



Programa de Pós-Graduação em Zootecnia

Azospirillum brasilense melhora resposta ao nitrogênio e aproveitamento hídrico do capim-buffel sob diferimento

Tatiane Marques Bezerra Santos

2026

TATIANE MARQUES BEZERRA SANTOS

***Azospirillum brasilense* MELHORA RESPOSTA AO NITROGÊNIO E APROVEITAMENTO
HÍDRICO DO CAPIM-BUFFEL SOB DIFERIMENTO**

Dissertação apresentada a Universidade Estadual de Montes Claros, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, área de concentração em Forragicultura e Pastagens no Semiárido, para obtenção do título de Mestre.

Orientador

Prof. Dr. Edson Marcos Viana Porto

Janaúba-MG

2026

Ficha Catalográfica

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001

Santos, Tatiane Marques Bezerra

S237a

Azospirillum brasilense melhora resposta ao nitrogênio e aproveitamento hídrico do capim-buffel sob diferimento [manuscrito] / Tatiane Marques Bezerra Santos – 2026.
52 p.

Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Universidade Estadual de Montes Claros – Janaúba, 2026.

Orientador: Prof. D. Sc. Edson Marcos Viana Porto.

1. *Azospirillum brasilense*. 2. Capim buffel. 3. Nitrogênio. I. Porto, Edson Marcos Viana. II. Universidade Estadual de Montes Claros. III. Título.

CDD. 633.2

Catálogo: Joyce Aparecida Rodrigues de Castro Bibliotecária CRB6/2445



GOVERNO DO ESTADO DE MINAS GERAIS
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MONTES CLAROS
UNIMONTES/PRPG/PPGZ - Mestrado em Zootecnia

Ata

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Nome da Acadêmica: **Tatiane Marques Bezerra Santos**

CPF da Acadêmica: 108.954.034-55

Programa de Pós-graduação em Zootecnia

Nível: Mestrado

Departamento: Ciências Agrárias

Título da dissertação: "***Azospirillum brasilense* melhora resposta ao nitrogênio e aproveitamentohídrico do capim-buffel sob diferimento** "

Após declarada aberta a sessão, o Presidente passa a palavra aos examinadores para as devidas arguições que se desenvolvem nos termos regimentais. Em seguida, a Comissão Julgadora proclama o resultado:

Membros da Banca Examinadora:

Dr. Edson Marcos Viana Porto/ Presidente/ UNIMONTES

Dr. Flávio Pinto Monção/ Membro Interno/ UNIMONTES

Dr. Hugo Tiago Ribeiro Amaro/ Membro Interno/UNIMONTES

Dra. Leidy Darmony de Almeida Rufino /Membro Externo/EPAMIG

Dra. Liliane Severino da Silva/Membro Externo/Clemson University

Resultado: **Aprovada**

- Nota: 9,5

- Conceito (A = 9–10/ B = 7,5-8,9/ C = 6-7,4/ D = 0-5,9): A

APRECIACÃO SOBRE A DISSERTAÇÃO

Aos **28 dias do mês de fevereiro de 2026**, às **08:00h**, por meio da plataforma digital **Google Meet**, realizou-se a defesa da dissertação da acadêmica **Tatiane Marques Bezerra Santos**, matriculada no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia. A acadêmica foi considerada **APROVADA** pelos membros acima nomeados. O acadêmico tem prazo máximo de 90 dias para as correções e entrega da versão definitiva, conforme as normas definidas pelo PPGZ e pela Unimontes.

Eu, **Edson Marcos Viana Porto**, orientador da discente **Tatiane Marques Bezerra Santos**, lavrei a presente Ata que segue por mim assinada e pelos demais membros da Banca Examinadora.

O curso é reconhecido e Homologado pelo CNE (Portaria MEC N° 1.077- DOU de 13/09/2012 - Parecer CES/CNE 277/2007, 17/01/2008) Renovação do Reconhecimento: (RESOLUÇÃO SEDECTS N° 15, de 14 DE MARÇO 2019, D.O.MG de 26/03/2019).



