



JÚLIA BELTRAMI AYRÃO DE MELO

**CONSÓRCIOS DE GRAMÍNEA E LEGUMINOSAS EM PASTAGENS
TROPICAIS: RESPOSTAS PRODUTIVAS, DESEMPENHO ANIMAL E
EMIÇÃO DE METANO ENTÉRICO**

**LAVRAS – MG
2026**

JÚLIA BELTRAMI AYRÃO DE MELO

**CONSÓRCIOS DE GRAMÍNEA E LEGUMINOSAS EM PASTAGENS
TROPICAIS: RESPOSTAS PRODUTIVAS, DESEMPENHO ANIMAL E
EMIÇÃO DE METANO ENTÉRICO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Zootecnia, área de concentração em Forragicultura e Pastagens, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador

Dr. DANIEL RUME CASAGRANDE

Coorientador

Dr. ADENILSON JOSÉ PAIVA

**LAVRAS - MG
2026**

**Ficha Catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração
de Ficha Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA, com
dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Melo, Júlia Beltrami Ayrão de.

Consórcio de gramínea e leguminosas em pastagens tropicais: respostas
produtivas, desempenho animal e emissão de metano entérico / Júlia Beltrami Ayrão
de Melo. - 2026.

64 p. : il.

Orientador: Daniel Rume Casagrande

Coorientador: Adenilson José Paiva

Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade Federal de Lavras, 2026.
Bibliografia.

1. Arachis pintoi. 2. Cajanus cajan. 3. Metano entérico. 4. Urochloa spp. I.
Casagrande, Daniel Rume. II. Paiva, Adenilson José. III. Universidade Federal de
Lavras. IV. Título.

JÚLIA BELTRAMI AYRÃO DE MELO

**CONSÓRCIOS DE GRAMÍNEA E LEGUMINOSAS EM PASTAGENS
TROPICAIS: RESPOSTAS PRODUTIVAS, DESEMPENHO ANIMAL E
EMIÇÃO DE METANO ENTÉRICO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, área de concentração em Forragicultura e Pastagens, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 16 de julho de 2026.

Dr. Pedro Antônio Muniz Malafaia UFRRJ

Dr. Bruno Grossi Costa Homem UFV

Dr. Daniel Rume Casagrande

Orientador

Dr. Adenilson José Paiva

Coorientador

LAVRAS – MG, 2026

DEDICATÓRIA

Dedico a minha mãe, que não pode ver nenhuma das minhas formaturas, mas de algum jeito esteve presente em todas.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família, que nunca deixou de me apoiar na realização de cada um dos meus sonhos. Agradeço ao meu namorado que me incentiva a ser sempre a minha melhor versão.

Agradeço aos professores Daniel e Adenilson, por acreditarem em mim, quando eu mesma não acreditava.

Agradeço ao Rodrigo e Samuel, que quando eu cheguei em Lavras não sabia nada de nada e eles tiveram a paciência de dois santos para me ensinar tudo.

Agradeço a Iasmin, pelo Natal e ano novo que passamos em lavras lidando com 3 experimentos ao mesmo tempo.

Aos meninos do SEPAR: Alice, pelas melhores figurinhas e melhores risadas. Breno, por ser o melhor operador de aparador da UFLA. Nauana, por carregar sacos de adubo mais pesados que ela. João, por fazer a academia diária dele no dia de adubação. Isis, por ser o próprio Kaká, perfeita. Wesley, por fazer altura comigo nos 599 piquetes, Hingred, pelas brigas e risadas (ao mesmo tempo, literalmente). Laylla, por cada morfologia feita. Ana Beatriz, por enfiar a mão onde era preciso. Ana Flávia, por todas as 250 massas feitas. Miyuki, por cada coquinha gelada no meio do manejo. Isa, por cada saquinho de massa anotado. Iuri, por cada sela rodada e burro fugido. Vitória, por cada cadinho pesado. Chay, por cada desabafo. Marcelle, por cada conselho e xingamento necessário. Ao Gustavo e Luísa, não haveria metano sem vocês.

Agradeço ao Binho e a equipe da manutenção, que toda semana eu pedia um socorro com uma cerca arrebitada e toda semana eles me socorriam. Ao pessoal da hidráulica, que consertou canos e bebedouros até eu aprender a dar um jeito.

Agradeço à Priscila, que eu só conhecia com “Cruz *et al.*, 2024”, mas que nos 45 do segundo tempo me ajudou com a parte escrita e me deu muitos conselhos.

Agradeço à CAPES, CNPq e FAPEMIG pelo fomento do projeto. Assim como ao Departamento de Zootecnia e à UFLA pelo apoio durante o projeto.

“The world will be saved and remade by the dreamers. Let’s go rattle the stars.”

Sarah J. Maas

Resumo: A pecuária de corte brasileira é predominantemente baseada em sistemas de produção a pasto, cuja produtividade depende da disponibilidade e da qualidade das forragens. Entretanto, a degradação de pastagens e a crescente preocupação com as emissões de gases de efeito estufa (GEE) reforçam a necessidade de estratégias que aumentem a eficiência produtiva e ambiental desses sistemas. Nesse contexto, o consórcio entre gramíneas e leguminosas forrageiras destaca-se por favorecer a fixação biológica de nitrogênio, melhorar o valor nutritivo da forragem e reduzir a dependência de fertilizantes nitrogenados. O objetivo foi determinar os efeitos da inclusão de leguminosas em pastagens de *Urochloa brizantha* cv. Marandu sobre a produtividade forrageira, o desempenho de novilhas Nelore e as emissões de gases de efeito estufa. O experimento foi conduzido na área experimental do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Lavras, em Lavras, MG. Foram avaliados cinco tipos de pastagem: capim-marandu em monocultivo sem adubação nitrogenada (B), capim-marandu com 150 kg N ha⁻¹ ano⁻¹ (B+N), capim-marandu consorciado com amendoim forrageiro (B+A), capim-marandu consorciado com guandu (B+G) e capim-marandu consorciado com amendoim forrageiro e guandu (B+A+G). O manejo foi realizado em lotação alternada com taxa de lotação variável, utilizando novilhas Nelore. Foram avaliadas a massa de forragem, a composição botânica, o valor nutritivo da forragem, o desempenho animal e as emissões entéricas de metano. No pré-pastejo, a maior massa de gramínea foi observada em B+N, enquanto a maior massa herbácea ocorreu no B+A, B+N e B+A+G e a maior massa total no B+G. Os maiores teores de proteína bruta da gramínea foram registrados em B+A (12,6%), B+N (11,6%) e B+A+G (10,7%). B+A apresentou a maior taxa de lotação (1,9 UA/ha), evidenciando maior capacidade de suporte da pastagem, enquanto os maiores GMD foram observados em B+A+G e B+A, durante o período das águas (0,771 e 0,553 kg/dia, respectivamente). Além disso, B+A apresentou a menor intensidade de emissão de metano entérico no período das águas. A inclusão de nitrogênio, seja por meio de leguminosas ou adubação nitrogenada, promove melhorias na qualidade da forragem e aumenta a capacidade de suporte, constituindo uma alternativa resiliente ao uso exclusivo da adubação nitrogenada em pastagens tropicais.

Palavras-chave: *Arachis pintoi*; *Cajanus cajan*; Metano entérico; *Urochloa* spp.

Abstract: Brazilian beef cattle production is predominantly based on pasture systems, whose productivity depends on forage availability and quality. However, pasture degradation and growing concerns regarding greenhouse gas (GHG) emissions have reinforced the need for strategies that improve both the productive and environmental efficiency of these systems. In this context, grass–legume intercropping has emerged as a promising strategy by promoting biological nitrogen fixation, improving forage nutritive value, and reducing the dependence on nitrogen fertilizers. This study aimed to determine the effects of including forage legumes in *Urochloa brizantha* cv. Marandu pastures on forage productivity, Nellore heifer performance, and greenhouse gas emissions. The experiment was conducted at the experimental area of the Department of Animal Science, Federal University of Lavras, Lavras, Minas Gerais, Brazil. Five pasture systems were evaluated: marandu grass monoculture without nitrogen fertilization (B), marandu grass fertilized with 150 kg N ha⁻¹ year⁻¹ (B+N), marandu grass intercropped with forage peanut (B+A), marandu grass intercropped with pigeon pea (B+G), and marandu grass intercropped with forage peanut and pigeon pea (B+A+G). Pastures were managed under intermittent stocking with a variable stocking rate using Nellore heifers. Forage mass, botanical composition, forage nutritive value, animal performance, and enteric methane emissions were evaluated. During the pre-grazing period, the greatest grass forage mass was observed in B+N, whereas the greatest herbaceous forage mass occurred in B+A, B+N, and B+A+G, and the greatest total forage mass was recorded in B+G. The highest crude protein concentrations of the grass were observed in B+A (12.6%), B+N (11.6%), and B+A+G (10.7%). The B+A treatment showed the highest stocking rate (1.9 AU ha⁻¹), indicating greater pasture carrying capacity, whereas the highest average daily gain (ADG) was observed in B+A+G and B+A during the rainy season (0.771 and 0.553 kg day⁻¹, respectively). Furthermore, B+A presented the lowest enteric methane emission intensity during the rainy season. Nitrogen input, either through forage legumes or nitrogen fertilization, improves forage quality and increases pasture carrying capacity, representing a sustainable alternative to the exclusive use of nitrogen fertilization in tropical pasture systems.

Keywords: *Arachis pintoi*; *Cajanus cajan*; Enteric methane; *Urochloa* spp.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Gráfico de precipitação e temperaturas durante o período experimental.

Figura 2. Cronograma do período experimental e das avaliações realizadas nas estações das águas e da seca.

Figura 3. Representação esquemática da área experimental.

Figura 4. Linha do tempo do histórico da área experimental de 2013 a 2025.

Figura 5. Composição da biomassa total dos tipos de pastagem. B: Brachiaria sem adubação; B+N: Brachiaria com 150 kg de N; B+A: Brachiaria com amendoim forrageiro; B+G: Brachiaria com feijão-guandu; B+A+G: Brachiaria com amendoim forrageiro e feijão-guandu.

Figura 6. Proteína bruta (PB) da gramínea, amendoim e feijão-guandu nos diferentes tipos de pastagem durante os períodos das águas e da seca. B: Brachiaria sem adubação; B+N: Brachiaria com 150 kg de N; B+A: Brachiaria com amendoim forrageiro; B+G: Brachiaria com feijão-guandu; B+A+G: Brachiaria com amendoim forrageiro e feijão-guandu. Letras maiúsculas comparam o %PB da gramínea, letras minúsculas comparam o %PB do feijão-guandu.

Figura 7. Fibra em Detergente Neutro (FDN) da gramínea, amendoim e feijão-guandu nos diferentes tipos de pastagem durante os períodos das águas e da seca. B: Brachiaria sem adubação; B+N: Brachiaria com 150 kg de N; B+A: Brachiaria com amendoim forrageiro; B+G: Brachiaria com feijão-guandu; B+A+G: Brachiaria com amendoim forrageiro e feijão-guandu.

Figura 8. Taxa de lotação (UA/ha) no período de águas e secas nos tipos de pastagem. B: Brachiaria sem adubação; B+N: Brachiaria com 150 kg de N; B+A: Brachiaria com amendoim forrageiro; B+G: Brachiaria com feijão-guandu; B+A+G: Brachiaria com amendoim forrageiro e feijão-guandu.

Figura 9. Ganho médio diário (GMD, kg/dia) de acordo com os períodos do ano e tipos de pastagem. B: Brachiaria sem adubação; B+N: Brachiaria com 150 kg de N; B+A: Brachiaria com amendoim forrageiro; B+G: Brachiaria com feijão-guandu; B+A+G: Brachiaria com amendoim forrageiro e feijão-guandu.

Figura 10. Média anual de ganho por área (kg/ha) nos tipos de pastagem. B: Brachiaria sem adubação; B+N: Brachiaria com 150 kg de N; B+A: Brachiaria com amendoim forrageiro; B+G: Brachiaria com feijão-guandu; B+A+G: Brachiaria com amendoim forrageiro e feijão-guandu.

Figura 11. Emissão diária de CH₄ por animal no período das águas e da seca em diferentes tipos de pastagem. B: Brachiaria sem adubação; B+N: Brachiaria com 150 kg de N; B+A: Brachiaria com amendoim forrageiro; B+G: Brachiaria com feijão-guandu; B+A+G: Brachiaria com amendoim forrageiro e feijão-guandu.

Figura 12. Emissão diária de CH₄ por kg de peso corporal no período das águas e da seca em diferentes tipos de pastagem. B: Brachiaria sem adubação; B+N: Brachiaria com 150 kg de N; B+A: Brachiaria com amendoim forrageiro; B+G: Brachiaria com feijão-guandu; B+A+G: Brachiaria com amendoim forrageiro e feijão-guandu.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Valores médios de altura do dossel e de massa de forragem da gramínea, da fração herbácea, da massa total e do material morto nos diferentes tipos de pastagem, avaliados nas condições de pré e pós-pastejo durante os períodos das águas e da seca.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. OBJETIVOS	16
2.1. Objetivos específicos	16
3. HIPÓTESES	17
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
4.1. Degradação e recuperação de pastagens	18
4.2. Emissão de metano na pecuária	20
4.3. Leguminosas na intensificação de pastagens	23
5. MATERIAL E MÉTODOS	27
5.1. CEUA	27
5.2. Área e período experimental	27
5.3. Tratamentos e manejo experimental	28
5.4. Avaliações da forragem	31
5.4.1. Massa de forragem e composição botânica	31
5.4.2. Composição bromatológica	31
5.5. Avaliação do desempenho animal	32
5.6. Emissão de metano entérico.....	32
5.7. Análise estatística.....	33
6. RESULTADOS	35
6.1. Avaliações da forragem	35
6.1.1. Massa de forragem e composição botânica	35
6.1.2. Composição bromatológica	38
6.2. Avaliação do desempenho animal	40
6.3. Emissão de metano entérico.....	43
7. DISCUSSÃO	46
8. CONCLUSÃO.....	54
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55

1. INTRODUÇÃO

A crescente demanda mundial por produtos de origem animal tem impulsionado a busca por sistemas pecuários mais eficientes e sustentáveis (Tahir *et al.*, 2023). Nesse contexto, os ruminantes ocupam grande parte das áreas agrícolas do mundo e apresentam elevada capacidade de aproveitamento de alimentos fibrosos não destinados à alimentação humana (Aboagye e Beauchemin, 2019). No Brasil, a pecuária é desenvolvida predominantemente em sistemas baseados em pastagens tropicais, ocupando aproximadamente 160 milhões de hectares do território nacional (IBGE, 2020), com um rebanho estimado em 194 milhões de animais criados majoritariamente a pasto (ABIEC, 2025).

Apesar da importância econômica da atividade, a sustentabilidade ambiental da produção de ruminantes tem sido amplamente discutida devido à emissão de gases de efeito estufa, principalmente metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O). O CH₄ oriundo da fermentação ruminal representa um dos principais desafios da pecuária moderna devido ao seu elevado potencial de aquecimento global (Cardoso-Gutierrez *et al.*, 2021). Associado a isso, a elevada proporção de pastagens degradadas e o avanço da expansão pecuária sobre áreas naturais representam importantes entraves para a sustentabilidade da produção animal brasileira (Oliveira *et al.*, 2020).

Diante desse cenário, a intensificação sustentável das pastagens tropicais tornou-se estratégia fundamental para elevar a produtividade animal sem comprometer os recursos naturais. Entre as alternativas utilizadas, o consórcio entre gramíneas e leguminosas forrageiras tem recebido destaque devido à capacidade de fixação biológica de nitrogênio, melhoria da fertilidade do solo, aumento do valor nutritivo da forragem e redução da dependência de fertilizantes nitrogenados. Além disso, leguminosas contendo compostos secundários como os taninos condensados, podem contribuir para maior eficiência de utilização do nitrogênio pelos ruminantes e para mitigação das emissões entéricas de CH₄ (Aboagye e Beauchemin, 2019; Cardoso-Gutierrez *et al.*, 2021).

Entre as espécies com potencial de utilização em sistemas pastoris tropicais, destacam-se o feijão-guandu (*Cajanus cajan*) e o amendoim forrageiro (*Arachis pintoi*), cujas características são complementares ao longo do ano. O feijão-guandu apresenta elevada rusticidade, resistência à seca e elevado teor proteico (Furtado *et al.*, 2026), podendo atuar como importante fonte de proteína durante os períodos de escassez forrageira e reduzir a necessidade de suplementação com concentrados proteicos (Furtado *et al.*, 2023; Furtado *et al.*, 2026). Já o amendoim forrageiro destaca-se pela elevada adaptação e produtividade em ambientes tropicais (Pereira *et al.*, 2020), sendo capaz de fixar 109 kg/ha de N por meio da fixação biológica de nitrogênio (Homem *et al.*, 2021c), aporte que pode equivaler à aplicação de 150 kg/ha de N na forma de ureia. No entanto, esse nitrogênio é disponibilizado à gramínea de forma gradual, principalmente pela decomposição da liteira e pela reciclagem promovida pelas excretas dos animais (Homem *et al.*, 2021c). Além disso, embora seu crescimento seja reduzido durante a estação seca devido à menor temperatura e disponibilidade hídrica, o amendoim forrageiro apresenta rápido desenvolvimento no início do período chuvoso, caracterizado por intensa emissão e alongamento foliar (Homem *et al.*, 2021a). Dessa forma, enquanto o amendoim forrageiro tende a contribuir principalmente para a produção de forragem durante o período chuvoso, o feijão-guandu pode auxiliar na manutenção da qualidade da dieta na estação seca. Entretanto, apesar dos benefícios associados ao uso de leguminosas em pastagens, ainda existem limitações relacionadas ao manejo dos consórcios, à persistência das espécies sob pastejo e à compreensão dos impactos produtivos e ambientais desses sistemas em condições tropicais.

2. OBJETIVOS

Determinar os efeitos da inclusão de leguminosas em pastagens de *Urochloa brizantha* cv. Marandu sobre a produtividade forrageira, o desempenho de novilhas Nelore e as emissões de gases de efeito estufa, visando identificar sistemas de produção capazes de conciliar eficiência produtiva e sustentabilidade ambiental em comparação ao monocultivo com e sem adubação nitrogenada.

2.1. Objetivos Específicos

Quantificar a produção de forragem da gramínea, da massa herbácea e da massa total em pastagens de *Urochloa brizantha* cv. Marandu em monocultivo, com ou sem adubação nitrogenada e em consórcio com *Arachis pinto* cv. BRS Mandobi e/ou *Cajanus cajan*.

Caracterizar o valor nutritivo da gramínea, do amendoim forrageiro e do feijão-guandu, gerados nos diferentes sistemas de produção.

Mensurar o desempenho produtivo de novilhas Nelore por meio do ganho médio diário, da taxa de lotação e do ganho de peso por área.

