Eds. **Biodiversity and Human Impacts**. Oxford University Press, Oxford, UK, 2009. p. 78–93.

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.

GUZATTI, G. C. et al. Aspectos qualitativos e produção de biomassa em pastos de aveia e azevém cultivados puros ou consorciados e submetidos a pastejo leniente. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 67, p. 1399-1407, 2015.

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.

HAUGHEY, E. et al. Higher species richness enhances yield stability in intensively managed grasslands with experimental disturbance. **Scientific reports**, v. 8, n. 1, p. 15047, 2018.

HECTOR, A. et al. Overyielding in grassland communities: testing the sampling effect hypothesis with replicated biodiversity experiments. **Ecology Letters**, v. 5, n. 4, p. 502-511, 2002.

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

HERRERO, M. et al. Greenhouse gas mitigation potentials in the livestock sector. **Nature Climate Change**, v. 6, n. 5, p. 452-461, 2016.

HEWINS, D. B. et al. Grazing and climate effects on soil organic carbon concentration and particle-size association in northern grasslands. **Scientific Reports**, v. 8, n. 1, p. 1336, 2018.

HØGH-JENSEN, H.; SCHJOERRING, J. K. Interactions between white clover and ryegrass under contrasting nitrogen availability: N₂ fixation, N fertilizer recovery, N transfer and water use efficiency. **Plant and soil**, v. 197, n. 2, p. 187-199, 1997.

HOMEM, B.G.C. et al. Palisadegrass pastures with or without nitrogen or mixed with forage peanut grazed to a similar target canopy height. 1. Effects on herbage mass, canopy structure and forage nutritive value. **Grass and Forage Science**, v. 76, n. 3, p. 400-412, 2021.

HUSSE, S. et al. Effects of mixing forage species contrasting in vertical and temporal nutrient capture on nutrient yields and fertilizer recovery in productive grasslands. **Plant and Soil**, v. 420, p. 505-521, 2017.

JING, J. et al. Species diversity effects on productivity, persistence and quality of multispecies swards in a four-year experiment. **PLoS One**, v. 12, n. 1, p. e0169208, 2017.

JOCHIMS, F. et al. Produtividade de grama missioneira-gigante, amendoim-forrageiro e suas consorciações. **Agropecuária Catarinense**, v. 28, n. 2, p. 84-88, 2015.

KORTE, C. J. Tillering in 'Grasslands Nui' perennial ryegrass swards 2. Seasonal pattern of tillering and age of flowering tillers with two mowing frequencies. **New Zealand journal of agricultural research**, v. 29, n. 4, p. 629-638, 1986.

LAMARQUE, P., TAPPEINER, U., TURNER, C. *et al.* Stakeholder perceptions of grassland ecosystem services in relation to knowledge on soil fertility and biodiversity. **Reg Environ Change** 11, 791–804, 2011.

LAMBIN, E. F., MEYFROIDT, P. Global land use change, economic globalization, and the looming land scarcity. **Proceedings of the national academy of sciences**, v. 108, n. 9, p. 3465-3472, 2011.

LASSALETTA, L. et al. 50 year trends in nitrogen use efficiency of world cropping systems: the relationship between yield and nitrogen input to cropland. **Environmental Research Letters**, v. 9, n. 10, p. 105011, 2014.

LEMAIRE E., CHAPMAN D. Tissue flows in grazed plant communities. In: Hodgson J.; Illius A.W. (Eds.) **The Ecology and Mangement of Grazing Systems**, 1996, p. 3-36.

LEMAIRE, G.; GASTAL, F. N Uptake and distribution in plant canopies. In: LEMAIER, G. (Ed.). **Diagnosis of the Nitrogen Status in Crops**. Springer V ed. h: 1997, 1997. p. 3–41.

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.

LEMAIRE, Gilles et al. (Ed.). *Grassland productivity and ecosystem services*. Wallingford: Cabi, 2011.

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.

MACADAM, J. W.; GRIGGS, T. C. Performance of birdsfoot trefoil, white clover, and other legume-grass mixtures under irrigation in the Intermountain West USA. In: *Proceedings of the New Zealand Grassland Association*. 2006. p. 355-359.