Documento assinado eletronicamente por **Liliane Severino da Silva**, **Usuário Externo**, em 28/02/2026, às 17:42, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 47.222, de 26 de julho de 2017](#).



Documento assinado eletronicamente por **Leidy Darmony de Almeida Rufino**, **Usuário Externo**, em 28/02/2026, às 18:00, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 47.222, de 26 de julho de 2017](#).



Documento assinado eletronicamente por **Edson Marcos Viana Porto**, **Professor(a)**, em 28/02/2026, às 18:28, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 47.222, de 26 de julho de 2017](#).



Documento assinado eletronicamente por **Hugo Tiago Ribeiro Amaro**, **Professor(a)**, em 28/02/2026, às 20:13, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 47.222, de 26 de julho de 2017](#).



Documento assinado eletronicamente por **Flávio Pinto Monção, Professor(a)**, em 01/03/2026, às 09:55, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 47.222, de 26 de julho de 2017](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.mg.gov.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **134213484** e o código CRC **E79B2F80**.

Referência: Processo nº 2310.01.0012048/2020-16

SEI nº 134213484

À minha mãe, Nalva, e ao meu pai, Givaldo, raízes do meu voo:

Vocês não desistiram, e por isso eu venci.

Cada conquista pertence a vocês.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador, Edson Porto, pela paciência e pela confiança depositadas em mim ao longo de todo o processo. Seu incentivo foi fundamental para o sucesso deste trabalho.

Ao professor Hugo Tiago, pela valiosa colaboração e pelos ensinamentos compartilhados.

Aos ilustres membros da banca examinadora, pelas contribuições enriquecedoras, sugestões pertinentes e pelo tempo dedicado à avaliação criteriosa deste trabalho.

À EPAMIG, pela estrutura essencial fornecida para a realização do experimento.

À CAPES, pelo apoio concedido por meio da bolsa de estudos, que possibilitou minha dedicação integral a este projeto.

Ao meu companheiro, Caio Martins, e ao nosso querido Aquiles, minha família escolhida, pelo amor, pela companhia constante e por tornarem cada etapa desta caminhada mais leve, acolhedora e cheia de significado.

Aos meus irmãos, Décio, Thayzy e Tamires, guardiões da minha infância, que sempre me inspiram.

Aos avós que a vida me presenteou, Terezinha Nogueira e Hélio Martins.

Todos vocês fazem parte desta história, aqui deixo os meus mais sinceros agradecimentos.

SUMÁRIO

1. RESUMO GERAL.....	8
2. GENERAL ABSTRACT.....	9
3. INTRODUÇÃO GERAL.....	10
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	12
4.1 Capim <i>Cenchrus ciliaris</i> L. cv. Áridus.....	12
4.2 Diferimento.....	13
4.3 <i>Azospirillum</i>	15
5. REFERÊNCIAS.....	17
6. CAPÍTULO 1 – <i>Azospirillum brasilense</i> MELHORA RESPOSTA AO NITROGÊNIO E APROVEITAMENTO HÍDRICO DO CAPIM-BUFFEL SOB DIFERIMENTO.....	20
7. RESUMO.....	20
8. ABSTRACT.....	21
9. INTRODUÇÃO.....	22
10. MATERIAL E MÉTODOS.....	24
11. RESULTADOS.....	30
12. DISCUSSÃO.....	42
13. CONCLUSÃO.....	48
14. REFERÊNCIAS.....	50
15. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	54

NORMAS DA REVISTA CIENTÍFICA

Esta dissertação segue as premissas básicas da *Revista Brasileira de Zootecnia (RBZ)*.

Link: <https://rbz.org.br/instructions-authors/>

RESUMO GERAL

SANTOS, Tatiane Marques Bezerra. ***Azospirillum brasilense* melhora resposta ao nitrogênio e aproveitamento hídrico de capim-buffel sob diferimento**. 2026. 55. p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba, Minas Gerais, Brasil.