Quantificar a emissão de CH₄ entérico, por animal e por unidade de peso corporal, nos diferentes sistemas de produção.

Comparar o desempenho produtivo sistemas avaliados, identificando aqueles que proporcionem maior eficiência de produção associada à redução das emissões de gases de efeito estufa.

3. HIPÓTESES

A inclusão de leguminosas forrageiras ou o uso de adubação nitrogenada em pastagens de *Urochloa brizantha* cv. Marandu aumenta a disponibilidade e melhora o valor nutritivo da forragem em comparação à mesma monocultivada e sem adubação.

A maior disponibilidade e qualidade da forragem, proporcionadas pelos sistemas com maior oferta de nitrogênio, refletem em melhor desempenho produtivo de novilhas Nelore em pastejo.

Os sistemas consorciados com *Cajanus cajan* possuem maior capacidade de manter a produção e a qualidade da forragem durante o período seco em relação ao monocultivo de capim-marandu.

A inclusão de leguminosas em pastagens de capim-marandu reduz a emissão de CH₄ entérico, contribuindo para maior eficiência ambiental dos sistemas de produção.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1. Degradação e recuperação de pastagens

A pecuária brasileira é predominantemente conduzida em sistemas de produção a pasto, favorecida historicamente pelo baixo custo de implantação e pela possibilidade de ocupação de grandes extensões territoriais (Dias-Filho, 2011). Nesse contexto, as pastagens desempenham papel fundamental na produção de proteína animal, na segurança alimentar e na sustentabilidade dos sistemas pecuários, sendo a manutenção da oferta de forragem essencial para a produção animal e para a segurança alimentar global (Tahir *et al.*, 2023).

Apesar de sua importância, grande parte das pastagens brasileiras encontra-se em algum estágio de degradação. Estima-se que aproximadamente 50% dessas áreas estejam degradadas (Macedo *et al.*, 2014); em alguns locais esse percentual pode atingir cerca de 70% (Dias-Filho, 2011). Além disso, aproximadamente 50 milhões de hectares encontram-se em estágios avançados de degradação (Feltran-Barbieri *et al.*, 2021). A degradação de pastagens caracteriza-se pela perda de vigor, produtividade e capacidade de recuperação natural da forrageira, comprometendo a produção vegetal e animal e promovendo a degradação do solo e dos recursos naturais em decorrência de manejos inadequados (Macedo *et al.*, 2000). Como consequência, essas áreas tornam-se incapazes de atender adequadamente às exigências produtivas dos animais. Esse processo resulta da interação entre fatores antrópicos, bióticos e abióticos. Entre os principais destacam-se o manejo inadequado do pastejo, com taxas de lotação incompatíveis com a capacidade de suporte, períodos de descanso inadequados, ausência de reposição de nutrientes e uso recorrente do fogo (Ojeda *et al.*, 2022). Também contribuem os ataques de insetos e patógenos, além de deficiência ou excesso hídrico, baixa fertilidade e drenagem inadequada dos solos (Dias-Filho, 2011).

Entre os nutrientes essenciais às gramíneas tropicais, o nitrogênio é considerado o principal fator limitante da produtividade das pastagens. A baixa disponibilidade desse nutriente constitui uma das principais limitações à produção em regiões tropicais e está entre os principais fatores responsáveis pela degradação de pastagens formadas por gramíneas C4 (Boddey *et al.*, 2004). Sua deficiência reduz o crescimento vegetal, a produção de forragem e seu valor nutritivo, enquanto sua adição aumenta a taxa de crescimento das plantas, a produção de forragem, a massa de folhas verdes, a concentração de proteína bruta e a digestibilidade, refletindo positivamente no desempenho animal (Ruggieri *et al.*, 1994). Dessa forma, o aumento da disponibilidade

de nutrientes e da capacidade de ingestão pelos animais pode maximizar a produção em sistemas de pastejo (Chapman *et al.*, 2007).

A fertilização nitrogenada constitui uma das estratégias mais rápidas para intensificar a produção pecuária em menores áreas, sendo essencial para sistemas baseados em monocultivo de gramíneas (Pereira Neto *et al.*, 2024). O nitrogênio também desempenha importante papel na ciclagem de nutrientes em solos de baixa fertilidade (Dubeux Jr. *et al.*, 2007), sendo a ureia a principal fonte utilizada no Brasil devido ao menor custo por kg de N (Boddey *et al.*, 2020). Entretanto, seu uso apresenta limitações econômicas e ambientais, em razão dos elevados custos, dificuldades de distribuição e perdas por volatilização de amônia, emissão de óxido nitroso e lixiviação de nitrato (Homem *et al.*, 2021c; dos Santos *et al.*, 2022). Assim, cresce o interesse por alternativas que aumentem a eficiência do uso do nitrogênio.

Além das perdas produtivas, a degradação das pastagens promove impactos ambientais relevantes, incluindo aumento das emissões de CO₂ (Brito *et al.*, 2015), maior pegada de carbono da produção de carne bovina (Oliveira *et al.*, 2020), redução dos estoques de carbono no solo (Braz *et al.*, 2013), maior ocorrência de plantas invasoras, pragas, doenças, compactação e erosão do solo (Simeão *et al.*, 2024). Dessa forma, prevenir a degradação é fundamental para manter a produtividade e reduzir os impactos ambientais da pecuária (Oliveira *et al.*, 2020).

A recuperação de pastagens degradadas representa importante estratégia para elevar a produtividade animal, reduzir a necessidade de abertura de novas áreas e contribuir para o aumento dos estoques de carbono e da ciclagem de nutrientes (Homem *et al.*, 2024; Dos Santos *et al.*, 2019), configurando-se como alternativa para mitigação das emissões de gases de efeito estufa. Nesse contexto, o Brasil tem implementado políticas públicas como o Plano ABC, o Plano ABC+ e o Programa Nacional para a Conversão de Pastagens Degradadas em Sistemas Sustentáveis de Produção Agropecuária e Florestal (Brasil, 2023). A recuperação dessas áreas pode ser realizada por meio de práticas como ajuste da taxa de lotação, manejo adequado do pastejo, correção da acidez do solo, calagem e adubação (Simeão *et al.*, 2024). Os métodos empregados podem ser diretos, utilizados em áreas menos degradadas, ou indiretos, baseados na consorciação da pastagem com outras culturas, sendo estes os mais indicados para áreas em estágios avançados de degradação.

Entre as estratégias sustentáveis de recuperação, destaca-se o uso de leguminosas forrageiras, em consórcio com gramíneas, capazes de incorporar nitrogênio ao sistema

por meio da FBN, reduzindo a dependência de fertilizantes nitrogenados e favorecendo a produtividade e a longevidade das pastagens (Barcellos *et al.*, 2008). Diante do aumento dos custos dos fertilizantes e das preocupações ambientais, a FBN assume importância estratégica para os sistemas pecuários (Gomes *et al.*, 2018; Dos Santos *et al.*, 2022). Dentre as leguminosas utilizadas em sistemas pastoris, o feijão-guandu destaca-se pelo elevado potencial na recuperação de áreas degradadas. A espécie apresenta elevada produção de biomassa e altos teores de nitrogênio na parte aérea, favorecendo o enriquecimento do solo, o aumento da matéria orgânica e da disponibilidade de forragem (Oliveira *et al.*, 2022). Além disso, possui ampla adaptação edafoclimática, tolerando condições de seca, diferentes temperaturas e variados tipos de solo, contribuindo ainda para redução da erosão, controle de plantas daninhas e melhoria da infiltração de água (Sadia *et al.*, 2025). Seu elevado desenvolvimento vegetativo também favorece o sequestro e o armazenamento de carbono no solo, contribuindo para mitigação das mudanças climáticas (Lal, 2004c).

Assim, a recuperação de pastagens degradadas por meio de práticas de manejo sustentáveis e da utilização de leguminosas forrageiras, especialmente o feijão-guandu, constitui alternativa promissora para elevar a produtividade pecuária, melhorar a fertilidade do solo, reduzir a dependência de fertilizantes nitrogenados e mitigar os impactos ambientais da produção animal em regiões tropicais.

4.2. Emissão de metano na pecuária

A produção de gases de efeito estufa (GEE) pela pecuária tem recebido crescente atenção nas últimas décadas devido à sua contribuição para as mudanças climáticas globais. Embora a produção animal desempenhe papel fundamental na segurança alimentar mundial, especialmente em países cuja pecuária é baseada em sistemas pastoris, a atividade também é reconhecida como importante fonte de emissões de GEE, com destaque para o CH₄ oriundo da fermentação entérica dos ruminantes (Arango *et al.*, 2020). No Brasil, a relevância desse tema é evidenciada pelos dados do Quinto Relatório de Atualização Bienal do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, segundo o qual os ruminantes foram responsáveis pela emissão de 13.454,3 kt de CH₄ no ano de 2020. Adicionalmente, o setor agropecuário responde pelas maiores contribuições nacionais de CH₄ e N₂O para os inventários de GEE (Homem *et al.*, 2024), sendo que aproximadamente 90% das emissões nacionais de N₂O estão associadas às atividades agrícolas (SIRENE MCTI, 2023). Entre os GEE produzidos pela agropecuária,

o CH₄ merece destaque devido ao seu elevado potencial de aquecimento global. Embora apresente menor tempo de permanência na atmosfera quando comparado ao CO₂, seu efeito sobre o aquecimento global é significativamente mais intenso no curto prazo, tornando sua mitigação uma estratégia prioritária para limitar as mudanças climáticas nas próximas décadas (Arndt *et al.*, 2021).

A produção de CH₄ pelos ruminantes está diretamente relacionada ao processo digestivo que ocorre no rúmen. Esses animais dependem de uma complexa comunidade microbiana anaeróbia capaz de degradar carboidratos (estruturais e não estruturais), proteínas e outros compostos orgânicos presentes na dieta (Aboagye e Beauchemin, 2019). Durante esse processo, são produzidos ácidos graxos voláteis, amônia, CO₂ e hidrogênio (H₂). Os ácidos graxos voláteis constituem a principal fonte energética para o animal, enquanto o CO₂ e o H₂ são utilizados por arqueias metanogênicas para formação do CH₄ (Aboagye e Beauchemin, 2019). De forma semelhante, Min *et al.* (2020) destacam que a fermentação microbiana dos carboidratos no rúmen, responsável pela síntese de proteína microbiana e produção de ácidos graxos voláteis, é inevitavelmente acompanhada pela liberação de gases como CO₂ e CH₄. Assim, a produção de CH₄ é uma consequência fisiológica e natural do metabolismo ruminal e está intimamente associada à eficiência da fermentação dos alimentos consumidos pelos animais.

Diversos fatores influenciam a magnitude das emissões entéricas, incluindo condições ambientais, categoria animal e qualidade da dieta ofertada (Beauchemin *et al.*, 2020). Além disso, o consumo de matéria seca (CMS) exerce forte influência sobre a produção de CH₄, sendo considerado um dos principais determinantes das emissões entéricas (Min *et al.*, 2020). Em sistemas tropicais, a composição das pastagens exerce papel central nesse processo. Pastagens tropicais geralmente apresentam elevadas concentrações de carboidratos estruturais, como celulose e hemicelulose, e baixos teores de proteína bruta. Essa característica reduz a eficiência fermentativa e prolonga o tempo de retenção da digesta no rúmen, favorecendo maiores emissões de CH₄ (Goopy *et al.*, 2020). Nesse contexto, a intensificação sustentável dos sistemas de produção animal surge como estratégia importante para reduzir as emissões sem comprometer a produtividade. Estudos conduzidos em condições de pastagens tropicais demonstram que o aumento da quantidade e da qualidade da forragem pode melhorar o desempenho animal e, simultaneamente, contribuir para mitigação das emissões de CH₄ (Oliveira *et al.*, 2020).

A redução das emissões por unidade de produto é particularmente relevante para a realidade brasileira. Grande parte da produção nacional de carne bovina ainda é baseada

em sistemas extensivos, caracterizados por baixas taxas de lotação e idade de abate relativamente elevada (ABIEC, 2025). Nessas condições, os animais permanecem mais tempo emitindo CH₄ até atingirem o peso de abate, aumentando as emissões por quilograma de carne produzida. Em contrapartida, sistemas intensificados apresentam potencial para reduzir as emissões de CH₄ por unidade de produto e aumentar a eficiência de uso da terra (Pasquini Neto *et al.*, 2024). Dentre as diversas estratégias disponíveis para mitigação do CH₄ entérico, a utilização de leguminosas forrageiras em sistemas pastoris tem se destacado como alternativa promissora (Boddey *et al.*, 2020). As leguminosas apresentam características capazes de modificar a digestão da matéria orgânica no rúmen e, consequentemente, influenciar a produção de CH₄. Além disso, as leguminosas, frequentemente, apresentam maiores concentrações de proteína bruta (PB) e carboidratos não fibrosos, o que pode favorecer alterações na fermentação ruminal associadas à redução das emissões de CH₄ (Ligoski *et al.*, 2020). Outro aspecto relevante refere-se à presença de metabólitos secundários, especialmente os taninos. O desenvolvimento de sistemas de produção de baixa emissão tem direcionado esforços para utilização de plantas contendo esses compostos, capazes de alterar o microbioma ruminal e redirecionar o H₂ produzido durante a fermentação para vias metabólicas mais eficientes energeticamente, reduzindo a formação de CH₄ (Ku-Vera *et al.*, 2020b). Embora os mecanismos de ação dos taninos ainda não sejam completamente compreendidos, evidências indicam que os taninos hidrolisáveis atuam principalmente por meio da inibição direta das arqueias metanogênicas, enquanto os taninos condensados afetam determinadas bactérias fibrolíticas, alterando a digestão da fibra e a produção de CH₄ (Goel e Makkar, 2012). Entretanto, estratégias de mitigação devem ser avaliadas de forma criteriosa. Conforme destacado por Min *et al.* (2020), os benefícios decorrentes da redução das emissões de CH₄ não devem ser acompanhados por prejuízos ao consumo voluntário, digestibilidade dos nutrientes, metabolismo ou desempenho animal. Assim, o desafio consiste em reduzir as emissões sem comprometer a eficiência produtiva dos sistemas.

Além das emissões entéricas, a utilização de fertilizantes nitrogenados também contribui para a emissão de gases de efeito estufa. O processo de fabricação desses fertilizantes demanda combustíveis fósseis e gera emissões de CO₂, às quais se somam aquelas provenientes do transporte e da aplicação dos produtos (Homem *et al.*, 2024). Nesse sentido, a substituição parcial da adubação nitrogenada pelo uso de leguminosas representa vantagem adicional. Pastagens consorciadas geralmente dispensam a

utilização de fertilizantes nitrogenados, eliminando uma importante fonte de N_2O e reduzindo as emissões associadas à cadeia produtiva desses insumos (Boddey *et al.*, 2020). Além disso, a inclusão de leguminosas pode reduzir as perdas de nitrogênio via urina, contribuindo indiretamente para menores emissões de N_2O .

Diante desse cenário, a identificação de estratégias capazes de mitigar as emissões de CH_4 sem comprometer a produtividade animal constitui necessidade urgente para a pecuária moderna (Congio *et al.*, 2021). A adoção de sistemas pastoris mais eficientes, associados ao uso de leguminosas forrageiras e de compostos bioativos capazes de modular a fermentação ruminal, representa uma das abordagens mais promissoras para conciliar produtividade, rentabilidade e sustentabilidade na produção de ruminantes.

4.3. Leguminosas na intensificação de pastagens

A intensificação sustentável da produção pecuária em sistemas pastoris tem se consolidado como estratégia para aumentar a eficiência produtiva, reduzir impactos ambientais e minimizar a expansão sobre novas áreas. Nesse contexto, a utilização de leguminosas forrageiras, em consórcio com gramíneas tropicais, tem recebido crescente atenção por melhorar a fertilidade do solo, aumentar o valor nutritivo da forragem e favorecer a sustentabilidade dos sistemas de produção animal.

A associação entre gramíneas e leguminosas promove complementaridade ecológica e funcional, beneficiando tanto os animais quanto o funcionamento do ecossistema. Essa complementaridade decorre da capacidade das leguminosas de acessar recursos menos disponíveis às gramíneas, promover a transferência de nitrogênio fixado biologicamente e disponibilizar esse nutriente gradualmente ao sistema solo-planta (Fornara e Tilman, 2008). Assim, a introdução de leguminosas em sistemas de pastejo constitui importante alternativa para aumentar a eficiência produtiva da pecuária, especialmente em sistemas de baixa tecnologia, proporcionando maior produtividade e retorno econômico (Dos Santos *et al.*, 2022). Grande parte desses benefícios está associada à FBN, processo simbiótico entre rizóbios e leguminosas que representa alternativa ao uso de fertilizantes nitrogenados comerciais. O maior suprimento de nitrogênio favorece a produtividade das pastagens, melhora o valor nutritivo da forragem e contribui para o desempenho animal (Dubeux Jr e Sollenberger, 2020). Além da redução ou eliminação da adubação nitrogenada, as leguminosas diminuem a dependência de combustíveis fósseis utilizados na produção e aplicação de fertilizantes, aumentam o aporte de matéria orgânica e palhada, estimulam a ciclagem de nutrientes, favorecem a

fixação de carbono no solo e melhoram as propriedades edáficas em função do sistema radicular profundo e da associação com bactérias fixadoras de nitrogênio (Dos Santos *et al.*, 2022).

Em sistemas convencionais de renovação de pastagens, o nitrogênio disponível provém principalmente da mineralização da matéria orgânica estimulada pelo preparo do solo (Matus *et al.*, 1997). Entretanto, a repetição desse manejo favorece perdas de matéria orgânica e carbono, aumentando as emissões de CO₂ (Boddey *et al.*, 2020). Nesse contexto, a introdução de leguminosas representa alternativa para reduzir essas perdas e aumentar a produtividade animal (Boddey *et al.*, 2020).

Apesar das vantagens, a utilização de leguminosas forrageiras em pastagens brasileiras ainda é limitada devido ao reduzido número de cultivares disponíveis, ao elevado custo de implantação, ao lento estabelecimento, à baixa persistência sob pastejo e ao desconhecimento de seu potencial pelos produtores (Barcellos *et al.*, 2008; Pereira Neto *et al.*, 2024). Embora se acreditasse que a baixa persistência estivesse relacionada à incompatibilidade entre gramíneas C4 e leguminosas C3, estudos demonstraram que o sucesso do consórcio depende principalmente da escolha dos genótipos e do manejo adequado do pastejo (Andrade *et al.*, 2012). Nesse sentido, o manejo da desfolha exerce papel fundamental no equilíbrio entre os componentes do dossel forrageiro e na persistência das espécies consorciadas (Gomes *et al.*, 2018; Cruz *et al.*, 2024).