MAHARJAN, B. et al. Fertilizer and irrigation management effects on nitrous oxide emissions and nitrate leaching. *Agronomy Journal*, v. 106, n. 2, p. 703-714, 2014.

MAHMUD, K. et al. Nitrogen losses and potential mitigation strategies for a sustainable agroecosystem. *Sustainability*, v. 13, n. 4, p. 2400, 2021.

MARQUARD, E. et al. Plant species richness and functional composition drive overyielding in a six-year grassland experiment. *Ecology*, v. 90, n. 12, p. 3290-3302, 2009.

MATUS, A. et al. The influence of tillage and crop rotation on nitrogen fixation in lentil and pea. *Canadian Journal of Plant Science*, v. 77, n. 2, p. 197-200, 1997.

MCKANE, R. B. et al. Resource-based niches provide a basis for plant species diversity and dominance in arctic tundra. *Nature*, v. 415, n. 6867, p. 68-71, 2002.

MIQUELOTO, T. et al. Canopy structure of mixed kikuyugrass–tall fescue pastures in response to grazing management. *Crop Science*, v. 60, n. 1, p. 499-506, 2020.

MOORE, G.; SANFORD, P.; WILEY, T. *Perennial Pastures for Western Australia*, Perth, 2006.

NEERGAARD, A. de et al. Decomposition of white clover (*Trifolium repens*) and ryegrass (*Lolium perenne*) components: C and N dynamics simulated with the DAISY soil organic matter submodel. *European Journal of Agronomy*, v. 16, n. 1, p. 43-55, 2002.

NETO, A. B. et al. Italian ryegrass establishment by self-seeding in integrated crop-livestock systems: effects of grazing management and crop rotation strategies. *European Journal of Agronomy*, v. 53, p. 67-73, 2014.

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

NORTON, J.; OUYANG, Y. Controls and adaptive management of nitrification in agricultural soils. **Frontiers in microbiology**, v. 10, p. 1931, 2019.

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. **Agr. Ecosyst. Environ.** 140, 155–163, 2011.

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.

OLIVO, C. J. et al. Productivity and crude protein concentration of Tifton 85 pasture-based mixed with pinto peanut. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 43, 2019.

OMETTO, J. C. Bioclimatologia vegetal. São Paulo: Agronômica CERES, 1981. 425p.

PAKIDING, W.; HIRATA, M. Tillering in a bahia grass (*Paspalum notatum*) pasture under cattle grazing: results from the first two years. **Tropical Grasslands**, v.33, n.3, p.171-176, 1999.

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.

PINTO, L. F. de M. et al. Dinâmica do acúmulo de matéria seca em pastagens de Tifton 85 sob pastejo. **Scientia Agricola**, v. 58, p. 439-447, 2001.

POLLEY, H. Wayne et al. Climate change and North American rangelands: trends, projections, and implications. **Rangeland Ecology & Management**, v. 66, n. 5, p. 493-511, 2013.

RAIJ B.V. Fertilidade do solo e manejo de nutrientes. Piracicaba: **International PlantNutrition Institute**, 2011, 420 p.

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.

RIBEIRO, K. G.; PEREIRA, O. G. Produtividade de matéria seca e composição mineral do capim-tifton 85 sob diferentes doses de nitrogênio e idades de rebrotação. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, p. 811-816, 2011.

SANCHEZ, J. M. L. Valor nutritivo de los pastos Kikuyo y Estrella Africana en Costa Rica. In: VII **Congreso Nacional Lechero**, organizado por la Cámara Nacional de Productores de Leche. San José, Costa Rica, 2000, 25 p.

SANTACOLOMA V. L. E. et al. Comportamiento agronómico, nutricional y contenido de taninos de la leguminosa *Lotus corniculatus* como efecto de la fertilidad del suelo. **Revista Ciência Animal**, v. 1, n. 9, p. 189-208, 2015.

SBRISSIA, A. F. et al. Defoliation strategies in pastures submitted to intermittent stocking method: underlying mechanisms buffering forage accumulation over a range of grazing heights. **Crop Science**. v. 58, p. 1-10, 2018.

SCHIMEL, J. P.; BENNETT, Jennifer. Nitrogen mineralization: challenges of a changing paradigm. **Ecology**, v. 85, n. 3, p. 591-602, 2004.