A irregularidade pluviométrica e os longos períodos de estiagem no semiárido brasileiro limitam a disponibilidade e a qualidade da forragem, exigindo estratégias para aumentar a eficiência produtiva das pastagens. A seleção de materiais mais adaptados, a adubação nitrogenada em épocas estratégicas e o uso de bioinsumos surgem como ações resilientes promissoras. Objetivou-se avaliar se a inoculação com *Azospirillum brasilense* potencializa a resposta ao nitrogênio e o aproveitamento hídrico do capim-buffel (*Cenchrus ciliaris* L.) sob diferimento em condições de semiárido. Foi utilizado o delineamento de blocos casualizados com cinco tratamentos T1 (controle; sem adubação nitrogenada e sem inoculação microbiana), T2 (25 kg de N ha⁻¹), T3 (25 kg de N ha⁻¹ + *A. brasilense*), T4 (50 kg de N ha⁻¹) e T5 (50 kg de N ha⁻¹ + *A. brasilense*), e quatro repetições, totalizando 20 parcelas experimentais de 20 m² cada (5 x 4 m), conduzido em 2023 e 2024 no Norte de Minas Gerais. Os resultados obtidos no ano de 2023 demonstraram que o tratamento 50NA promoveu incrementos em PMST e EUC, obtendo um aumento de 43.84% em ambas variáveis em relação ao controle. Em 2024, o tratamento 50 kg N ha⁻¹ + inoculação apresentou valores superiores ao controle para PMST, EUC e AAP, com incrementos de 176.8%, 176.8% e 11.8%, respectivamente (p<0.05). Além disso, a inoculação contribuiu para maior peso individual de perfilhos e melhor desempenho fisiológico, indicando maior capacidade de aproveitamento de recursos em ambientes com limitação hídrica. Conclui-se que *A. brasilense* potencializa a resposta do capim-buffel à adubação nitrogenada em sistema diferido, elevando a produtividade e a eficiência de uso de recursos no semiárido, como estratégia para intensificação sustentável de pastagens.

Palavras-chave: adubação; bioinsumos; inoculação; semiárido.

ABSTRACT

SANTOS, Tatiane Marques Bezerra. ***Azospirillum brasilense* improves nitrogen response and water use efficiency of buffelgrass under deferment.** 2026. 45 p. Dissertation (Master's in Animal Science) – State University of Montes Claros, Janaúba, Minas Gerais, Brazil.

The irregular rainfall distribution and prolonged drought periods in the Brazilian semiarid region limit forage availability and quality, requiring strategies to improve pasture productive efficiency. The selection of better-adapted forage materials, strategic nitrogen fertilization and the use of bioinputs have emerged as promising resilient approaches. This study aimed to evaluate whether inoculation with *Azospirillum brasilense* enhances nitrogen response and water-use efficiency of buffel grass (*Cenchrus ciliaris* L.) under deferred grazing conditions in the semiarid region. A randomized complete block design was adopted with five treatments: T1 (control; without nitrogen fertilization and without microbial inoculation), T2 (25 kg N ha⁻¹), T3 (25 kg N ha⁻¹ + *A. brasilense*), T4 (50 kg N ha⁻¹), and T5 (50 kg N ha⁻¹ + *A. brasilense*), with four replications, totaling 20 experimental plots of 20 m² each (5 × 4 m). The experiment was conducted during 2023 and 2024 in Northern Minas Gerais, Brazil. The results obtained in 2023 showed that the 50NA treatment promoted increases in total dry matter yield (TDMY) and water-use efficiency (WUE), with gains of 43.84% for both variables compared with the control treatment. In 2024, the treatment with 50 kg N ha⁻¹ associated with inoculation showed higher values than the control for TDMY, WUE, and plant height, with increments of 176.8%, 176.8%, and 11.8%, respectively ($p < 0.05$). In addition, the inoculation contributed to greater individual tiller weight and improved physiological performance, indicating greater resource-use efficiency under water-limited conditions. It was concluded that *A. brasilense* enhances the response of buffel grass to nitrogen fertilization under deferred pasture systems, increasing productivity and resource-use efficiency in semiarid environments, representing a promising strategy for sustainable pasture intensification.

Keywords: bioinputs; fertilization; inoculation; semiarid.