Entre as leguminosas utilizadas em sistemas pastoris tropicais, o amendoim forrageiro (*Arachis pintoï*) destaca-se pelo elevado potencial em ambientes de clima quente (Pereira *et al.*, 2020). A espécie pode fixar aproximadamente 109 kg/ha de N (Homem *et al.*, 2021c), sendo que o nitrogênio biologicamente fixado pode equivaler à aplicação de 150 kg de N na forma de ureia, embora sua disponibilização à gramínea ocorra gradualmente, principalmente pela decomposição da liteira e reciclagem, via excretas animais (Homem *et al.*, 2021c). Apesar da redução do crescimento durante a estação seca, em função da menor temperatura e precipitação, o amendoim forrageiro apresenta rápido desenvolvimento no início do período chuvoso devido à intensa emissão e alongamento foliar (Homem *et al.*, 2021a).

O feijão-guandu destaca-se entre as leguminosas tropicais pela elevada rusticidade, adaptação às condições de estresse ambiental e elevado potencial de FBN, produzindo maiores quantidades desse nutriente por unidade de biomassa quando comparado a diversas outras leguminosas (Onim, 1987). Sua associação com rizobactérias favorece a produção de compostos promotores de crescimento vegetal,

contribuindo para o desenvolvimento radicular e melhoria das condições do solo (Gizaw *et al.*, 2018). Além disso, seu sistema radicular profundo favorece a absorção e reciclagem de nutrientes, especialmente fósforo (Sadia *et al.*, 2025), enquanto sua elevada produção de biomassa e teores de proteína bruta entre 16% e 20% conferem alto potencial para alimentação de ruminantes (Paludo *et al.*, 2012). O feijão-guandu assume importância estratégica durante o período seco, quando ocorre redução da produção e da qualidade das gramíneas tropicais (Whiteman, 1980). Nessa época, a espécie constitui importante fonte proteica, permitindo aumento da taxa de lotação (Oliveira *et al.*, 2022). O consórcio entre feijão-guandu cv. BRS Mandarin e *Urochloa* spp. apresentou elevada produtividade e resistência à seca, proporcionando incremento aproximado de quatro toneladas de matéria seca por hectare durante esse período (Pezzopane *et al.*, 2024). Além disso, análises econômicas demonstraram que a utilização do feijão-guandu reduz os custos de alimentação, aumenta a disponibilidade de forragem e favorece maiores ganhos de peso animal, constituindo alternativa sustentável e economicamente viável para sistemas pecuários tropicais (Furtado *et al.*, 2024).

Outro aspecto relevante refere-se aos metabólitos secundários presentes em diversas leguminosas, especialmente os taninos condensados. Esses compostos melhoram a utilização do nitrogênio pelos ruminantes, reduzem a degradabilidade ruminal da proteína e alteram a excreção do nitrogênio, diminuindo perdas por formas mais voláteis (Aboagye e Beauchemin, 2019). Além disso, apresentam potencial para reduzir as emissões entéricas de CH₄ por meio da inibição de metanogênicos, protozoários e outros microrganismos produtores de H₂ no rúmen (Patra and Saxena, 2010). Diversas forrageiras tropicais apresentam esses metabólitos, os quais podem ocorrer nas formas condensada ou hidrolisável e apresentam atividade antimicrobiana sobre microrganismos ruminais (Cardoso-Gutierrez *et al.*, 2021). Assim, as leguminosas tropicais constituem importante alternativa para melhorar o aporte proteico e reduzir as emissões de CH₄ em bovinos mantidos em pastagens consorciadas (Cardoso *et al.*, 2020).

Portanto, o uso de leguminosas em pastagens tropicais representa estratégia promissora para intensificação sustentável da produção animal, favorecendo o aporte biológico de nitrogênio, a melhoria da fertilidade e da qualidade do solo, a redução da dependência de fertilizantes nitrogenados, o aumento da produtividade animal e a mitigação das emissões de gases de efeito estufa. Dentre as espécies disponíveis, o feijão-guandu destaca-se pelo elevado potencial produtivo, resistência à seca, capacidade de fixação de nitrogênio e importância estratégica durante os períodos de escassez forrageira.

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1. CEUA

O experimento foi submetido à avaliação do Comitê de Ética no Uso de Animais (CEUA) da Universidade Federal de Lavras e foi aprovado sob o protocolo nº 7655141024.

5.2. Área e período experimental

O experimento foi realizado na área experimental Pegasus – UFLA, pertencente ao Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Lavras, localizada em Lavras, Minas Gerais (21°14'S, 44°58'W, 918 m de altitude). A área experimental está inserida no bioma Mata Atlântica, com clima Cwa (mesotérmico com inverno seco e verão quente), segundo a classificação de Köppen (Sá Junior, 2012). Os dados climáticos foram obtidos através da estação meteorológica, a cerca de 1000 m de distância da área experimental. O gráfico de precipitação anual e das temperaturas máxima, média e mínima durante o período experimental está apresentado na Figura 1.

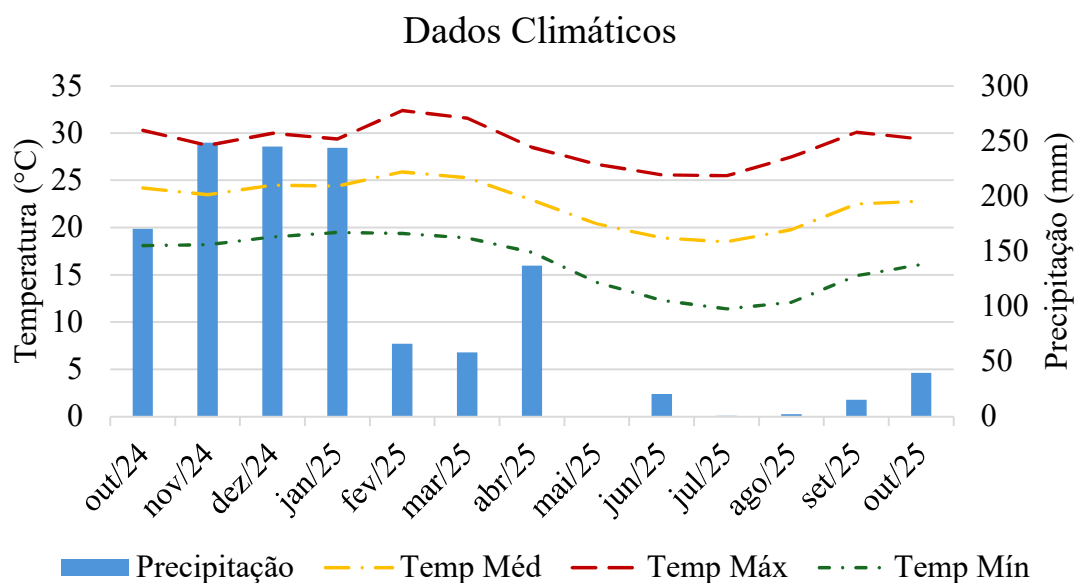


Figura 1. Gráfico de precipitação e temperaturas durante o período experimental.

O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho Distrófico, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SBCS, 2013). A análise química do solo de toda a área experimental foi realizada em julho de 2024 e apresentou os seguintes resultados: pH (H₂O) = 5,8; Al = 0,11 cmolc/dm³; Ca = 2,29 cmolc/dm³; Mg = 0,76 cmolc/dm³; Na = 5,00 cmolc/dm³; P (Mehlich-I) = 3,85 mg/dm³; K = 14,13 mg/dm³.

O período experimental foi conduzido de novembro de 2024 a outubro de 2025 (Figura 2), sendo subdividido em duas estações de avaliação: águas e seca. Em cada estação foram realizadas campanhas experimentais, compreendendo auge do verão e auge do inverno, representado período chuvoso e seco respectivamente. Cada campanha teve duração de 63 dias. Durante todo o período experimental foi medida a taxa de lotação, de novembro a abril para o período das águas e de maio a outubro para o período da seca.

Durante as campanhas experimentais foram realizadas avaliações de massa de forragem, ganho médio diário dos animais, emissões de gases de efeito estufa, além de coletas de fezes, urina e amostras obtidas por pastejo simulado. Adicionalmente, ao longo de todo o período experimental, foram estimados o ganho por área e a taxa de lotação, visando à caracterização produtiva dos sistemas avaliados.

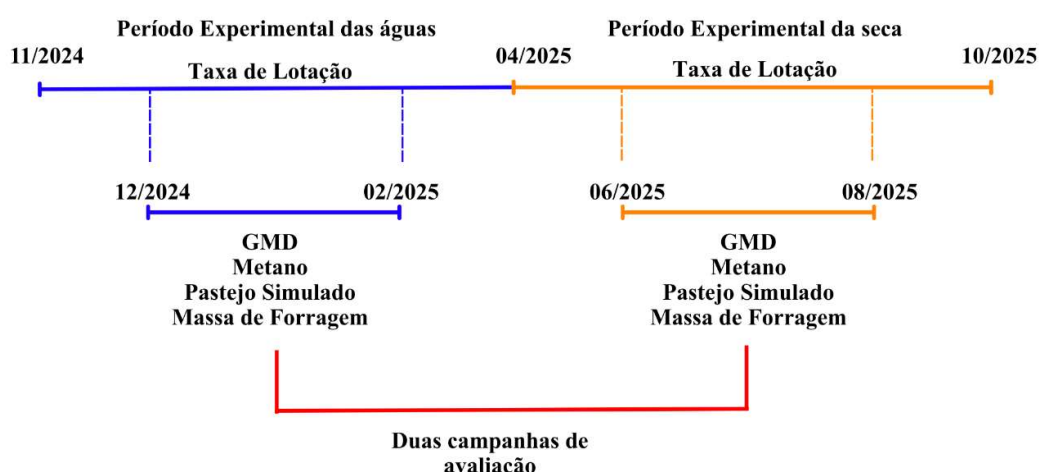


Figura 2. Cronograma do período experimental e das avaliações realizadas nas estações das águas e da seca.

5.3. Tratamentos e manejo experimental

Foram avaliados cinco tipos de pastagens (TP): B – monocultivo de capim-marandu (*Urochloa brizantha* (Hochst. ex A. Rich.) R.D. Webster [sin. *Brachiaria brizantha* Stapf] cv. Marandu) sem adubação nitrogenada; B+N – monocultivo de capim-marandu com 150 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹; B+A – consórcio de capim-marandu com amendoim-forrageiro (*Arachis pintoi* Krapov. & W.C. Greg. cv. BRS Mandobi); B+G – consórcio de capim-marandu com feijão-guandu (*Cajanus cajan* [L.] Huth var. *flavus* D.C.); e B+A+G – consórcio de capim-marandu, amendoim-forrageiro e feijão-guandu (Figura 3).

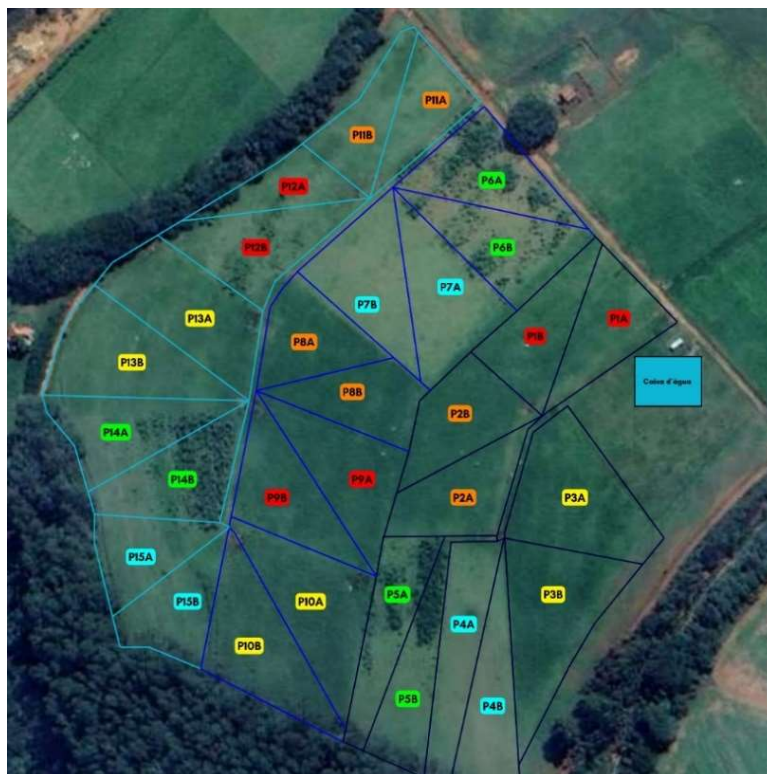


Figura 3. Representação esquemática da área experimental.

O estabelecimento inicial da área (Figura 4) ocorreu com a aplicação de calcário dolomítico em 12 ha da área experimental, em novembro de 2013. Em janeiro de 2014 foi realizado o plantio do capim-marandu, utilizando densidade de semeadura de 6 kg de sementes puras viáveis por hectare, além da aplicação de 52 kg/ha de P e 41 kg/ha K, por meio de superfosfato simples e cloreto de potássio, respectivamente (Homem *et al.*, 2021). Em dezembro de 2015, a área experimental foi dividida em quatro blocos, nos quais foram implantados B, B+N e B+A, (Homem *et al.*, 2021a). O amendoim-forrageiro foi estabelecido em 2015, utilizando 10 kg de sementes puras viáveis por hectare. Em 2022, os piquetes B e B+A foram divididos ao meio para a introdução do guandu, utilizando 40 kg de sementes puras viáveis por hectare. Além do plantio inicial, realizado em 2022, os piquetes contendo feijão-guandu passaram por duas roçadas seguidas de ressemeadura, realizadas em março de 2023 e outubro de 2024. A segunda intervenção foi realizada imediatamente antes do início do período experimental. Na mesma ocasião, todos os piquetes dos cinco sistemas de pastagem foram divididos em duas metades.

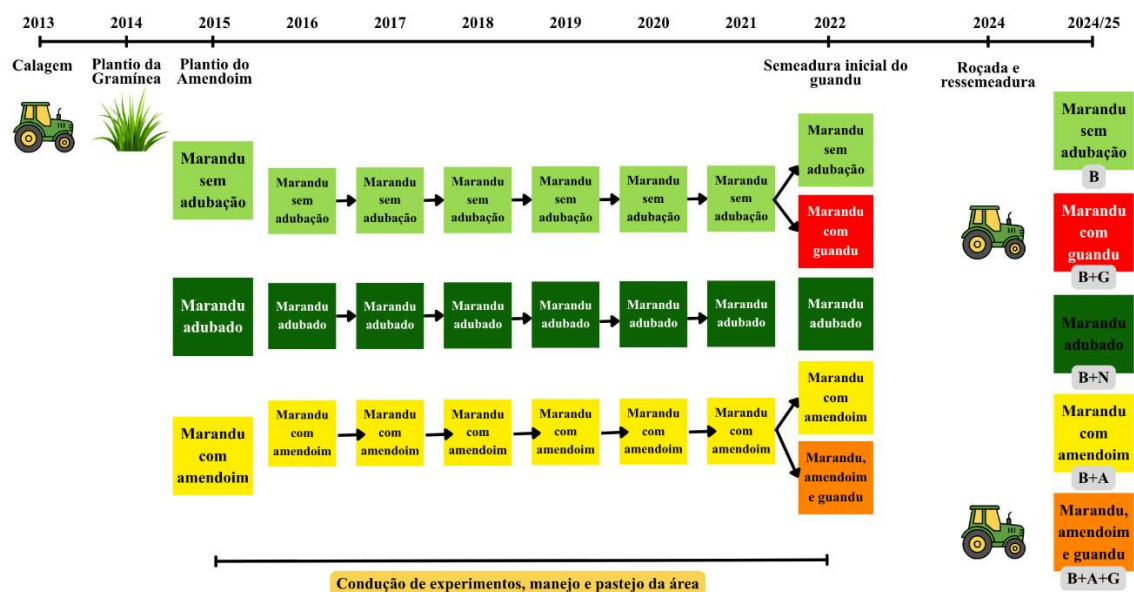


Figura 4. Linha do tempo do histórico da área experimental de 2013 a 2025.

Anualmente, durante o período das águas (outubro a abril), todos os piquetes receberam adubação com 22 kg/ha de P (superfosfato simples) e 41 kg/ha de K (cloreto de potássio). Em B+N, a adubação nitrogenada foi realizada com 150 kg de N ha/ano, parcelada em três aplicações de 50 kg de N/ha, utilizando-se ureia nos meses de novembro, janeiro e março.

Cada unidade experimental foi subdividida em dois lados (A e B), nos quais a lotação animal foi manejada de forma alternada. Todos os tipos de pastagem foram conduzidos sob os mesmos critérios de manejo, adotando-se alturas de entrada entre 0,25 e 0,30 m (Gomes *et al.*, 2018) e altura de saída de 0,15 m (Cruz *et al.*, 2024). As alturas médias do dossel forrageiro foram monitoradas, duas vezes por semana, por meio de um bastão graduado (Barthram, 1985), realizando-se 40 medições aleatórias em cada lado do piquete.

Para avaliação do desempenho e da produção de metano foram utilizadas duas novilhas Nelore por unidade experimental, com peso corporal inicial de 186 ± 15 kg e idade de 8 ± 1 mês, durante o período das águas, e de 266 ± 50 kg e 14 ± 1 mês, durante o período da seca. Animais reguladores ("put and take", Mott e Lucas, 1952) foram utilizados para o rebaixamento do dossel forrageiro até 0,15 m, tanto na estação das águas quanto na seca. Durante todo o período experimental, os animais tiveram livre acesso à água e a um suplemento mineral comercial, com 16 g/kg de P. A entrada dos animais ocorria quando um dos lados da unidade experimental atingia entre 0,25 e 0,30 m de altura, enquanto a retirada era realizada quando a altura residual alcançava 0,15 m.

Quando necessário, a taxa de lotação foi ajustada para manter as metas estruturais do pasto e garantir a alternância adequada entre os lados dos piquetes.

5.4. Avaliações da forragem

5.4.1. Massa de forragem e composição botânica

A avaliação da massa de forragem foi realizada por meio de três cortes, ao nível do solo, do material contido dentro de molduras de 0,5 x 0,5 m, sendo todo material colhido transportado para o laboratório de forragicultura da UFLA. Para determinação da matéria seca da gramínea e do amendoim, as amostras foram pesadas imediatamente após a coleta, secas em estufa de ventilação forçada a 55 °C por 72 h e novamente pesadas. A massa de forragem obtida nas molduras foi posteriormente convertida para kg/ha. Para a avaliação de massa de forragem do feijão-guandu foram utilizadas molduras de 1,5 x 1,5 m, dispostas aleatoriamente nos piquetes, para contagem do número de plantas. Após a contagem foram coletadas 10 plantas em pontos aleatórios dos piquetes. Para determinação da matéria seca do feijão-guandu foi estimada a quantidade de plantas por hectare e determinado o peso médio das plantas a partir das 10 plantas coletadas e posteriormente secas. Após a coleta da forragem, a composição botânica (separação de gramínea e amendoim) e morfológica (separação entre folha, colmo e material morto) foi realizada manualmente. Cada uma das frações foi pesada e seca em estufa de circulação forçada a 55 °C por 72 h. A massa de forragem foi considerada a massa de gramínea e leguminosas acima do solo, sem material morto. As coletas de forragem foram realizadas nos momentos de entrada e saída dos animais em ambos os lados dos piquetes, caracterizando então as massas pré e pós-pastejo. Os resultados de massas de gramínea, massa herbácea (gramínea + amendoim), massa total (gramínea + amendoim + feijão-guandu) e material morto (MM) foram expressos em kg/ha.