SCHIPANSKI, M. E. et al. Balancing multiple objectives in organic feed and forage cropping systems. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 239, p. 219-227, 2017.

SIELING, K. et al. Improved N transfer through catch crops-a challenge. **Journal für Kulturpflanzen**, v. 71, n. 6, p. 145-160, 2019.

SILVA, V. S. da et al. Dynamics of Tifton 85 pasture (*Cynodon dactylon* L. Pers) over seeded with cool season species, under continuous grazing. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 40, 2018.

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

SOHM, G. et al. Yield and quality of irrigated bermudagrass as a function of nitrogen rate. **Agronomy Journal**, v. 106, n. 4, p. 1489-1496, 2014.

SOULLENBERGER, L. E. et al. Grassland management affects delivery of regulating and supporting ecosystem services. **Crop Science**, v. 59, n. 2, p. 441-459, 2019.

SOLOS, Embrapa. Sistema brasileiro de classificação de solos. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos: Rio de Janeiro**, v. 3, 2013.

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.

SUTER, M. et al. A. Weed suppression enhanced by increasing functional trait dispersion and resource capture in forage ley mixtures. **Agriculture, ecosystems & environment**, v. 240, p. 329-339, 2017.

- SWANEPOEL, P. A. et al. Biological quality of a podzolic soil after 19 years of irrigated minimum-till kikuyu–ryegrass pasture. **Soil Research**, v. 52, n. 1, p. 64-75, 2014. a
- SWANEPOEL, P. A. et al. Impact of cultivation method on productivity and botanical composition of a kikuyu–ryegrass pasture. **African Journal of Range & Forage Science**, v. 31, n. 3, p. 215-220, 2014. b
- 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.
- TAMELE, O. H. et al. Optimal defoliation management of brachiaria grass–forage peanut for balanced pasture establishment. **Grass Forage Science**. v. 73, p. 522–531, 2018.
- TEDESCO, M. J. et al. Análise de solo, plantas e outros materiais. Porto Alegre: Departamento de Solos, UFRGS. **Boletim técnico**, v. 5, p. 62-67, 1995.
- TILMAN, D. et al. Agricultural sustainability and intensive production practices. **Nature**, v. 418, n. 6898, p. 671-677, 2002.
- VAN DER PUTTEN, W. H. et al. Where, when and how plant–soil feedback matters in a changing world. **Functional Ecology**, v. 30, n. 7, p. 1109-1121, 2016.
- VAN EEKEREN, N. et al. Soil biological quality after 36 years of ley-arable cropping, permanent grassland and permanent arable cropping. **applied soil ecology**, v. 40, n. 3, p. 432-446, 2008.
- VIBART, R. E. et al. Simple versus diverse temperate pastures: aspects of soil–plant–animal interrelationships central to nitrogen leaching losses. **Agronomy journal**, v. 108, n. 6, p. 2174-2188, 2016.
- VINTHER, F. P.; JENSEN, E. S. Estimating legume N₂ fixation in grass-clover mixtures of a grazed organic cropping system using two ¹⁵N methods. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 78, n. 2, p. 139-147, 2000.
- WHITNEY, A. S. Growth of kikuyugrass (*Pennisetum clandestinum*) under clipping. II. regrowth characteristics in relation to nitrogen fertilization and climate. **Agronomy Journal**, v. 66, n. 6, p. 763–768, 1974.
- WOODARD, K. R. et al. Nitrogen removal and nitrate leaching for two perennial, sod-based forage systems receiving dairy effluent. **Journal of environmental quality**, v. 32, n. 3, p. 996-1007, 2003.
- WURST, S.; OHGUSHI, T. Do plant-and soil-mediated legacy effects impact future biotic interactions? **Functional Ecology**, v. 29, n. 11, p. 1373-1382, 2015.

YACHI, S.; LOREAU, M. Biodiversity and ecosystem productivity in a fluctuating environment: the insurance hypothesis. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 96(4), 1463-1468, 1999.

ZHAO, Y.; LIU, Z. & WU, J. Grassland ecosystem services: a systematic review of research advances and future directions. **Landscape Ecol.**, v. 35, 793–814, 2020.