1. INTRODUÇÃO GERAL

A pecuária brasileira é predominantemente baseada em sistemas de pastagem com elevado potencial produtivo (Barcellos, et al., 2008). O manejo do sistema tem papel fundamental na manutenção da fertilidade do solo, na produção e persistência do estande e na capacidade de suporte das pastagens. Estima-se que cerca de 70% das pastagens do país apresentem algum grau de degradação, especialmente em sistemas extensivos, caracterizados por baixo rendimento produtivo e índices zootécnicos limitados (Guimarães et al., 2023).

No semiárido, os desafios são ainda mais pronunciados em função da escassez hídrica e da elevada variabilidade climática (Amorim et al., 2024). Nesse contexto, o uso de forrageiras adaptadas, como o capim-buffel (*Cenchrus ciliaris* L. cv. Áridus), destaca-se por sua tolerância às condições adversas da região (Rufino et al., 2022). Contudo, quando cultivada em baixos níveis tecnológicos e com adubação reduzida, essa gramínea não expressa plenamente seu potencial produtivo nem mantém sua persistência em solos de baixa fertilidade (Queiroga et al., 2024).

Entre as técnicas para aumentar a oferta de forragem e reduzir a sazonalidade da produção, a adubação nitrogenada estratégica associada ao diferimento das pastagens tem se mostrado promissora, aplicada ao final da estação chuvosa, seguida da retirada dos animais, essa prática favorece o acúmulo de biomassa para utilização durante a estação seca (Santos et al., 2018). Além disso, o manejo adequado da pastagem pode otimizar o processo de diferimento, favorecendo maior acúmulo de forragem em menor intervalo de vedação, o que amplia a eficiência de utilização das áreas de pastejo durante o período seco e contribui para melhorias na estrutura do dossel e no desempenho animal (Santos et al., 2016).

A intensificação sustentável das pastagens, especialmente em sistemas extensivos, é fundamental para mitigar os impactos ambientais associados à pecuária, como as emissões de gases de efeito estufa e a pressão por abertura de novas áreas. A aplicação racional de fertilizantes contribui para a ciclagem de nutrientes, a melhoria da fertilidade do solo e a elevação da produtividade das forrageiras, promovendo maior longevidade das pastagens e sustentabilidade do sistema (Dias-Filho, 2021). Entretanto, a dependência de insumos importados, os custos elevados, a baixa

eficiência de uso do nitrogênio e os potenciais impactos ambientais reforçam a necessidade de alternativas que aumentem a eficiência do manejo (Guimarães et al., 2023).

Nesse contexto, estratégias voltadas à intensificação sustentável da pecuária têm buscado aumentar a eficiência de utilização dos insumos, reduzir custos de produção e minimizar impactos ambientais associados ao uso excessivo de fertilizantes nitrogenados. Entre essas alternativas, destaca-se a associação entre adubação nitrogenada e inoculação com bactérias promotoras de crescimento vegetal, como *Azospirillum brasilense*, visando otimizar o aproveitamento do nitrogênio pelas gramíneas forrageiras (Barbosa et al., 2022).

A utilização de *A. brasilense* tem sido amplamente estudada devido à sua capacidade de promover crescimento vegetal por meio da fixação biológica associativa de nitrogênio, produção de fitormônios, estímulo ao desenvolvimento radicular e aumento da eficiência de absorção de água e nutrientes. Resultados positivos já foram relatados em culturas como milho (*Zea mays* L.) (Barbosa et al., 2022), sorgo (*Sorghum bicolor*) (Mortate et al., 2020), cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) (Costa et al., 2021) e forrageiras tropicais (Hungria et al., 2021), evidenciando potencial para incrementar a produtividade vegetal e a eficiência de uso do nitrogênio.

Além do incremento produtivo, a associação entre menores doses de nitrogênio mineral e inoculação bacteriana representa uma estratégia alinhada aos princípios da pecuária sustentável, permitindo reduzir a dependência de fertilizantes químicos, diminuir perdas de N no sistema e aumentar a eficiência produtiva das pastagens (Guimarães et al., 2023). Em regiões semiáridas, essa abordagem torna-se ainda mais relevante devido à possibilidade de favorecer o desenvolvimento radicular, melhorar a tolerância ao déficit hídrico e contribuir para maior estabilidade da produção de forragem durante os períodos de restrição ambiental (Porto et al., 2022).