5.4.2. Composição bromatológica

Para a análise de composição bromatológica, serão coletadas amostras de forragem manualmente, utilizando o método do pastejo simulado (Johnson, 1978). A coleta foi realizada durante as campanhas, por três dias consecutivos, sendo posteriormente constituída uma amostra composta por cada período de avaliação. Para os piquetes consorciados, foram coletadas amostras da gramínea e das leguminosas, que foram separadas para as análises laboratoriais.

As amostras de forragem foram secas em estufa de ventilação forçada a 55 °C por 72 h e posteriormente moídas em moinho tipo Cyclotec mill (Tecator, Herndon, VA), utilizando-se peneiras de 2 mm e 1 mm. A concentração de matéria seca (MS) foi determinada por secagem em estufa a 105 °C, durante 16 horas, conforme método 934.01 da AOAC (2000). O teor de nitrogênio total foi determinado pelo método de Dumas utilizando-se o equipamento Leco FP-828 (Leco Instruments, Inc., St. Joseph, MI) e a concentração de PB foi calculada multiplicando-se o teor de N total por 6,25. A concentração de fibra em detergente neutro (FDN), corrigida para cinzas e proteína, será determinada pelo método da autoclave a 105 °C por 60 min, conforme descrito por AOAC (2000).

5.5. Avaliação do desempenho animal

As novilhas foram pesadas a cada 21 dias o período de campanha, sem restrições alimentares e hídricas, sempre pela manhã. O ganho médio diário (GMD) foi estimado por meio de regressão linear. Nesta equação, o peso inicial individual, para cada estação, foi a interseção e o GMD foi coeficiente angular da equação. A taxa de lotação foi calculada somando os pesos de todos os animais em cada piquete, dividido pelo número de dias do período de permanência e a área de cada piquete (Allen *et al.*, 2011). A taxa de lotação foi expressa em UA/ha, sendo considerada uma unidade animal (UA) como 450kg. O ganho de peso por área (GA) foi calculado multiplicando-se o GMD pela taxa de lotação (animais/ha), sendo expresso em kg/ha. As variáveis foram calculadas em média por unidade experimental para cada estação.

5.6. Emissão de metano entérico

Para cada piquete foram avaliadas as emissões de CH₄ de 2 animais. Foi utilizada a metodologia do gás traçador SF₆ (Johnson e Johnson, 1995) para medir emissões entéricas de CH₄ provenientes da ruminação, eructação e respiração. Quinze dias antes da coleta dos gases foram colocados cabrestos com o mecanismo utilizado para a coleta para permitir a adaptação das novilhas.

Nas 72 h antes do primeiro período de amostragem um pequeno tubo de latão com uma película permeada que emite uma quantidade conhecida de SF₆ foi colocado no rúmen para que este se equilibre no ambiente ruminal. Cada animal foi amostrado diariamente, no mesmo horário, por 5 dias consecutivos. As amostras de gás foram obtidas continuamente através de um tubo capilar conectado a um coletor localizado no

focinho do animal, que faz a sucção dos gases emitidos através da pressão negativa (aproximadamente 13 psi) existente dentro das cangas coletoras, posicionadas no pescoço dos animais (Johnson e Johnson, 1995). Cangas adicionais com o mesmo sistema utilizado pelos animais foram distribuídas pelos blocos de piquetes para monitorar a emissão diária ambiental de CH₄ durante as campanhas de avaliação. A amostragem foi realizada diariamente às 6h, quando os animais foram retirados dos piquetes e transferidos para as instalações de trabalho da área experimental.

Após a amostragem de gás foi adicionado nitrogênio puro aos *vials* (pressão aproximada de 1,5 psi acima da pressão ambiente, com N₂ sintético 5.0). Em seguida o CH₄ e o SF₆ foram quantificados por cromatografia gasosa em cromatógrafos tipo Agilent HP 6890, Wilmington, DE, EUA; ou Shimadzu GC-2014, Kyoto, Japão.

As curvas de calibração foram estabelecidas usando padrões de gás certificado pela White Martins (Praxair), com concentrações em ppt (54 ± 9, 97 ± 9 e 954 ± 98 ppt) para o SF₆ e em ppm (0,996; 4,98; 10,36 e 51,57 ppm) para o CH₄, segundo Westberg *et al.* (1998). A emissão de CH₄ liberado pelo animal foi calculada a partir da emissão de SF₆, correlacionando os resultados com a taxa conhecida de liberação do gás traçador no rúmen (Westberg *et al.*, 1998), seguindo a equação:

$$Emissão\ CH_4 = QSF_6 \times \left(\frac{[(CH_4)y - (CH_4)b]}{[(SF_6)y - (SF_6)b]} \right)$$

Onde emissão de CH₄ = taxa de emissão de CH₄ por animal; QSF₆ = Taxa de emissão conhecida de SF₆ da cápsula no rúmen; (CH₄)y = concentrações de CH₄ no dispositivo coletor; (CH₄)b = concentração no ambiente de CH₄; (SF₆)y = concentração de SF₆ no dispositivo coletor; e (SF₆)b = concentração no ambiente de SF₆.

Foram calculadas as emissões por animal por dia e por kg de peso corporal.

5.7. Análise Estatística

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com cinco tipos de pastagem (TP) três repetições e medições repetidas ao longo do tempo (águas e seca). Os dados foram analisados por modelos mistos usando o procedimento SAS MIXED (SAS Institute, Cary, NC). Os efeitos dos TP e das estações foram considerados fixos e os efeitos de bloco e ano como efeitos aleatórios. A discussão foi realizada em função dos TP e das estações. As médias foram estimadas usando as instruções LSMEANS e as comparações foram feitas entre tipos de pastagem usando o teste *Least*

Significant Difference (LSD). Foi utilizada significância declarada em $p < 0,10$. O modelo estatístico para análise dos dados foi o seguinte:

$$Y_{ijkz} = \mu + B_i + TP_j + E_z + (TP \times E)_{jz} + \varepsilon_{ijkz}$$

Onde Y_{ijkz} = valor observado no i-ésimo bloco do j-ésimo TP da z^a estação; μ = média geral; B_i = efeito aleatório associado ao i-ésimo bloco, $i = 1, 2, 3$; TP_j = efeito fixo associado aos j-ésimos tipos de pastagem, $j = 1, 2, 3, 4$ e 5 ; ε_{ijkz} = erro aleatório associado ao i-ésimo bloco no j-ésimo TP; E_z = efeito fixo associado à z-ésima estação, $z = 1$ e 2 ; $(TP \times E)_{jz}$ = efeito fixo da interação j-ésimo TP com a z-ésima estação. ε_{ijkz} = erro aleatório associado ao i-ésimo bloco, ao j-ésimo TP e a z-ésima estação.

6. RESULTADOS

6.1. Avaliação da forragem

6.1.1. Massa de forragem e composição botânica

A altura média do dossel não foi afetada pela interação entre o tipo de pastagem (TP) e a estação do ano, tanto no pré-pastejo quanto no pós-pastejo (Tabela 1). O TP também não afetou a altura do dossel pré e pós-pastejo, nos quais as alturas médias foram 27,6 cm durante o pré-pastejo e 15,4 cm no pós-pastejo. No entanto, a altura pré-pastejo foi afetada pela estação do ano ($p < 0,0001$); a altura foi de 24,1 cm nas águas e 31,0 cm na seca. Não houve também diferença entre as estações do ano no pós-pastejo ($p = 0,4673$). Houve também efeito da estação nas massas de herbácea (amendoim forrageiro + feijão-guandu), total e de material morto (MM) ($p < 0,10$). A massa de herbáceas foi 15% maior durante a estação chuvosa, no entanto a massa total foi cerca de 36% maior durante a estação seca.

A massa de gramínea no pré-pastejo não foi afetada pela interação entre TP e estação (Est) e nem pelo efeito simples de estação (Tabela 1; $p > 0,10$). No entanto, a massa de gramínea no pré-pastejo foi maior no B+N (4085 kg/ha de MS) que nos tipos de pastagem B, B+G e B+A+G, que apresentaram média de 3008 kg/ha de MS. A massa de gramínea no pré-pastejo B+A (3540 kg/ha de MS) não diferiu dos demais TP. A massa de herbáceas foi 30% maior nos tipos de pastagem B+A e B+A+G (média de 4068 kg/ha de MS) em comparação com B+G (2796 kg/ha de MS). Durante a estação das águas, a massa de herbáceas pré-pastejo foi 15% maior que durante a estação seca. A massa total foi aproximadamente três vezes maior em B+G, com valor de 8754 kg/ha de MS em comparação com o tipo de pastagem B, que apresentou a menor massa. Não houve diferença no MM entre os TP ($p = 0,5247$).

No pós-pastejo a massa de gramínea foi maior em B+A (2126 kg/ha de MS) quando comparada com B, B+G e B+A+G (média de 1422 kg/ha), mas não diferiu de B+N (1907 kg/ha de MS). O tipo de pastagem B+A apresentou a maior massa de herbácea, seguida do TP B+A+G e B+G, respectivamente. Os tipos de pastagem B+G, B+A e B+A+G apresentaram as maiores massas totais no pós-pastejo, com média 2515 kg/ha de MS. O MM foi 2,3 vezes superior em B+N comparado com B+G, que apresentou menor MM. As massas de gramínea, de herbácea e total foram significativamente maiores durante a estação das águas, enquanto a massa de MM respondeu de maneira oposta e foi 1,76 vezes maior durante a estação seca do que durante a estação chuvosa.

Tabela 1. Valores médios de altura do dossel e de massa de forragem da gramínea, da fração herbácea, da massa total e do material morto nos diferentes tipos de pastagem, avaliados nas condições de pré e pós-pastejo durante os períodos das águas e da seca.

	B	B+N	B+A	B+G	B+A+G	Águas	Seca	EPM	p-valor		
									TP	Est	TP*Est
Pré Pastejo											
Altura (cm)	27,3	30,1	26,7	26,8	27,0	24,1	31,0	1,2	0,2823	<0,0001	0,3588
Gramínea (kg/ha de MS)	2971b	4085a	3540ab	2796b	3256b	3473	3282	337	0,0616	0,5433	0,6796
Amendoim (kg/ha de MS)	N/A	N/A	794	N/A	546	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Herbácea (kg/ha de MS)	2971b	4085a	4334a	2796b	3802a	3886	3309	338	0,0162	0,0726	0,9204
Feijão-guandu (kg/ha de MS)	N/A	N/A	N/A	5958	1739	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Total (kg/ha de MS)	2971d	4085cd	4334bc	8754a	5541b	4014	6260	494	<0,0001	<0,0001	<0,0001
MM (kg/ha de MS)	2001	2527	2087	1952	2451	1697	2711	318	0,5247	0,0011	0,2500
Pós Pastejo											
Altura (cm)	14,9	16,5	15,8	14,0	15,8	15,2	15,6	0,9	0,2977	0,4673	0,7593
Gramínea (kg/ha de MS)	1245d	1907ab	2126a	1389cd	1633bc	2223	1099	133	0,0011	<0,0001	0,6474
Amendoim (kg/ha de MS)	N/A	N/A	345	N/A	314	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Herbácea (kg/ha de MS)	1245c	1907b	2471a	1389c	1947b	2459	1128	132	<0,0001	<0,0001	0,0468
Feijão-guandu (kg/ha de MS)	N/A	N/A	N/A	1332	407	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Total (kg/ha de MS)	1245c	1907b	2471a	2721a	2354a	2567	1713	169	<0,0001	<0,0001	0,0004
MM (kg/ha de MS)	1806cd	3452a	1985bc	1506d	2326b	1607	2823	137	<0,0001	<0,0001	0,2242

Médias seguidas por letras minúsculas distintas na linha diferem entre si pelo teste de comparação de médias ($P < 0,10$), entre TP. Médias seguidas por letras maiúsculas distintas na linha diferem entre si pelo teste de comparação de médias ($P < 0,10$), entre estações. B: Brachiaria sem adubação; B+N: Brachiaria com 150 kg de N; B+A: Brachiaria com amendoim forrageiro; B+G: Brachiaria com feijão-guandu; B+A+G: Brachiaria com amendoim forrageiro e feijão-guandu. EPM: Erro Padrão da Média; TP: Tipo de Pastagem; Est: Estação do ano; TP*Est: Interação do tipo de pastagem com estação do ano. Herbácea: Gramínea + amendoim. Total: Gramínea + amendoim + feijão-guandu.

No pré-pastejo das águas, o amendoim forrageiro em B+A representou 26,9% (1.246 kg/ha de MS) e B+A+G 20,9% (821 kg/ha de MS; Figura 5). Em B+G o feijão-guandu contribuiu com 14,1% (532 kg/ha de MS) e B+A+G 2,6% (106 kg/ha de MS). Em B+A no pós-pastejo durante as águas, o amendoim contribuiu com 18,0% (606 kg/ha de MS) e B+A+G com 20,2% (574 kg/ha de MS) da massa total. Já o feijão-guandu em B+G participou em 15,6% (368 kg/ha de MS) e 5,6% (170 kg/ha de MS) em B+A+G no pós-pastejo nas águas.

No período seco, o amendoim representou 8,5% (342 kg/ha) em B+A e 7,4% (274 kg/ha de MS) em B+A+G da massa total no pré-pastejo. Em B+G o feijão-guandu contribuiu com 82,9% (11.384 kg/ha de MS) e em B+A+G com 47,8% (3.370 kg/ha de MS) na massa total do pré-pastejo. O amendoim participou em 5,4% (84 kg/ha de MS) e 5,1% (53 kg/ha de MS) na massa total do pós-pastejo em B+A e B+A+G, respectivamente. Em B+G o feijão-guandu participou em 66,9% (1.607 kg/ha de MS) e em B+A+G em 38,0% (644 kg/ha de MS) na massa total do pós-pastejo.

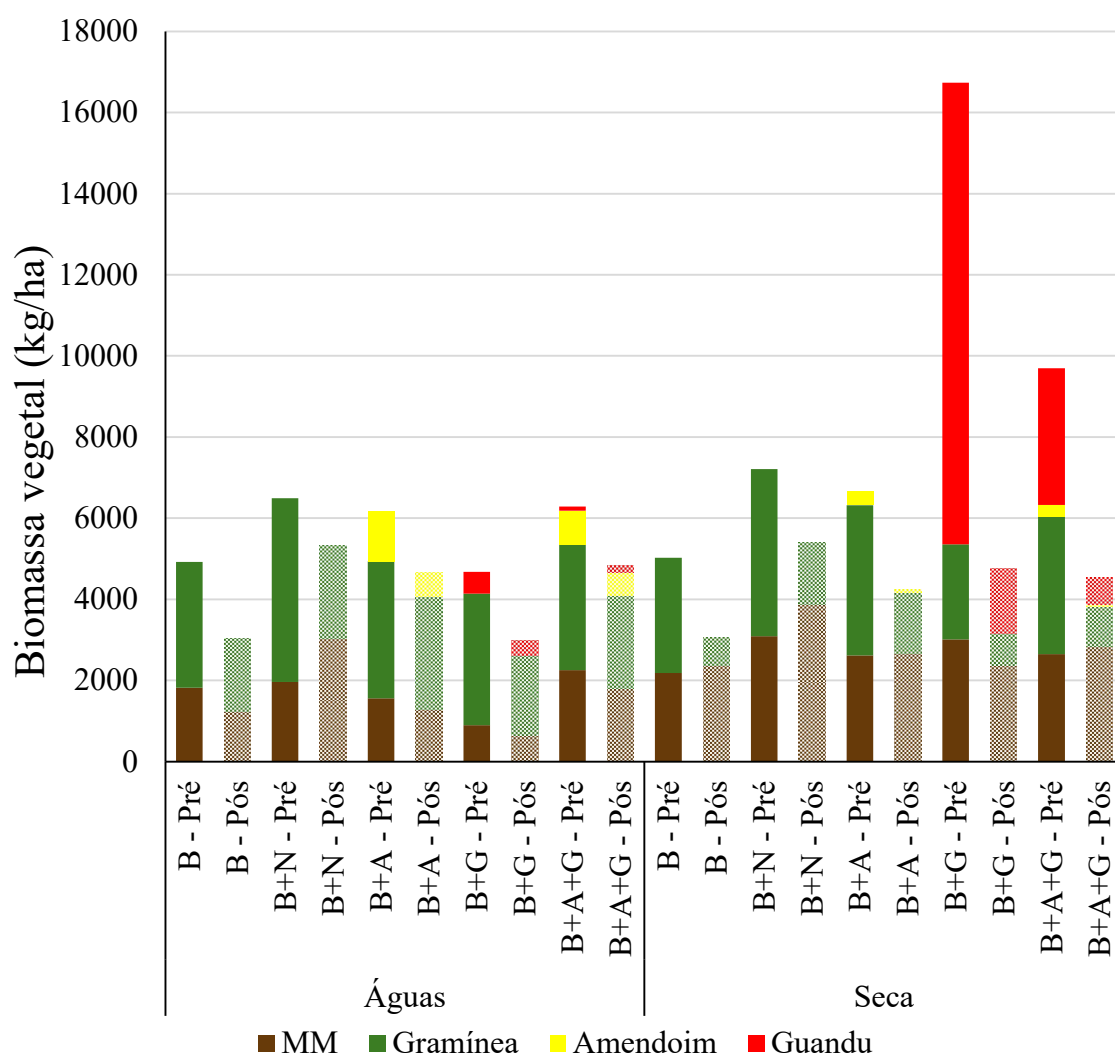


Figura 5. Composição da biomassa total dos tipos de pastagem. B: Brachiaria sem adubação; B+N: Brachiaria com 150 kg de N; B+A: Brachiaria com amendoim forrageiro; B+G: Brachiaria com feijão-guandu; B+A+G: Brachiaria com amendoim forrageiro e feijão-guandu.

6.1.2. Composição bromatológica

No período das águas o teor de PB da gramínea foi maior em B+A (12,6%), B+N (11,6%) e B+A+G (10,7%; Figura 6; $p = 0,0432$). Na época da seca, em B, B+A e B+A+G foi obtido 6,0, 5,8 e 4,9% de PB na gramínea, respectivamente. O teor de PB no amendoim não diferiu entre B+A e B+A+G ($p = 0,2205$), nas águas. Na estação das águas ($p = 0,0151$) o teor de PB no amendoim foi maior em B+A (19,7%) e B+A+G (20,7%). O tipo de pastagem B+G foi superior a B+A+G (Tabela 2, $p = 0,0013$) nos teores de PB do feijão-guandu, resultando 18,3 e 18,5% durante as águas e a seca, respectivamente,

enquanto em B+A+G o teor de PB correspondeu a 16,4%, em ambas as estações. Os teores de PB do feijão-guandu, não diferiram entre estações do ano ($p = 0,9490$).

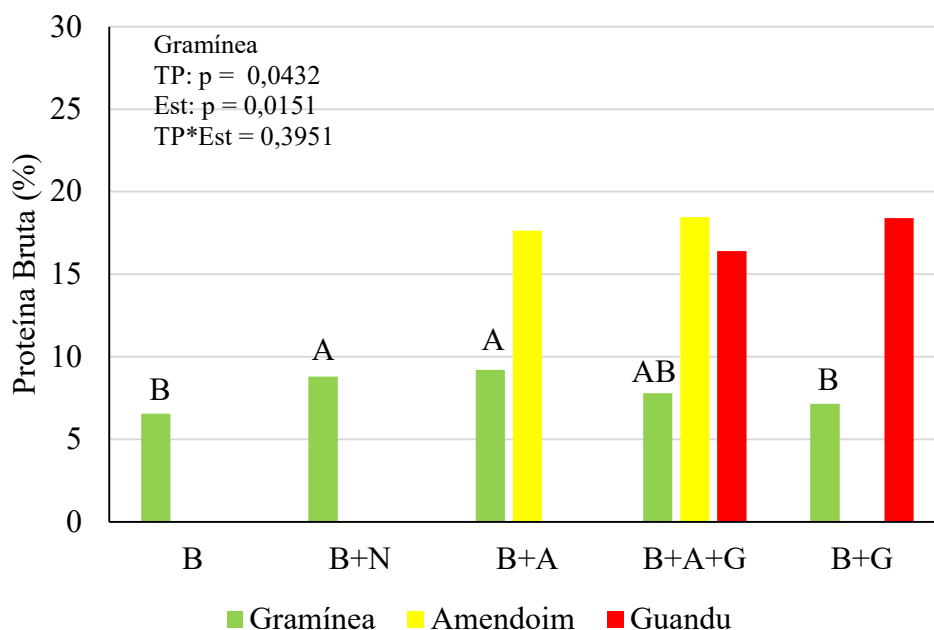


Figura 6. Médias anuais de Proteína Bruta (PB) da gramínea, amendoim e feijão-guandu nos diferentes tipos de pastagem. B: Brachiaria sem adubação; B+N: Brachiaria com 150 kg de N; B+A: Brachiaria com amendoim forrageiro; B+G: Brachiaria com feijão-guandu; B+A+G: Brachiaria com amendoim forrageiro e feijão-guandu. Letras maiúsculas comparam o %PB da gramínea, letras minúsculas comparam o %PB do feijão-guandu.

O maior resultado do teor de FDN da gramínea no período das águas foi obtido em B, com 66,6%, já o menor foi obtido em B+A (60,2%; Figura 7, $p = 0,0034$). No período da seca, a gramínea de B apresentou o maior teor de FDN (74,1%), enquanto o menor foi em B+A (67,5%). Não houve diferença no teor de FDN do amendoim entre B+A e B+A+G ($p = 0,2142$). No período da seca ($p = 0,0914$) o teor de FDN foi maior em B+A (50,2%) e B+A+G (48,7%). Os teores de FDN do feijão-guandu não diferiram entre as estações do ano ($p = 0,3106$) e nem entre B+G e B+A+G ($p = 0,1144$).

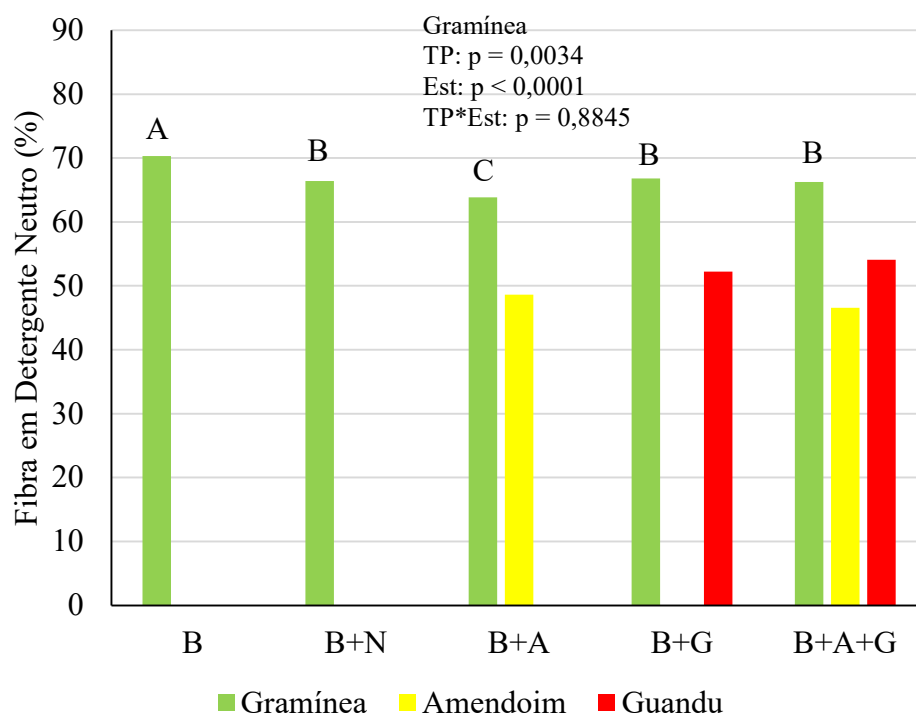


Figura 7. Fibra em Detergente Neutro (FDN) da gramínea, amendoim e feijão-guandu nos diferentes tipos de pastagem durante os períodos das águas e da seca. B: Brachiaria sem adubação; B+N: Brachiaria com 150 kg de N; B+A: Brachiaria com amendoim forrageiro; B+G: Brachiaria com feijão-guandu; B+A+G: Brachiaria com amendoim forrageiro e feijão-guandu.

6.2. Avaliação do desempenho animal

As maiores taxas de lotação (TL) foram obtidas em B+A (1,9 UA/ha) e em B+N (1,85 UA/ha; Figura 8, $p = 0,0003$). No entanto, B+N não diferiu da B+A+G, obtendo valores intermediários da TL (média de 1,6 UA/ha). A menor TL entre os TP foi observada nos TP B e B+G (média de 1,0 UA/ha). Não houve diferença estatística entre o período de águas e seca ($p = 0,2106$).

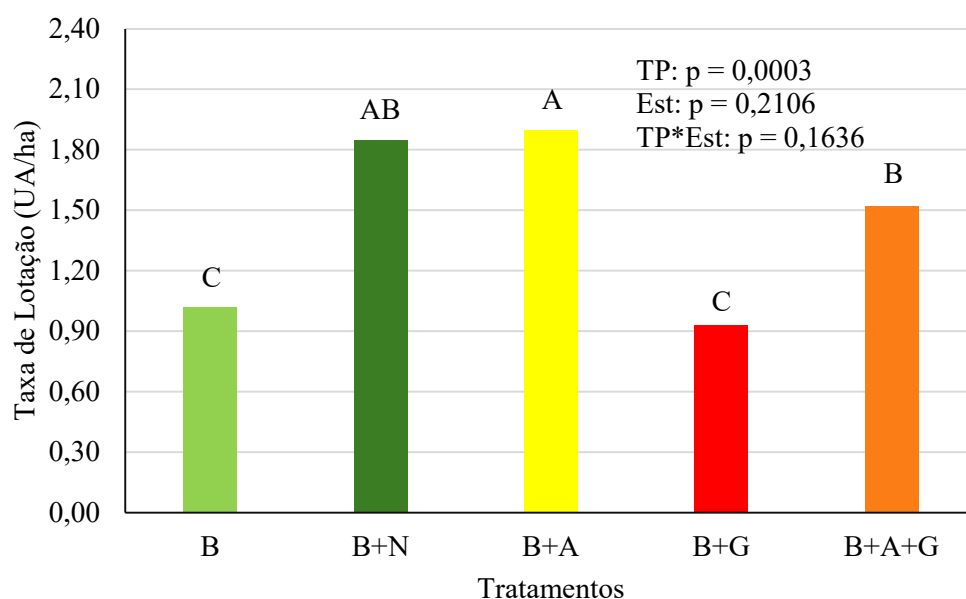


Figura 8. Taxa de lotação (UA/ha) no período de águas e secas nos tipos de pastagem. B: Brachiaria sem adubação; B+N: Brachiaria com 150 kg de N; B+A: Brachiaria com amendoim forrageiro; B+G: Brachiaria com feijão-guandu; B+A+G: Brachiaria com amendoim forrageiro e feijão-guandu.

O ganho médio diário (GMD) foi afetado pela interação entre TP e Est ($p < 0.10$; Figura 9). Durante o período das águas, o TP B+A+G (0,771 kg/dia) foi cerca de 80% maior que o GMD obtido no B (0,330 kg/dia). Não houve diferença entre os TP para o GMD no período da seca, porém verificou-se uma tendência ($p = 0,1010$) entre B (-0,050 kg/dia) e B+G (0,187 kg/dia).

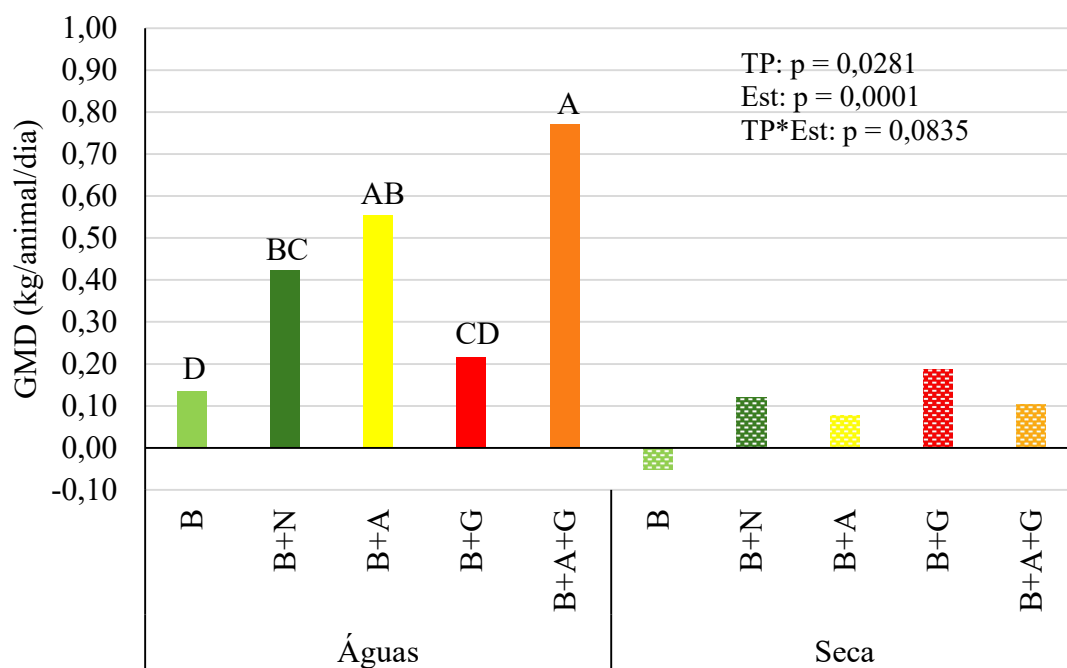


Figura 9. Ganho médio diário (GMD, kg/dia) de acordo com os períodos do ano e tipos de pastagem. B: Brachiaria sem adubação; B+N: Brachiaria com 150 kg de N; B+A: Brachiaria com amendoim forrageiro; B+G: Brachiaria com feijão-guandu; B+A+G: Brachiaria com amendoim forrageiro e feijão-guandu.

O ganho por área (GA, kg/ha) apresentou tendência para a interação entre TP e Est ($P = 0,1035$; Figura 10). No período das águas o GA foi maior em B+A (412 kg/ha) e em B+N (317 kg/ha), no entanto, B+N não diferiu de B+A+G. O menor GA foi observado no B (42 kg/ha). No geral, o B+A foi aproximadamente 9,8 vezes maior que o B durante a estação das águas. A estação das águas apresentou os maiores valores de GA em todos os TP ($p = 0,0009$).

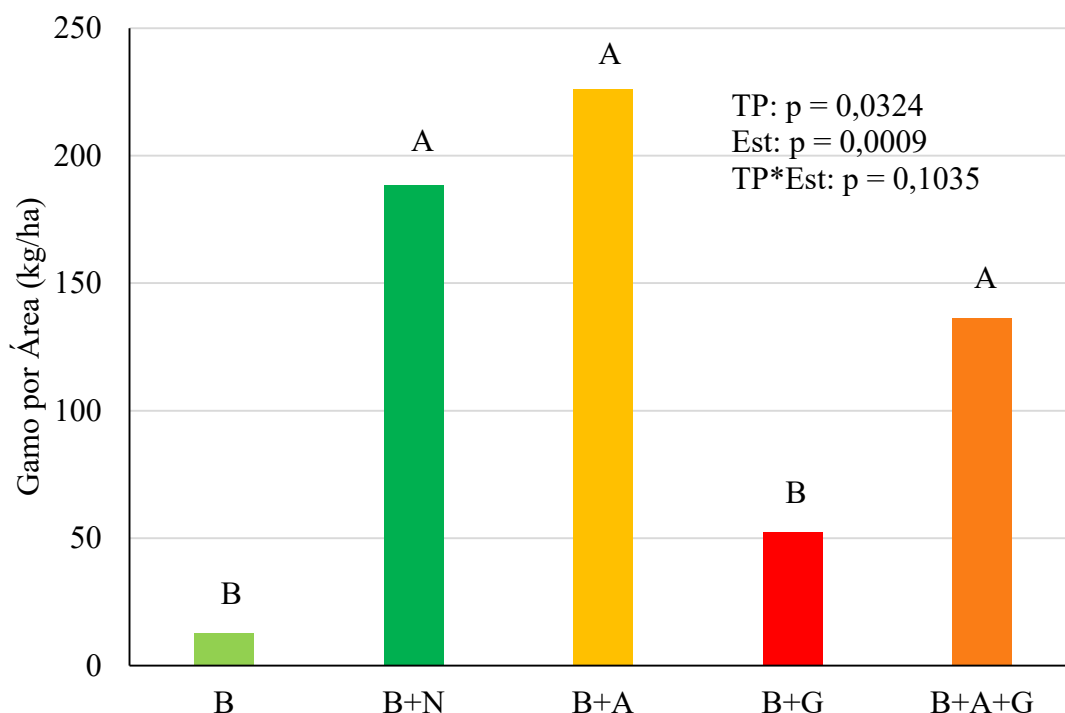


Figura 10. Média anual de ganho por área (kg/ha) nos tipos de pastagem. B: Brachiaria sem adubação; B+N: Brachiaria com 150 kg de N; B+A: Brachiaria com amendoim forrageiro; B+G: Brachiaria com feijão-guandu; B+A+G: Brachiaria com amendoim forrageiro e feijão-guandu.

6.3. Emissão de metano entérico

Houve efeito da interação entre TP e Est para as emissões diárias por animal (Figura 11, $p < 0,0001$). No período das águas, a maior emissão diária ocorreu em B+G (131,4 gCH₄/dia) e em B+N (131,3 gCH₄/dia). Nas águas B+A e B+A+G reduziram as emissões diárias de CH₄ em 18,9 e 13,6% em relação a B+N. No período da seca, os maiores valores foram observados em B com 126,3 g CH₄/dia seguido de B+N com 103,8 gCH₄/dia. Nesse período, B+G (71,0 gCH₄/dia) reduziu em 43,8 e 31,6% as emissões de CH₄ em relação à B e B+N.

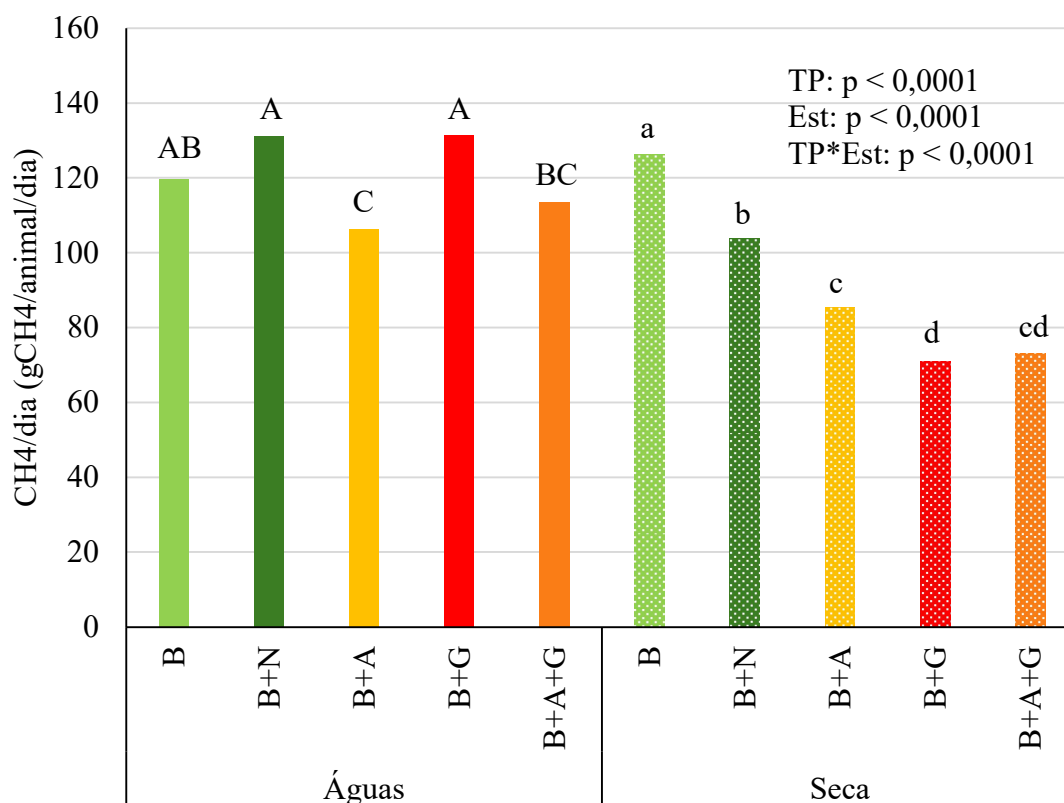


Figura 11. Emissão diária de CH₄ por animal no período das águas e da seca em diferentes tipos de pastagem. B: Brachiaria sem adubação; B+N: Brachiaria com 150 kg de N; B+A: Brachiaria com amendoim forrageiro; B+G: Brachiaria com feijão-guandu; B+A+G: Brachiaria com amendoim forrageiro e feijão-guandu.