Dessa forma, a adoção dos tratamentos: Controle, 25 kg ha⁻¹ de N, 25 kg ha⁻¹ de N + *A. brasilense*, 50 kg ha⁻¹ de N e 50 kg ha⁻¹ de N + *A. brasilense* teve como propósito avaliar se a inoculação bacteriana seria capaz de potencializar a resposta produtiva do capim-buffel mesmo sob menores níveis de adubação nitrogenada. A hipótese central do estudo baseia-se na possibilidade de otimizar o uso do nitrogênio mineral, mantendo ou elevando a produtividade da forrageira com menores aportes de

fertilizante, contribuindo para sistemas pecuários mais eficientes, resilientes e ambientalmente sustentáveis.

2. REVISÃO BIBLIOGRAFICA

2.1 Capim-buffel

O capim-buffel, pertencente à família *Poaceae*, subfamília *Panicoideae* (Ayersa, 1981), originário de regiões áridas e semiáridas da África, Índia e Indonésia, destaca-se pela adaptação a ambientes quentes com restrição hídrica, revelando alto potencial para o semiárido brasileiro (Queiroga et al., 2024). Introduzido no Brasil em 1952, inicialmente em São Paulo, a espécie foi posteriormente expandida para o Nordeste, onde se adaptou bem às condições locais de solo e clima, graças a atributos como tolerância a longos períodos de seca, produção sob baixos índices pluviométricos (<100 mm anuais) e capacidade de persistir como “feno em pé”, ou seja, sob diferimento (Oliveira, 1993).

Sua adoção permite garantir oferta de forragem em áreas com estiagens prolongadas, embora a plena expressão produtiva exija manejo adequado e satisfatória fertilidade do solo. Em condições edafoclimáticas restritivas, especialmente em solos de baixa fertilidade e sistemas com reduzido nível tecnológico, o potencial produtivo das pastagens é comprometido, refletindo negativamente sobre a capacidade de suporte, persistência e sustentabilidade dos sistemas forrageiros (Yáñez-Chávez et al., 2023). Dessa forma, a adoção de estratégias adequadas de adubação e manejo das pastagens constitui ferramenta fundamental para maximizar a produção de biomassa, melhorar a eficiência de utilização dos nutrientes e promover maior estabilidade produtiva ao longo do tempo. (Rufino et al., 2022).

Nesse contexto, o capim-buffel consolida-se como uma das principais gramíneas forrageiras no semiárido brasileiro devido à sua plasticidade ecológica, tolerância à seca, eficiência no uso da água e capacidade de rebrota pós-estiagem, apresentando satisfatório potencial de produção de forragem sob condições adequadas de manejo e fertilidade do solo, contribuindo para a sustentabilidade dos sistemas pecuários regionais (Melo et al., 2010). O capim-buffel apresenta alta tolerância ao déficit hídrico, capacidade de desenvolver raízes profundas, manutenção

do potencial foliar em seca, rebrota vigorosa de gemas basais e produção precoce de sementes sob estresse (Santos et al., 2010; Rufino et al., 2022).

Essa forrageira apresenta metabolismo fotossintético C4, caracterizado por elevada eficiência na assimilação de carbono, especialmente sob condições de altas temperaturas, elevada radiação solar e limitação hídrica, típicas de ambientes semiáridos. Esse mecanismo fotossintético está associado à maior eficiência no uso da água e do nitrogênio quando comparado às espécies C3, favorecendo maior desempenho fisiológico e produtivo em condições de estresse ambiental (Togawaurakoshi e Ueno, 2021). Sendo frequentemente utilizada em pastagens puras com enriquecimento natural, diferimento, silagem e feno para entressafra. Apesar de não ser a mais produtiva, sua adaptabilidade mitiga escassez forrageira sendo uma opção na pecuária semiárida (Bezerra et al., 2014).