Houve interação significativa também para as emissões por kg de peso corporal (Figura 12, $p < 0,0001$). No período das águas, as emissões foram maiores em B+G (48 mgCH₄/kgPC) e em B+N (47,9 mgCH₄/kgPC), mas não diferiram de B (46,3 mgCH₄/kgPC). Houve redução de 19% nas emissões diárias de B+A (38,8 mgCH₄/kgPC) em relação a B+N nas águas. Na seca as maiores emissões foram em B e B+N, com valores de 46,1 e 37,9 mgCH₄/kgPC, respectivamente ($p < 0,0001$). O tipo de pastagem B+G reduziu as emissões por kg de peso corporal em 43,8 e 31,7% em relação a B e B+N, obtendo 25,9 mgCH₄/kgPC.

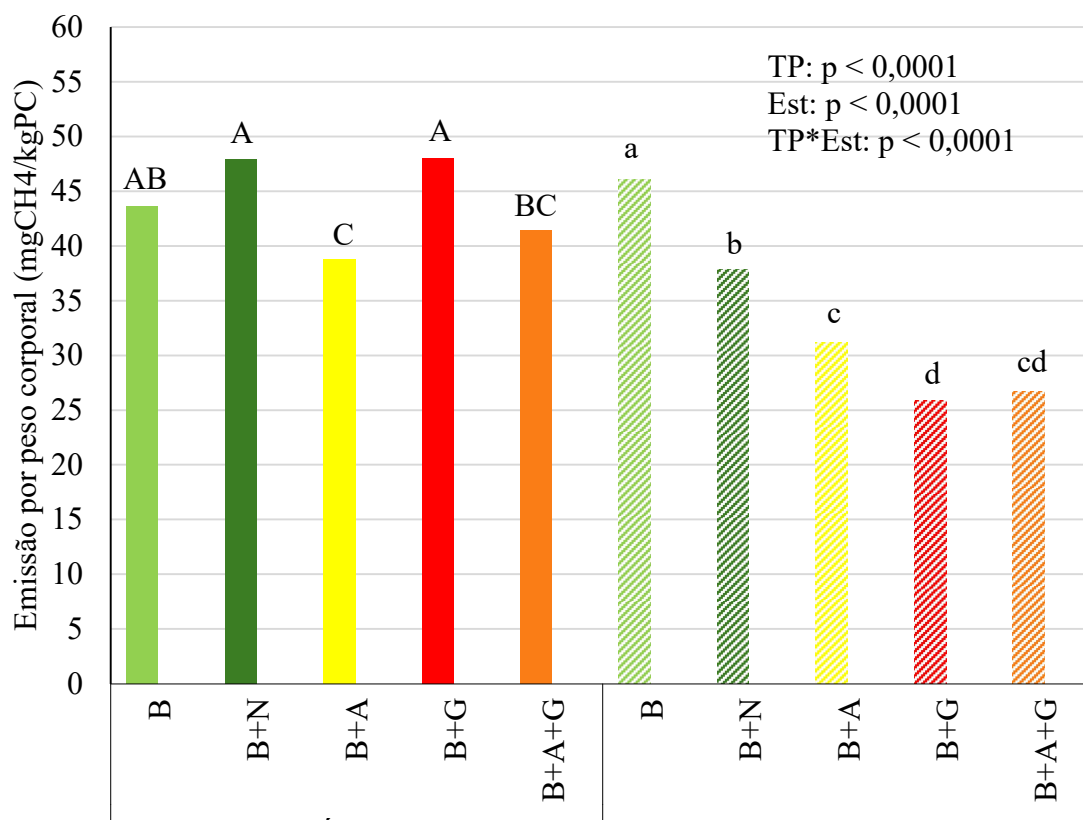


Figura 12. Emissão diária de CH₄ por kg de peso corporal no período das águas e da seca em diferentes tipos de pastagem. B: Brachiaria sem adubação; B+N: Brachiaria com 150 kg de N; B+A: Brachiaria com amendoim forrageiro; B+G: Brachiaria com feijão-guandu; B+A+G: Brachiaria com amendoim forrageiro e feijão-guandu.

7. DISCUSSÃO

A eficiência do controle experimental eficiência e o atendimento das metas de manejo estabelecidas podem ser evidenciadas pela ausência de diferenças entre os TP nas alturas de entrada (pré-pastejo) e saída (pós-pastejo; Tabela 1). A manutenção das alturas dentro da faixa preconizada para marandu (25–30 cm no pré-pastejo e 15 cm no pós-pastejo) é fundamental para garantir equilíbrio entre produção de forragem, valor nutritivo e capacidade de rebrota da gramínea (Gomes *et al.*, 2018; Cruz *et al.*, 2024). Além disso, em sistemas consorciados, a altura do dossel exerce papel importante na distribuição botânica entre gramínea e leguminosa, uma vez que influencia diretamente a interceptação luminosa e a competição por luz. A altura pré pastejo afeta não apenas a estrutura do dossel, mas também a distribuição relativa entre gramíneas e leguminosas. Da mesma forma, o manejo do pastejo modifica a área foliar das espécies presentes e, conseqüentemente, sua compatibilidade dentro do sistema (Alviarez *et al.*, 2020).

A manutenção de valores adequados de interceptação luminosa é particularmente importante para a persistência do amendoim forrageiro em consórcio com gramíneas tropicais. A compatibilidade entre espécies pode ser definida como a capacidade de formar uma pastagem mista harmoniosa e estável (Andrade *et al.*, 2012), sendo que, em condições tropicais, considera-se desejável uma participação da leguminosa entre 20 e 45% da massa de forragem para caracterizar um dossel equilibrado (Thomas, 1995), o que ocorreu em B+A (26,9%, Figura 5) e em B+A+G (20,9%). Nesse contexto, a manutenção da altura adequada do pasto contribui para preservar a produtividade e o hábito de crescimento do amendoim forrageiro.

A maior altura de entrada observada durante o período seco esteve associada ao período de descanso maior das áreas experimentais (Tabela 1). Em razão da redução da disponibilidade hídrica, da diminuição do fotoperíodo e da menor taxa de crescimento das plantas forrageiras, foi necessário um período mais longo de acúmulo de forragem para garantir a manutenção da lotação mínima de animais utilizada nas avaliações (Figura 1). De modo geral, condições favoráveis de temperatura, precipitação e luminosidade durante a estação chuvosa promovem crescimento mais acelerado das plantas forrageiras, enquanto esses fatores tornam-se limitantes durante a estação seca (Barbero *et al.*, 2017).

As diferenças observadas na massa herbácea entre os períodos das águas e da seca podem ser atribuídas principalmente às alterações na composição botânica do dossel (Tabela 1; Figura 5). Durante a estação seca ocorreu redução da participação do amendoim forrageiro e aumento da proporção de material morto. Esse comportamento

está relacionado à diminuição da taxa de aparecimento de folhas e ao aumento da senescência vegetal sob condições de menor disponibilidade hídrica e luminosa (Alberton *et al.*, 2019). Adicionalmente, a menor atividade microbiana do solo durante períodos de restrição hídrica e temperaturas mais baixas reduz a velocidade de decomposição da matéria orgânica, favorecendo o acúmulo de material morto na pastagem (Kohmann *et al.*, 2018). Por outro lado, o aumento da massa total observado durante a seca foi fortemente influenciado pela elevada participação do feijão-guandu na composição da massa de forragem. Essa espécie apresenta crescimento inicial relativamente lento (Reddy *et al.*, 2016), porém concentra grande parte de seu desenvolvimento vegetativo e reprodutivo durante o período seco, o que explica sua maior contribuição para a massa de forragem nessa estação.

Os maiores valores de massa de gramínea e massa herbácea no pré-pastejo observados em B+N, B+A e B+A+G evidenciam o papel do nitrogênio como principal fator limitante para a produção de gramíneas tropicais (Tabela 1). Em B+N, esse efeito está associado ao fornecimento de nitrogênio via adubação mineral, enquanto em B+A o aporte de N decorre da ciclagem de nutrientes e da FBN promovida pelo amendoim forrageiro. A participação da leguminosa na massa herbácea no período das águas reforça essa interpretação. De forma semelhante, Dos Santos *et al.* (2022) observaram que a contribuição da FBN por leguminosas apresentou impacto equivalente à aplicação de 150 kg/ha de N na forma de ureia sobre o acúmulo de forragem. Além disso, a ausência de adubação nitrogenada pode ser compensada pela presença da leguminosa e pelo aporte de nitrogênio proveniente da fixação biológica, sustentando a produtividade da pastagem (Boddey *et al.*, 2020).

Os valores de massa de forragem remanescente observados no pós-pastejo sugerem que a utilização da forragem durante o período das águas poderia ter sido mais intensa (Tabela 1). O período de descanso prolongado dos piquetes pode ter contribuído para o acúmulo de material morto observado posteriormente durante a estação seca. Adicionalmente, severidades moderadas de desfolha, sem exceder reduções de 40 a 50% da altura pré-pastejo, favorecem a recuperação mais rápida do dossel e a manutenção da produtividade da pastagem (Da Silva *et al.*, 2009; Silveira *et al.*, 2013).

Durante a estação seca, o guandu apresentou maior desenvolvimento vertical, aumentando o sombreamento sobre os componentes herbáceos do sistema. Em condições de menor disponibilidade luminosa, o amendoim forrageiro pode alterar seu hábito de crescimento, aumentando a proporção de estruturas verticais em detrimento dos estolões,

o que pode ter contribuído para a menor proporção deste no dossel em B+A+G (Figura 5). Segundo Black *et al.* (2009), estolões com crescimento mais ereto apresentam menor capacidade de propagação vegetativa, uma vez que os meristemas axilares permanecem mais distantes do solo e apresentam menor potencial de enraizamento. O sombreamento também pode afetar o desenvolvimento da gramínea, promovendo maior alongamento de colmos como estratégia para aumentar a interceptação luminosa. Além disso, a presença de múltiplos componentes vegetais em um mesmo sistema intensifica a competição intraespecífica e interespecífica por luz, água e nutrientes. Conforme relatado por Silva *et al.* (2020), a presença de plantas de maior porte em sistemas consorciados reduz a disponibilidade de radiação solar e pode limitar o acesso aos demais recursos necessários ao crescimento das espécies associadas.

Os maiores teores de PB observados em B+A sugerem maior estabilidade do sistema de produção (Figura 6), indicando que a ciclagem de nutrientes e a FBN promovida pelo amendoim forrageiro podem ter contribuído significativamente para o aporte de nitrogênio ao sistema. A semelhança ou superioridade dos valores de PB em relação a B+N evidencia o potencial do consórcio com amendoim em substituir parcial ou totalmente a adubação nitrogenada mineral. Maiores aportes de nitrogênio em pastagens influenciam positivamente a quantidade e a qualidade da forragem produzida (Berça *et al.*, 2019; Brambilla *et al.*, 2012), além de favorecerem maiores taxas de lotação animal (Boddey *et al.*, 2004; Pereira *et al.*, 2020; Homem *et al.*, 2021b).

Embora todos os TP tenham sido manejados sob os mesmos critérios de altura de entrada e saída dos animais, resultando em estruturas de dossel semelhantes, conforme relatado por Congio *et al.* (2018) e Rouquette Jr. (2015), o menor aporte de nutrientes em B provavelmente reduziu as taxas de crescimento e renovação de tecidos da gramínea. Como consequência, houve maior permanência de folhas maduras no dossel, aumentando a proporção de constituintes da parede celular e, consequentemente, os teores de FDN.

Pastagens com predominância de perfilhos mais velhos apresentam menor digestibilidade da forragem devido ao acúmulo de componentes estruturais da parede celular (Batistoti *et al.*, 2012). De forma semelhante, Pezzopane *et al.* (2024) relataram que sistemas com menor disponibilidade de forragem podem levar os animais ao consumo de folhas mais velhas, caracterizadas por maiores concentrações de FDN.

As diferenças observadas entre as estações para os teores de PB e FDN do amendoim forrageiro podem ser atribuídas às condições climáticas predominantes durante o período seco (Tabela 2 e Figura 1). Fatores ambientais, como temperatura e

precipitação, exercem forte influência sobre a eficiência da FBN (Phelan *et al.*, 2015), enquanto condições de menor temperatura e disponibilidade hídrica reduzem a eficiência da simbiose fixadora de N₂ (Homem *et al.*, 2021c). Como consequência, ocorre redução da síntese proteica e aumento da proporção de tecidos estruturais.

Adicionalmente, o valor nutritivo da forragem tende a variar ao longo da estação de pastejo em função do avanço da maturidade fisiológica das plantas, resultando em aumento da fração fibrosa e redução dos teores proteicos (Pereira Neto *et al.*, 2024). Ressalta-se ainda que aproximadamente 50% da FDN do amendoim forrageiro é composta por fibra em detergente ácido (FDA), e cerca de 20% dessa FDA corresponde à lignina (Gomes *et al.*, 2018), característica que pode potencializar o aumento da fração estrutural durante períodos de estresse ambiental.

A manutenção da qualidade nutricional do feijão-guandu ao longo das estações reforça seu potencial como alternativa para suplementação proteica durante o período seco. Além disso, sistemas consorciados contendo feijão-guandu apresentam elevada capacidade de extração e ciclagem de nutrientes, especialmente fósforo e potássio (Rezende *et al.*, 2022). A manutenção do valor nutritivo dessa leguminosa durante a seca também pode estar relacionada às suas características morfológicas e fenológicas. Segundo Makkar *et al.* (2015) e Oliveira *et al.* (2022), as vagens e folhas mais velhas do feijão-guandu apresentam boa aceitabilidade pelos animais e constituem importante fonte proteica durante períodos de escassez de forragem.

Adicionalmente, reduções na intensidade luminosa podem afetar aspectos morfológicos e fisiológicos determinantes para a produtividade e qualidade da forragem (Lima *et al.*, 2020). Entretanto, no presente estudo, a participação do feijão-guandu no dossel sugere que o sombreamento não foi suficientemente intenso para comprometer o valor nutritivo do amendoim forrageiro ou da gramínea acompanhante.

Ambos os TP consorciados com amendoim apresentaram desempenho semelhante ou superior a B+N, demonstrando o potencial das leguminosas em substituir a adubação nitrogenada sem prejuízo ao desempenho animal. Resultados semelhantes foram observados por Pereira Neto *et al.* (2024), que verificaram desempenho individual e ganho por área equivalentes entre sistemas consorciados com leguminosas e pastagens adubadas com nitrogênio, confirmando a viabilidade da inclusão de leguminosas como estratégia de intensificação sustentável. Os mesmos autores também observaram que, durante a estação chuvosa, a incorporação de leguminosas promoveu desempenho animal superior ao obtido em pastagens exclusivamente de gramíneas adubadas com nitrogênio.

Embora não tenha sido observada diferença estatística para o GMD durante o período seco (Figura 9), verificou-se tendência de diferença ($p = 0,1010$) entre B (-0,050 kg/dia) e B+G (0,187 kg/dia). O maior desempenho observado em B+G pode estar relacionado ao maior consumo de feijão-guandu durante essa estação. Estudos utilizando a diferença isotópica entre plantas C3 e C4 demonstraram que bovinos em pastejo podem consumir até 40% de feijão-guandu na dieta durante o período seco, evidenciando o potencial dessa leguminosa para suprir as exigências nutricionais dos animais em comparação com sistemas compostos exclusivamente por gramíneas (Furtado *et al.*, 2024). Adicionalmente, ensaios *in vivo* demonstraram aumento da digestibilidade da matéria seca e da produtividade animal quando o consumo de feijão-guandu representou aproximadamente 40% da dieta (Furtado *et al.*, 2024). Dessa forma, a elevada participação do feijão-guandu na massa de forragem observada no presente estudo provavelmente favoreceu o consumo de nutrientes de maior qualidade durante a estação seca. Apesar disso, o ganho por área não diferiu entre os TP, resultado diretamente relacionado à ausência de diferenças na taxa de lotação.

De maneira geral, o GMD foi inferior durante o período seco em todos os tipos de pastagem. Esse comportamento está associado à redução da disponibilidade e da qualidade da forragem característica dessa estação. Embora o manejo adotado tenha mantido a massa de gramínea semelhante entre os períodos (Tabela 1; $p = 0,5433$), a estrutura do dossel e o valor nutritivo da gramínea diferiram entre as estações (Figuras 6 e 7). O aumento dos teores de FDN observado durante o período seco está diretamente relacionado às alterações estruturais do dossel forrageiro. Nessa época do ano ocorre redução da emissão de folhas e aumento da participação de colmos e material senescente, componentes que apresentam maior concentração de parede celular e menor digestibilidade. Como consequência, reduz-se a relação folha:colmo e limita-se a capacidade de seleção de uma dieta de elevada qualidade pelos animais. Segundo Dos Santos *et al.* (2022), os menores ganhos médios diários durante o inverno foram atribuídos à combinação de elevados teores de fibra indigestível, baixos teores de proteína bruta e menor digestibilidade da proteína, fatores que restringiram o consumo de forragem. Além do aumento da FDN, observou-se redução dos teores de PB da gramínea (Figuras 6 e 7). No presente estudo, os teores de PB da gramínea durante o período seco variaram entre 4,2% (B) e 6,0% (B+N), valores inferiores ao limite considerado adequado para o crescimento eficiente dos microrganismos ruminais. Quando a concentração de proteína bruta da dieta é inferior a aproximadamente 7 – 8%, ocorre deficiência de nitrogênio para

a microbiota responsável pela degradação da fibra (Detmann *et al.*, 2009). Como consequência, há redução da digestibilidade da FDN, diminuição da taxa de degradação da forragem e menor velocidade de passagem do alimento pelo rúmen. Esse processo intensifica o enchimento ruminal, reduz o consumo de matéria seca e limita o aporte de nutrientes digestíveis, refletindo negativamente sobre o desempenho animal. De forma geral, a maximização do desempenho de animais em pastejo depende da capacidade de consumo de nutrientes e da digestibilidade da forragem disponível (Chapman *et al.*, 2007), ou seja, os tipos de pastagens utilizados no presente estudo podem ter diminuído, durante a época seca, o consumo e a digestibilidade da forragem, diminuindo o GMD.

Nesse contexto, o melhor desempenho observado em B+G durante a estação seca pode estar associado à maior participação do feijão-guandu na dieta dos animais. Embora o consumo da leguminosa não tenha sido mensurado no presente estudo, a elevada disponibilidade de sua biomassa, associada ao elevado valor nutritivo apresentado (Figura 5), provavelmente contribuíram para aumentar a concentração de PB e reduzir a participação relativa de frações fibrosas na dieta consumida, favorecendo o desempenho individual dos animais.