2.2 Diferimento de pastagens

No Brasil, a sazonalidade climática caracteriza-se pela ocorrência de períodos chuvosos e secos bem definidos, sendo a estação seca, particularmente durante o outono e inverno, um dos principais fatores limitantes à produção de forragem. As variações sazonais nas condições ambientais, especialmente na disponibilidade hídrica, temperatura e fotoperíodo, influenciam diretamente os processos morfofisiológicos das plantas forrageiras, afetando o crescimento, a dinâmica estrutural do dossel e o acúmulo de biomassa (Adorno et al., 2020).

Ciente dessas limitações durante a entressafra, o produtor rural pode adotar o diferimento de pastagens, uma técnica que consiste em reservar áreas de pasto ao final da estação chuvosa, acumulando forragem para ser utilizada no período de seca (Santos et al., 2010). Para que essa estratégia seja eficaz, é necessário decidir por quanto tempo a pastagem ficará diferida. Tal decisão deve considerar as características morfológicas e estruturais da pastagem, uma vez que, durante o diferimento, ocorrem processos naturais de crescimento, senescência e florescimento que podem impactar a qualidade do pasto. A escolha adequada da espécie forrageira para diferimento é essencial, pois permite mitigar efeitos indesejáveis, como o florescimento excessivo (Santos et al., 2018). Com a retirada dos animais, o pasto começa a acumular forragem, mas cada espécie de gramínea possui variações em relação à densidade de

perfilhos e ao crescimento das folhas e colmos (Santos, 2009). Essa estratégia assegura estoque de forragem para uso na estiagem, atenuando os impactos da sazonalidade produtiva (Santos et al., 2009).

Os pastos diferidos representam solução acessível para superar a escassez forrageira em períodos críticos, valorizada pelos produtores pela simplicidade de execução e baixo custo (Santos et al., 2010). Martha Junior et al. (2001) propõem vedar as áreas 30 a 40 dias antes do principal fator climático limitante local – como frio intenso ou redução pluviométrica –, otimizando o acúmulo de forragem. A duração do diferimento influencia diretamente a quantidade, qualidade da MS e estrutura do dossel, que por sua vez afetam ingestão e desempenho animal: períodos longos geram alto volume com baixa digestibilidade; curtos limitam a oferta total. Suplementação estratégica complementa essa técnica, enquanto seleção de forrageiras aptas, momento preciso de vedação e proporcionalidade das áreas são essenciais ao êxito (Leite et al., 1998).

Entre as vantagens do diferimento, destaca-se a abundância forrageira, permitindo seleção das frações mais nutritivas pelos animais e elevando índices zootécnicos (Souza, 2014). Contudo, a baixa qualidade nutricional da MS acumulada e alterações estruturais – como colmos lignificados pelo alongamento prolongado – podem restringir o consumo (Fonseca, 2010). Limitações incluem pouca flexibilidade nas lotações, já que a rebrotação seca é contida por restrições ambientais (luz, temperatura, água, nutrientes) (Corsi, 1994), além do tombamento comum em diferimentos extensos, que reduz acessibilidade e eleva perdas por pisoteio (Fernandes, 2019).

2.3 Gênero *Azospirillum*

A adoção de soluções de baixo impacto ambiental que otimizem a produção animal sem comprometer os recursos naturais, visam reduzir a dependência de consumos externos e aumentar a eficiência dos sistemas produtivos, tornando o setor produtivo mais resiliente. Entre as alternativas sustentáveis, destacam-se os insumos biológicos à base de microrganismos benéficos do solo, como bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCP) e fungos micorrízicos arbusculares (FMA) (Wu et al., 2024). Essas tecnologias apresentam promessas de contribuir para o crescimento das

plantas, tanto da parte aérea quanto das raízes, e por oferecerem maior proteção contra estresses bióticos e abióticos, desafios comuns na agricultura e pecuária atuais (Porto et al., 2022).