As menores emissões diárias de CH₄ (Figura 11) e por quilograma de peso corporal (Figura 12) observadas em B+A e B+A+G durante o período das águas podem estar relacionadas à inclusão do amendoim forrageiro na dieta dos animais. De maneira geral, leguminosas apresentam menor concentração de fibra e maior digestibilidade em comparação às gramíneas tropicais, além de conterem compostos secundários, como taninos condensados e saponinas, capazes de modificar a fermentação ruminal e reduzir a metanogênese (Beauchemin *et al.*, 2008). Além disso, estudos *in vivo* demonstraram efeito positivo da inclusão de plantas tropicais ricas em taninos na mitigação das emissões de CH₄ por ruminantes (Cardoso-Gutierrez *et al.*, 2021), embora a magnitude dessa resposta dependa da espécie vegetal, da concentração desses compostos e da espécie animal utilizada.

Os taninos condensados presentes em leguminosas podem interferir na fermentação ruminal por diferentes mecanismos, incluindo a modulação da atividade de microrganismos metanogênicos e a formação de complexos tanino-proteína, reduzindo a degradação proteica no rúmen e aumentando o fluxo de proteína não degradável para o intestino (Perna Junior *et al.*, 2023). Entretanto, concentrações excessivas desses compostos podem reduzir o consumo de matéria seca em razão da menor aceitabilidade da dieta, especialmente quando os teores ultrapassam aproximadamente 50 g de taninos

condensados por kg de matéria seca (Mueller-Harvey, 2006). Em contrapartida, concentrações entre 20 e 45 g de taninos condensados por kg de matéria seca parecem ser suficientes para modificar o processo fermentativo sem comprometer o consumo (Perna Junior *et al.*, 2023).

Embora as emissões diárias de CH₄ tenham sido numericamente superiores no B+N em relação ao B+A, a intensificação do sistema por meio da adubação nitrogenada promove o denominado efeito *land-saving*, no qual o aumento da produtividade reduz a área necessária para produzir a mesma quantidade de produto (Cardoso *et al.*, 2016). Esse comportamento também foi observado no presente estudo. Durante o período das águas, a intensidade de emissão de CH₄ em B+N foi de 310,4 gCH₄/kg de ganho, enquanto em B esse valor atingiu 899,2 gCH₄/kg de ganho, evidenciando que, apesar de as emissões diárias terem sido semelhantes, a maior produtividade animal do sistema adubado resultou em menor emissão por unidade de produto.

Quando comparado a B e B+N, o consórcio com leguminosas apresentou reduções ainda mais expressivas na intensidade de emissão de CH₄. O tipo de pastagem B+A+G reduziu 83,6% e 52,6% em relação a B e B+N, já B+A reduziu 78,6% e 38,0% no período das águas, demonstrando que a inclusão de leguminosas possibilitou menor emissão de CH₄ para a produção da mesma quantidade de produto. Resultados semelhantes foram observados por Furtado *et al.* (2026), que verificaram menores perdas de energia na forma de CH₄ em sistemas de pastagens recuperadas e consorciadas, destacando o potencial dessas estratégias para intensificação sustentável da produção animal.

Durante o período seco, observou-se redução das emissões diárias de CH₄ em B+N, B+A, B+A+G e B+G. Essa resposta provavelmente está relacionada à redução do consumo de matéria seca, decorrente da menor qualidade da forragem disponível nessa estação. O aumento dos teores de fibra em detergente neutro e a redução da proteína bruta diminuem a digestibilidade da dieta e limitam o consumo pelos animais. Além disso, embora as metas de manejo da altura do pasto tenham sido mantidas, ocorreram alterações estruturais no dossel, caracterizadas por maior participação de colmos e material senescente, reduzindo a proporção de folhas e, conseqüentemente, o potencial de consumo. Em contrapartida, o aumento das emissões observado em B pode estar associado à maior participação de frações fibrosas na dieta consumida. Em gramíneas tropicais C4, a fibra permanece por mais tempo no rúmen, favorecendo a fermentação acetogênica e aumentando a produção de CH₄ (Archimède *et al.*, 2018).

Animais pastejando B+G apresentaram as menores emissões de CH₄ durante o período seco, resultado que pode estar associado à elevada participação do feijão-guandu na massa de forragem e ao provável aumento de sua participação na dieta dos animais. Estudos conduzidos por Furtado *et al.* (2024) demonstraram que a inclusão de feijão-guandu elevou os teores de proteína bruta da dieta e reduziu significativamente as emissões de CH₄ (Figura 5B). Os autores também verificaram que a inclusão dessa leguminosa modula a fermentação ruminal, reduzindo a produção de CH₄ (Goel e Makkar, 2012), e sugeriram que proporções próximas de 25% de guandu na dieta de bovinos em pastejo promovem maior eficiência fermentativa e mitigação das emissões, mantendo adequada produção de ácidos graxos de cadeia curta (Quintero-Anzueta *et al.*, 2021). Além disso, quando o consumo de leguminosas de elevada concentração de nitrogênio ocorre em associação com forragens de menor qualidade, há estímulo da atividade microbiana ruminal e modificações nos processos fermentativos, incluindo a proteólise e a produção de CH₄, especialmente na presença de compostos secundários, como taninos e saponinas (Niderkorn e Baumont, 2009). Dessa forma, a maior disponibilidade de guandu no presente estudo provavelmente contribuiu para melhorar o valor nutritivo da dieta consumida e reduzir as emissões entéricas de CH₄.

A intensidade de emissão de CH₄ foi inferior em B+A+G em comparação a B+N tanto durante o período das águas (147,1 gCH₄/kg de ganho e 310,4 gCH₄/kg de ganho, respectivamente) quanto na estação seca (710,7 gCH₄/kg de ganho e 865,0 g CH₄/kg de ganho, respectivamente). Considerando que ambos os TP apresentaram ganho por área semelhante e que o ganho médio diário foi superior em B+A+G, os resultados obtidos demonstram o potencial do consórcio entre capim-marandu, amendoim forrageiro e feijão-guandu para reduzir a intensidade de emissão de CH₄ sem comprometer o desempenho produtivo dos animais. Esses resultados corroboram estudos que demonstram que sistemas consorciados com leguminosas podem apresentar desempenho animal equivalente ao de pastagens adubadas com nitrogênio, aliado à redução das emissões entéricas de CH₄ e à maior eficiência ambiental da produção pecuária.

8. CONCLUSÃO

Os sistemas consorciados entre *Urochloa brizantha* cv. Marandu e leguminosas apresentaram potencial para aumentar a sustentabilidade da produção animal em pastagens tropicais, promovendo melhorias na produção e no valor nutritivo da forragem, no desempenho animal e na mitigação das emissões entéricas de CH₄.

O consórcio entre capim-marandu e amendoim forrageiro apresentou desempenho equivalente ou superior ao sistema adubado com nitrogênio quanto à produção de forragem, aos teores de proteína bruta da gramínea, à taxa de lotação e ao ganho por área, evidenciando que, após longo período de estabelecimento, a inclusão desta leguminosa foi capaz de suprir a demanda do sistema e substituir a adubação nitrogenada.

A inclusão do feijão-guandu contribuiu significativamente para a massa de forragem durante o período seco, favorecendo o desempenho individual dos animais e reduzindo as emissões entéricas de CH₄.

Dessa forma, conclui-se que a utilização de amendoim forrageiro e feijão-guandu, em consórcio com *Urochloa brizantha* cv. Marandu, constitui uma estratégia viável para intensificar de forma sustentável sistemas de produção em pastagens tropicais, reduzindo a dependência de fertilizantes nitrogenados, mantendo a produtividade animal e diminuindo a intensidade das emissões de CH₄ entérico.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABIEC. *Beef report: perfil da pecuária no Brasil*. 2025. Disponível em: <https://abiec.com.br/publicacoes/beef-report-2025-perfil-da-pecuaria-no-brasil/>. Acesso em: 29 jun. 2026.
- ABOAGYE, I. A.; BEAUCHEMIN, K. A. Potential of molecular weight and structure of tannins to reduce methane emissions from ruminants: a review. *Animals*, v. 9, p. 856, 2019.
- ALBERTON, B.; TORRES, R. S.; SILVA, T. S. F.; DA ROCHA, H. R.; MOURA, M. S. B.; MORELLATO, L. P. C. Leafing Patterns and Drivers across Seasonally Dry Tropical Communities. *Remote Sensing*, [s. l.], 2019.
- ALLEN, V. G.; BATELLO, C.; BERRETTA, E. J.; HODGSON, J.; KOTHMANN, M.; LI, X.; MCIVOR, J.; MILNE, J.; MORRIS, C.; PEETERS, A.; SANDERSON, M. A. An international terminology for grazing lands and grazing animals. *Grass and Forage Science*, v. 66, n. 1, p. 2-28, 2011.
- ALVIAREZ, L. A. D.; HOMEM, B. G. C.; COUTO, P. H.; DUBEUX JUNIOR, J. C. B.; BERNARDES, T. F.; CASAGRANDE, D. R.; LARA, M. A. S. Managing Marandu palisadegrass and calopo pastures based on light interception. *Grass and Forage Science*, 2020.
- ANDRADE, C. M. S.; GARCIA, R.; VALENTIM, J. F.; PEREIRA, O. G. Productivity, utilization efficiency and sward targets for mixed pastures of Marandu grass, forage peanut and tropical kudzu. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 41, p. 512-520, 2012.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). *Official methods of analysis of AOAC International*. 20. ed. Rockville: AOAC International, 2016.
- ARANGO, J.; RUDEN, A.; MARTINEZ-BARON, D.; LOBOGUERRERO, A. M.; BERNDT, A.; CHACÓN, M.; TORRES, C. F.; OYHANTCABAL, W.; GOMEZ, C. A.; RICCI, P.; KU-VERA, J.; BURKART, S.; MOORBY, J. M.; CHIRINDA, N. Ambition meets reality: achieving GHG emission reduction targets in the livestock sector of Latin America. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, v. 4, p. 65, 2020.
- ARCHIMÈDE, H.; RIRA, M.; EUGÈNE, M.; FLEURY, J.; LASTEL, M. L.; PERIACARPIN, F.; SILOU ETIENNE, T.; MORGAVI, D. P.; DOREAU, M. Intake, total-tract digestibility and methane emissions of Texel and Blackbelly sheep fed C4 and C3 grasses tested simultaneously in a temperate and a tropical area. *Journal of Cleaner Production*, v. 185, p. 455-463, 2018.

ARNDT, C.; HRISTOV, A. N.; PRICE, W. J.; MCCLELLAND, S. C.; PELAEZ, A. M.; CUEVA, S. F.; OH, J.; BANNINK, A.; BAYAT, A. R.; CROMPTON, L. A.; DIJKSTRA, J.; EUGÈNE, M. A.; KEBREAB, E.; KREUZER, M.; MCGEE, M.; MARTIN, C.; NEWBOLD, C. J.; REYNOLDS, C. K.; SCHWARM, A.; SHINGFIELD, K. J.; VENEMAN, J. B.; YÁÑEZ-RUIZ, D. R.; YU, Z. *Strategies to mitigate enteric methane emissions by ruminants: a way to approach the 2.0 °C target*. Wallingford: CABI, 2021.

BARBERO, R. P.; MALHEIROS, E. B.; ARAÚJO, T.; NAVE, R. L. G.; MULLINIKS, J.; BERCHIELLI, T. T.; RUGGIERI, A.; REIS, R. Combining Marandu grass grazing height and supplementation level to optimize growth and productivity of yearling bulls. *Animal Feed Science and Technology*, v. 209, p. 110-118, 2015.

BARCELLOS, A. O.; RAMOS, A. K. B.; VILELA, L.; MARTHA JUNIOR, G. B. Sustentabilidade da produção animal baseada em pastagens consorciadas e no emprego de leguminosas exclusivas, na forma de banco de proteína, nos trópicos brasileiros. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 37, p. 51-67, 2008.

BARTHRAM, G. T. Experimental techniques: the HFRO sward stick. In: ALCOCK, M. M. (ed.). *Biennial report of the Hill Farming Research Organisation*. Penicuik: HFRO, 1985. p. 29-30.

BATISTOTI, C.; LEMPP, B.; JANK, L.; MORAIS, M. D. G.; CUBAS, A. C.; GOMES, R. A.; FERREIRA, M. Correlations among anatomical, morphological, chemical and agronomic characteristics of leaf blades in *Panicum maximum* genotypes. *Animal Feed Science and Technology*, v. 171, p. 173-180, 2012.

BEAUCHEMIN, K. A.; KREUZER, M.; O'MARA, F.; MCALLISTER, T. A. Nutritional management for enteric methane abatement: a review. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, v. 48, p. 21-27, 2008.

BEAUCHEMIN, K. A.; UNGERFELD, E. M.; ECKARD, R. J.; WANG, M. Fifty years of research on rumen methanogenesis: lessons learned and future challenges for mitigation. *Animal*, v. 14, p. S2-S16, 2020.

BERÇA, A. S.; CARDOSO, A. S.; LONGHINI, V. Z.; ALVES, B. J. R.; BERNDT, A.; REIS, R. A.; RUGGIERI, A. Methane production and nitrogen balance of dairy heifers grazing palisade grass cv. Marandu alone or with forage peanut. *Journal of Animal Science*, v. 97, p. 4625-4634, 2019.

BLACK, A. D.; LAIDLAW, A. S.; MOOT, D. J.; O'KIELY, P. Comparative growth and management of white and red clovers. *Irish Journal of Agricultural and Food Research*, v. 48, p. 149-166, 2009.

BODDEY, R. M.; MACEDO, R.; TARRE, R. M.; FERREIRA, E.; OLIVEIRA, O. C.; REZENDE, C. P.; CANTARUTTI, R. B.; PEREIRA, J. M.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S. Nitrogen cycling in *Brachiaria* pastures: the key to understanding the process of pasture decline. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 103, p. 389-403, 2004.

BODDEY, R. M.; CASAGRANDE, D. R.; HOMEM, B. G. C.; ALVES, B. J. R. Forage legumes in grass pastures in tropical Brazil and likely impacts on greenhouse gas emissions: a review. *Grass and Forage Science*, v. 75, p. 357-371, 2020.

BRAMBILLA, D. M.; NABINGER, C.; KUNRATH, T. R.; CARVALHO, P. C. F.; CARASSAI, I. J.; GENRO, T. C. M. Impact of nitrogen fertilization on the forage characteristics and beef calf performance on native pasture overseeded with ryegrass. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 41, p. 528-536, 2012.

BRASIL. Decreto n.º 11.815, de 5 de dezembro de 2023. Institui o Programa Nacional de Conversão de Pastagens Degradadas em Sistemas de Produção Agropecuários e Florestais Sustentáveis e o seu Comitê Gestor Interministerial. Brasília, DF: Presidência da República, 2023. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2023/decreto/d11815.htm. Acesso em: 25 maio 2026.

BRAZ, S. P.; URQUIAGA, S.; ALVES, B. J. R.; JANTALIA, C. P.; GUIMARÃES, A. P.; SANTOS, C. A.; SANTOS, S. C.; PINHEIRO, E. F. M.; BODDEY, R. M. Soil carbon stocks under productive and degraded *Brachiaria* pastures in the Brazilian Cerrado. *Soil Science Society of America Journal*, v. 77, p. 914-928, 2013.

BRITO, L. F.; AZENHA, M. V.; JANUSCKIEWICZ, E. R.; CARDOSO, A. S.; MORGADO, E. S.; MALHEIROS, E. B.; LA SCALA, N.; REIS, R. A.; RUGGIERI, A. Seasonal fluctuation of soil carbon dioxide emission in differently managed pastures. *Agronomy Journal*, v. 107, p. 957-962, 2015.

CARDOSO, A. S.; BARBERO, R. P.; ROMANZINI, E. P.; TEOBALDO, R. W.; ONGARATTO, F.; FERNANDES, M. H. M. R.; RUGGIERI, A. C.; REIS, R. A. Intensification: a key strategy to achieve great animal and environmental beef cattle production sustainability in *Brachiaria* grasslands. *Sustainability*, v. 12, n. 16, 2020.

CARDOSO-GUTIERREZ, E.; ARANDA-AGUIRRE, E.; ROBLES-JIMÉNEZ, L. E.; CASTELÁN-ORTEGA, O. A.; CHAY-CANUL, A. J.; FOGGI, G.; ÁNGELES-

HERNÁNDEZ, J. C.; VARGAS-BELLO-PÉREZ, E.; GONZÁLEZ-RONQUILLO, M. Effect of tannins from tropical plants on methane production from ruminants: a systematic review. *Veterinary and Animal Science*, v. 14, p. 100214, 2021.

CHAPMAN, D. F.; PARSONS, A. J.; COSGROVE, G. P.; BARKER, D. J.; MAROTTI, D. M.; VENNING, K. J.; RUTTER, S. M.; HILL, J.; THOMPSON, A. N. Impacts of spatial patterns in pasture on animal grazing behavior, intake, and performance. *Crop Science*, v. 47, p. 399-415, 2007.

CONGIO, G. F. S.; BATALHA, C. D. A.; CHIAVEGATO, M. B.; BERNDT, A.; OLIVEIRA, P. P. A.; FRIGHETTO, R. T. S.; MAXWELL, T. M. R.; GREGORINI, P.; SILVA, S. C. Strategic grazing management towards sustainable intensification at tropical pasture-based dairy systems. *Science of the Total Environment*, v. 636, p. 872-880, 2018.

CONGIO, G. F. S.; BANNINK, A.; MOGOLLÓN, O. L. M. Enteric methane mitigation strategies for ruminant livestock systems in the Latin America and Caribbean region: a meta-analysis. *Journal of Cleaner Production*, 2021.

CRUZ, P. J. R.; SILVA, D. V.; LIMA, I. B. G.; ALVES, G. C.; HOMEM, B. G. C.; BODDEY, R. M.; ALVES, B. J. R.; SBRISIA, A. F.; CASAGRANDE, D. R. Marandu palisade grass-forage peanut mixed pastures: forage intake, animal behaviour, and canopy structure as affected by grazing intensities. *Grass and Forage Science*, 2024.

DETMANN, E.; PAULINO, M. F.; MANTOVANI, H. C.; VALADARES FILHO, S. C.; SAMPAIO, C. B.; DE SOUZA, M. A.; LAZZARINI, I.; DETMANN, K. S.C. Parameterization of ruminal fibre degradation in low-quality tropical forage using Michaelis–Menten kinetics. *Livestock Science*, [s. l.], 2009.

DIAS-FILHO, M. B. *Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação*. 4. ed. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2011.

DOS SANTOS, C. A.; MONTEIRO, R. C.; HOMEM, B. G. C.; SALGADO, L. S.; CASAGRANDE, D. R.; PEREIRA, J. M.; REZENDE, C. P.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M. Productivity of beef cattle grazing *Brachiaria brizantha* cv. Marandu with and without nitrogen fertilizer application or mixed pastures with the legume *Desmodium ovalifolium*. *Grass and Forage Science*, v. 78, p. 147-160, 2022.

DUBEUX, J. C. B.; SOLLENBERGER, L. E. Nutrient cycling in grazed pastures. In: ROUQUETTE JUNIOR, F. M.; AIKEN, G. (ed.). *Management strategies for sustainable cattle production in southern pastures*. Cambridge: Academic Press, 2020. p. 59-75.

DUBEUX JUNIOR, J. C. B.; SOLLENBERGER, L. E.; MATHEWS, B. W.; SCHOLBERG, J. M.; SANTOS, H. Q. Nutrient cycling in warm-climate grasslands. *Crop Science*, v. 47, p. 915-928, 2007.

FELTRAN-BARBIERI, R.; FÉRES, J. G. Degraded pastures in Brazil: improving livestock production and forest restoration. *Royal Society Open Science*, v. 8, p. 201854, 2021.

FERREIRA, I. M.; HOMEM, B. G. C.; LIMA, I. B. G.; DUBEUX JUNIOR, J. C. B.; BERNARDES, T. F.; DANÉS, M. A. C.; CASAGRANDE, D. R. Twenty-five-centimeter pre-grazing canopy height in palisade grass and forage peanut. *Scientia Agricola*, v. 79, n. 2, e20200090, 2022.

FORNARA, D. A.; TILMAN, D. Plant functional composition influences rates of soil carbon and nitrogen accumulation. *Journal of Ecology*, v. 96, p. 314-322, 2008.

FURTADO, A. J.; PERNA JUNIOR, F. P.; PASQUINI NETO, R.; ABDALLA FILHO, A. L.; CHAMILETE, S. A. M.; OLIVEIRA, P. P. A.; RODRIGUES, P. H. M. How the inclusion of pigeon pea in beef cattle diets affects CH₄ intensity: an in vitro fermentation assessment. *Grasses*, v. 3, p. 253-263, 2024.

FURTADO, A. J.; SILVA, G. V.; PEDROSO, A. F.; ABDALLA FILHO, A. L.; LOBO, A. A. G.; PERNA JUNIOR, F.; COELHO, L. M.; BRUNO, J. F.; MEDEIROS, S. R.; OLIVEIRA, P. P. A.; PASQUINI NETO, R.; BERNDT, A.; RODRIGUES, P. H. M. Intake, digestibility and rumen fermentation in Nellore bulls grazing degraded or recovered pastures of *Urochloa* spp. or the grass intercropped with pigeon pea. *Animal Feed Science and Technology*, 2026.

GIZAW, B.; TSEGAY, G. T. Z.; AYNALEM, E.; ABATNEH, E.; AMSALU, G. Traditional knowledge on teff (*Eragrostis tef*) farming practice and role of crop rotation to enrich plant growth-promoting microbes for soil fertility in East Showa, Ethiopia. *Agricultural Research & Technology*, v. 16, n. 5, 2018.

GOEL, G.; MAKKAR, H. P. S. Methane mitigation from ruminants using tannins and saponins. *Tropical Animal Health and Production*, v. 44, p. 729-739, 2012.

GOMES, F. K.; OLIVEIRA, M. D. B. L.; HOMEM, B. G. C.; BODDEY, R. M.; BERNARDES, T. F.; GIONBELLI, M. P.; LARA, M. A. S.; CASAGRANDE, D. R. Effects of grazing management in *Brachiaria* grass-forage peanut pastures on canopy structure and forage intake. *Journal of Animal Science*, v. 96, p. 3837-3849, 2018.

GOOPY, J. P.; KORIR, D.; PELSTER, D.; ALI, A. I. M.; WASSIE, S. E.; SCHLECHT, E.; RICHARD, E. Severe below-maintenance feed intake increases methane yield from enteric fermentation in cattle. *British Journal of Nutrition*, v. 123, p. 1-8, 2020.

HOMEM, B. G. C.; LIMA, I. B. G.; SPASIANI, P. P.; GUIMARÃES, B. C.; GUIMARÃES, G. D.; BERNARDES, T. F.; REZENDE, C. P.; BODDEY, R. M.; CASAGRANDE, D. R. N-fertiliser application or legume integration enhances N cycling in tropical pastures. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v. 121, p. 167-190, 2021.

HOMEM, B. G. C.; LIMA, I. B. G.; SPASIANI, P. P.; GUIMARÃES, B. C.; GUIMARÃES, G. D.; BERNARDES, T. F.; REZENDE, C. P.; BODDEY, R. M.; CASAGRANDE, D. R. 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, p. 400-412, 2021.

HOMEM, B. G. C.; LIMA, I. B. G.; SPASIANI, P. P.; GUIMARÃES, B. C.; GUIMARÃES, G. D.; BERNARDES, T. F.; REZENDE, C. P.; BODDEY, R. M.; CASAGRANDE, D. R. Palisadegrass pastures with or without nitrogen or mixed with forage peanut grazed to a similar target canopy height. 2. Effects on animal performance, forage intake and digestion, and nitrogen metabolism. *Grass and Forage Science*, v. 76, p. 413-426, 2021.

HOMEM, B. G. C.; LIMA, I. B. G.; SPASIANI, P. P.; GUIMARÃES, B. C.; GUIMARÃES, G. D.; BERNARDES, T. F.; REZENDE, C. P.; BODDEY, R. M.; CASAGRANDE, D. R. N-fertiliser application or legume integration enhances N cycling in tropical pastures. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v. 121, n. 2-3, p. 167-190, 2021.

HOMEM, B. G. C.; LIMA, I. B. G.; SPASIANI, P. P.; GUIMARÃES, B. C.; GUIMARÃES, G. D.; BERNARDES, T. F.; REZENDE, C. P.; BODDEY, R. M.; CASAGRANDE, D. R. Forage peanut as a strategy for improving beef production without increasing livestock greenhouse gas emissions. *Animal*, 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Censo Agropecuário 2020*. Disponível em: <https://censos.ibge.gov.br>. Acesso em: 29 jun. 2026.

JOHNSON, K. A.; JOHNSON, D. E. Methane emissions from cattle. *Journal of Animal Science*, v. 73, p. 2483-2492, 1995.

JOHNSON, A. D. Sample preparation and chemical analysis of vegetation. In: ANNETT, J. L. (ed.). *Measurement of grassland vegetation and animal production*. Aberystwyth: Commonwealth Agricultural Bureaux, 1978. p. 96-102.

KOHMANN, M. M.; SOLLENBERGER, L. E.; DUBEUX JUNIOR, J. C. B.; SILVEIRA, M. L.; MORENO, L. S. B.; SILVA, L. S.; ARYAL, P. Nitrogen fertilization and proportion of legume affect litter decomposition and nutrient return in grass pastures. *Crop Science*, v. 58, p. 2138-2148, 2018.

KU-VERA, J. C.; JIMÉNEZ-OCAMPO, R.; VALENCIA-SALAZAR, S. S.; MONTOYA-FLORES, M. D.; MOLINA-BOTERO, I. C.; ARANGO, J.; GÓMEZ-BRAVO, C. A.; AGUILAR-PÉREZ, C. F.; SOLORIO-SÁNCHEZ, F. J. Role of secondary plant metabolites on enteric methane mitigation in ruminants. *Frontiers in Veterinary Science*, v. 7, 2020.

LAL, R. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma*, v. 123, p. 1-22, 2004.

LIGOSKI, B.; GONÇALVES, L. F.; CLAUDIO, F. L.; ALVES, E. M.; KRÜGER, A. M.; BIZZUTI, B. E.; LIMA, P. M. T.; ABDALLA, A. L.; PAIM, T. P. Silage of intercropping corn, palisade grass, and pigeon pea increases protein content and reduces in vitro methane production. *Agronomy*, v. 10, p. 1784, 2020.

LIMA, H. N. B.; DUBEUX JUNIOR, J. C. B.; SANTOS, M. V. F.; MELLO, A. C. L.; LIRA, M. A.; CUNHA, M. V.; APOLINÁRIO, V. X. Herbage responses of signalgrass under full sun or shade in a silvopasture system using tree legumes. *Agronomy Journal*, v. 112, p. 1839-1848, 2020.

MACEDO, M. C. M.; KICHEL, A. N.; ZIMMER, A. H. *Degradação e alternativas de recuperação e renovação de pastagens*. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2000. (Comunicado Técnico, 62).

MACEDO, M. C. M.; ZIMMER, A. H.; KICHEL, A. N.; ALMEIDA, R. G.; ARAUJO, A. R. Degradação de pastagens, alternativas de recuperação e renovação, e formas de mitigação. In: CONGRESSO..., Ribeirão Preto, 2014. *Anais...* Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2014. p. 158-181.

MAKKAR, H. P. S. *Quantification of tannins in tree and shrub foliage: a laboratory manual*. Dordrecht: Springer, 2003.

MATUS, A.; DERKSEN, D. A.; WALLEY, F. L.; LOEPPKY, H. A.; VAN KESSEL, C. The influence of tillage and crop rotation on nitrogen fixation in lentil and pea. *Canadian Journal of Plant Science*, v. 77, p. 197-200, 1997.

MIN, B. R.; SOLAIMAN, S.; WALDRIP, H. M.; PARKER, D.; TODD, R. W.; BRAUER, D. Dietary mitigation of enteric methane emissions from ruminants: a review of plant tannin mitigation options. *Animal Nutrition*, v. 6, p. 231-246, 2020.

MOTT, G. O.; LUCAS, H. L. The design, conduct, and interpretation of grazing trials on cultivated and improved pastures. *Proceedings of the International Grassland Congress*, v. 6, p. 1380-1395, 1952.

MUELLER-HARVEY, I. Unravelling the conundrum of tannins in animal nutrition and health. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v. 86, p. 2010-2037, 2006.

NIDERKORN, V.; BAUMONT, R. Associative effects between forages on feed intake and digestion in ruminants. *Animal*, v. 3, p. 951-960, 2009.

OJEDA, A. A.; FARIA, R. B.; SCALON, H. B.; SAKAI, C.; AZAMBUJA, K. M. Potencial uso de leguminosas forrageiras em áreas de pastagens degradadas. *Revista Magsul de Agronomia*, 2022.

OLIVEIRA, P. P. A.; BERNDT, A.; PEDROSO, A. F.; BOSI, C.; PEZZOPANE, J. R. M.; BRUNETTI, H. B.; RODRIGUES, P. H. M. Greenhouse gas balance and carbon footprint of pasture-based beef cattle production systems in the tropical region (Atlantic Forest biome). *Animal*, 2020.

OLIVEIRA, P. P. A. Can intensified pasture systems reduce enteric methane emissions from beef cattle in the Atlantic Forest biome? *Agronomy*, v. 12, p. 2738, 2022.

ONIM, J. F. M. Multiple uses of pigeonpea. In: RESEARCH ON GRAIN LEGUMES IN EASTERN AND CENTRAL AFRICA. Addis Ababa: International Livestock Centre for Africa, 1987. p. 115-120.

PALUDO, A.; SANTOS, N. F.; MOREIRA, T. S. O.; OLIVEIRA, W. L.; SILVA, M. A. P. Feijão-guandu em três alturas de corte na alimentação de ruminantes. *Nutrição em Revista Eletrônica*, v. 9, p. 1981-1994, 2012.

PASQUINI NETO, R.; FURTADO, A. J.; SILVA, G. V.; LOBO, A. A. G.; ABDALLA FILHO, A. L.; BRUNETTI, H. B.; BOSI, C.; PEDROSO, A. F.; PEZZOPANE, J. R. M.; OLIVEIRA, P. P. A.; RODRIGUES, P. H. M. Forage accumulation and nutritive value in extensive, intensive, and integrated pasture-based beef cattle production systems. *Crop and Pasture Science*, v. 75, p. 1-15, 2024.

PATRA, A. K.; SAXENA, J. A new perspective on the use of plant secondary metabolites to inhibit methanogenesis in the rumen. *Phytochemistry*, v. 71, n. 11-12, p. 1198-1222, 2010.

PELL, A. N.; SCHOFIELD, P. Computerized monitoring of gas production to measure forage digestion *in vitro*. *Journal of Dairy Science*, v. 76, p. 1063-1073, 1993.

PEREIRA, J. M.; REZENDE, C. P.; BORGES, A. M. F.; HOMEM, B. G. C.; CASAGRANDE, D. R.; MACEDO, T. M.; ALVES, B. J. R.; SANT'ANNA, S. A. C.;

URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Production of beef cattle grazing on *Brachiaria brizantha* (Marandu grass)-*Arachis pintoi* (forage peanut cv. Belomonte) mixtures exceeded that on grass monocultures fertilized with 120 kg N ha⁻¹. *Grass and Forage Science*, v. 75, p. 28-36, 2020.

PEREIRA NETO, J. D.; DUBEUX JUNIOR, J. C. B.; SANTOS, M. V. F.; SANTOS, E. R. S.; BRETAS, I. L.; JARAMILLO, D. M.; RUIZ-MORENO, M.; CRUZ, P. J. R.; QUEIROZ, L. M. D.; ODUOR, K. T.; BERNARDINI, M. A. Herbage responses and animal performance of nitrogen-fertilized grass and grass-legume grazing systems. *The Journal of Agricultural Science*, 2024.

PERNA JUNIOR, F.; GALBIATTI SANDOVAL NOGUEIRA, R.; FERREIRA CARVALHO, R.; CUELLAR ORLANDI CASSIANO, E.; MAZZA RODRIGUES, P. H. Use of tannin extract as a strategy to reduce methane in Nellore and Holstein cattle and its effect on intake, digestibility, microbial efficiency and ruminal fermentation. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, v. 107, p. 89-102, 2023.

PEZZOPANE, J. R. M.; OLIVEIRA, P. P. A.; PEDROSO, A. F.; BONANI, W. L.; BOSI, C.; BRUNETTI, H. B.; PASQUINI NETO, R.; FURTADO, A. J.; RODRIGUES, P. H. M. Intercropping of tropical grassland and pigeon pea: impact on microclimate, soil water, and forage production. *Rangeland Ecology & Management*, v. 95, p. 1-10, 2024.

PHELAN, P.; MOLONEY, A. P.; MCGEOUGH, E. J.; HUMPHREYS, J.; BERTILSSON, J.; O'RIORDAN, E. G.; O'KIELY, P. Forage legumes for grazing and conserving in ruminant production systems. *Critical Reviews in Plant Sciences*, v. 34, p. 281-326, 2015.

QUINTERO-ANZUETA, S.; MOLINA-BOTERO, I. C.; RAMÍREZ-NAVAS, J. S.; RAO, I.; CHIRINDA, N.; BARAHONA-ROSALES, R.; MOORBY, J.; ARANGO, J. Nutritional evaluation of tropical forage grass alone and grass-legume diets to reduce *in vitro* methane production. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, v. 5, p. 663003, 2021.

REDDY, A. S.; RAO, P. V.; BABU, J. S.; RAO, Y. K. Response of integrated weed management practices on growth and yield of pigeonpea (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.). *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, v. 5, p. 610-616, 2016.

REZENDE, P. R.; RODRIGUES, L. M.; BACKES, C.; TEODORO, A. G.; SANTOS, A. J. M.; FERNANDES, P. B.; GIONGO, P. R.; RIBON, A. A.; BESSA, S. V. Productivity and nutrient extraction by Paiaguás palisadegrass, single and intercropping with pigeon

pea, submitted to doses of nitrogen. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 2022.

ROUQUETTE JUNIOR, F. M. Grazing systems research and impact of stocking strategies on pasture-animal production efficiencies. *Crop Science*, v. 55, p. 2513-2530, 2015.

RUGGIERI, A. C.; FAVORETTO, V.; MALHEIROS, E. B. Características de crescimento e produção de matéria seca da *Brachiaria brizantha* (Hochst.) Stapf cv. Marandu em função de níveis de nitrogênio em regime de corte. *Boletim de Indústria Animal*, v. 51, n. 2, p. 149-155, 1994.

SADIA, A.; NAHER, N.; ALAM, A. K. M. M. Yield and carbon sequestration of pigeon pea at different environments in Bangladesh. *GSC Advanced Research and Reviews*, 2025.

SÁ JUNIOR, A.; CARVALHO, L. G.; SILVA, F. F.; ALVES, M. C. Application of the Köppen classification for climatic zoning in the state of Minas Gerais, Brazil. *Theoretical and Applied Climatology*, v. 108, p. 1-7, 2012.

SIMEÃO, R. M.; LANDAU, E. C.; SILVEIRA, M. C. T.; PEREIRA, M. A.; CHAVES, F. F.; BORGHI, E.; GONTIJO NETO, M. M.; ALVARENGA, R. C. *Atividade pecuária no estado de Minas Gerais: uma abordagem temporal*. Circular Técnica, n. 38. Sete Lagoas: Embrapa, 2024.

SILVA, S. C.; BUENO, A. A. O.; CARNEVALLI, R. A.; PEDREIRA, C. G. S.; BUENO, F. O.; HODGSON, J.; MATTHEW, C.; ARNOLD, G. C.; MORAIS, J. P. G. Sward structural characteristics and herbage accumulation of *Panicum maximum* cv. Mombaça subjected to rotational stocking managements. *Scientia Agricola*, v. 66, p. 8-19, 2009.

SILVA, P. C. G.; TIRITAN, C. S.; ECHER, F. R.; GARCIA, C. M. P.; CARVALHO, M. A. C.; FERNANDES, D. M. No-tillage and crop rotation increase crop yields and nitrogen stocks in sandy soils under agroclimatic risk. *Field Crops Research*, v. 258, p. 107947, 2020.

SILVEIRA, M. C. T.; SILVA, S. C.; SOUZA JÚNIOR, S. J.; BARBERO, L. M.; RODRIGUES, C. S.; LIMÃO, V. A.; PENA, K. S.; NASCIMENTO JÚNIOR, D. Herbage accumulation and grazing losses on Mulato grass subjected to strategies of rotational stocking management. *Scientia Agricola*, v. 70, p. 242-249, 2013.

SISTEMA DE ESTIMATIVAS DE EMISSÕES E REMOÇÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA (SIRENE). *Sistema de estimativas de emissões e remoções de gases*

de efeito estufa. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene>. Acesso em: 18 mai. 2026.

TAHIR, M.; WEI, X.; LIU, H.; LI, J.; ZHOU, J.; KANG, B.; JIANG, D.; YAN, Y. Mixed legume-grass seeding and nitrogen fertilizer input enhance forage yield and nutritional quality by improving the soil enzyme activities in Sichuan, China. *Frontiers in Plant Science*, v. 14, 2023.

THOMAS, R. J. Role of legumes in providing N for sustainable tropical pasture systems. *Plant and Soil*, v. 174, p. 103-118, 1995.

WESTBERG, H.; JOHNSON, K.; COSSALMAN, M.; MICHAL, J. *A SF6 tracer technique: methane measurement from ruminants*. Pullman: Washington State University, 1998.

WHITEMAN, P. C. *Tropical pasture science*. Oxford: Oxford University Press, 1980.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). *Dados meteorológicos: tabela de dados das estações*. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/sobre>. Acesso em: 25 jun. 2026