Ao longo da evolução, as plantas desenvolveram interações sofisticadas com microrganismos do solo, que ajudam a mitigar os efeitos do estresse hídrico, fortalecendo seus mecanismos internos de tolerância com a produção de exopolissacarídeos, fitohormônios, ACC desaminase, osmólitos e compostos voláteis, essenciais para superar condições adversas (Shaffique et al., 2022). Segundo Jiang et al. (2021), os fungos micorrízicos arbusculares estabelecem uma relação mutualística com as raízes das plantas. Como biotróficos obrigatórios, esses fungos obtêm compostos de carbono das plantas e, em troca, formam uma ampla rede de hifas que amplia a área de absorção de nutrientes móveis, como o fósforo, e busca água em microporos do solo.

Fracasso et al. (2020) por sua vez, aborda que as BPCP promovem o desenvolvimento das plantas por meio de mecanismos como a fixação biológica de nitrogênio, produção de fitohormônios e aminoácidos, além de aumentar a disponibilidade de fósforo no solo por processos de solubilização do fosfato, essas ações tornam essas bactérias ferramentas valiosas para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas e pecuários.

A disponibilização contínua de nitrogênio para plantas, em médio e longo prazos, pode ser alcançada por meio de associações com microrganismos procariontes, como diversas bactérias que, de forma livre ou em simbiose (endofítica), conseguem transformar o nitrogênio atmosférico (N_2) em amônia (NH_3), que posteriormente se converte em formas utilizáveis pelas plantas (Faria, 2002). Estudos com bactérias do gênero *Azospirillum* em gramíneas forrageiras ressaltam a importância desse tipo de associação, já que essas bactérias contribuem para o aumento do valor nutritivo das forragens ao fornecerem parte do nitrogênio necessário para o crescimento das plantas, por meio do processo de fixação biológica de nitrogênio (FBN), além de oferecerem benefícios adicionais não relacionados à nutrição (Santos et al., 2009).

Essas bactérias, ao colonizarem o interior das plantas e se instalarem em locais protegidos do oxigênio, mantêm a atividade da enzima nitrogenase em seu potencial máximo para a FBN, demonstrando um grande potencial como insumos biológicos

para a agricultura, a pecuária e a recuperação de áreas degradadas. No Brasil, várias espécies de bactérias diazotróficas com capacidade de reduzir N_2 foram identificadas, com o gênero *Azospirillum* sendo o mais estudado. Esse grupo inclui seis espécies, entre as quais *A. brasilense*, *A. lipoferum* e *A. amazonense*, descritas como endofíticas devido à limitação de sobrevivência por períodos prolongados no solo (Baldani et al., 1997). A eficiência da FBN nessas associações endofíticas pode ser aprimorada com a seleção de estirpes bacterianas adaptadas a condições edafoclimáticas específicas e a plantas hospedeiras compatíveis.

3. REFERÊNCIAS

ADORNO, Lorena Carla. Produção de forragem e características estruturais do capim-marandu e de híbridos de *Urochloa* durante o período de diferimento. 2020. 24 f. TCC (Graduação em Zootecnia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2020.

AMORIM, Leiane Alencar; SANTOS, Antônio Marcos Dos. Reflexos do Último Ciclo de Estiagem na Produção Agropecuária em Municípios Susceptíveis à Desertificação no Semiárido de Pernambuco. GEOGRAFIA (Londrina), v. 33, n. 1, p. 249–263, 12 dez. 2023.

BARBOSA, Julierme Zimmer *et al.* Meta-analysis of maize responses to Azospirillum brasilense inoculation in Brazil: Benefits and lessons to improve inoculation efficiency. Applied Soil Ecology, v. 170, p. 104276, fev. 2022.

BARCELLOS, Alexandre De Oliveira *et al.* 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, n. spe, p. 51–67, jul. 2008.

BEZERRA, S. B. L. et al. Caracterização agronômica de genótipos de capim-buffel no semiárido pernambucano. *Archivos de Zootecnia*, Córdoba, v. 63, n. 244, p. 621-631, 2014.

BALDANI, V. L. D.; OLIVEIRA, E.; BOLOTA, E.; BALDANI, J. L.; KIRCHHOF, G.; DÖBEREINER, J. *Burkholderia brasiliensis* sp. nov., uma nova espécie de bactéria diazotrófica endofítica. In: ACADEMIA BRASILEIRA DE CIÊNCIAS. *Anais...* Rio de Janeiro, 1997. p. 116.

CORSI, M. Manejo do pastejo de plantas forrageiras. In: PEIXOTO, A. M.; MOURA, J. C.; FARIA, V. P. (ed.). *Pastagens: fundamentos da exploração racional*. 2. ed. Piracicaba: FEALQ, 1994. p. 143-185.

COSTA, A. S.; STEINER, F.; DA SILVA ABES, S.; RODRIGUES, D. H. S.; DA SILVA, K. C.; DE

OLIVEIRA LIMA, I. M. *Azospirillum brasilense* application in pre-sprouted seedlings (PSS) of sugarcane. *Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde*, v. 25, n. 3, p.

DIAS-FILHO, M. B.; LOPES, M. J. dos S. *Fertilidade do solo em pastagem: como construir e monitorar*. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2021. 24 p. (Documentos, 460). Disponível em: Embrapa Amazônia Oriental. Acesso em: 16 maio 2026.

FARIA, S. M. Obtenção de estirpes de rizóbio eficientes na fixação de nitrogênio para espécies florestais. *Seropédica: Embrapa Agrobiologia*, 2002. 16 p. (Embrapa-CNPAB. Documentos, 134).

FERNANDES, P. B. Características estruturais e valor nutritivo de pastos diferidos sob estratégias de manejo. 2019. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2019.

FONSECA, Dilermando Miranda da; MARTUSCELLO, Janaina Azevedo. *Plantas forrageiras*. Viçosa, MG: Editora UFV, 2010. 537 p.

FRACASSO, A.; TELÒ, L.; LANFRANCO, L.; BONFANTE, P.; AMADUCCI, S. Physiological beneficial effect of Rhizophagus intraradices inoculation on tomato plant yield under water deficit conditions. *Agronomy*, v. 10, p. 1-21, 2020.

MARTHA JUNIOR, G. B.; CORSI, M. Diferimento de pastagens. *Preços Agrícolas*, Piracicaba, v. 15, n. 173, p. 20-22, 2001.

GOMIDE, C. A. M.; PACIULLO, D. S. C.; ROCHA, W. S. D. Correção e adubação estratégica para produção de forragem na época de seca. In: SANTOS, M. E. R.; MATURSCHELLO, J. A. (Org.). *Todo ano tem seca, está preparado?*. 1. ed. São Paulo: Reino Editorial Ltda., 2022. p. 231-255.

GUIMARÃES, Gabriel Silva *et al.* Inoculation with Plant Growth-Promoting Bacteria Improves the Sustainability of Tropical Pastures with *Megathyrsus maximus*. *Agronomy*, v. 13, n. 3, p. 734, 28 fev. 2023.

HACK, E. C.; BONA FILHO, A.; MORAES, A. Características estruturais e produção de leite em pastos de capim-mombaça (*Panicum maximum* Jacq.) submetidos a diferentes alturas de pastejo. *Ciência Rural*, v. 37, n. 1, p. 218-222, 2007.

HUNGRIA, M.; RONDINA, A. B. L.; NUNES, A. L. P.; ARAUJO, R. S.; NOGUEIRA, M. A. Seed and leaf-spray inoculation of PGPR in brachiarias (*Urochloa* spp.) as an economic and environmental opportunity to improve plant growth, forage yield and nutrient status. *Plant and Soil*, v. 463, p. 171-186, 2021.

HUNGRIA, M. et al. Inoculação com *Azospirillum brasilense* em gramíneas forrageiras: avanços e perspectivas. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 50, e20210015, 2021.

JIANG, F.; ZHANG, L.; ZHOU, J.; GEORGE, T. S.; FENG, G. Arbuscular mycorrhizal fungi enhance mineralisation of organic phosphorus by carrying bacteria along their extraradical hyphae. *New Phytologist*, v. 230, p. 304-315, 2021.

MELO, P. M. C.; MELLO, A. C. L.; COSTA, L. A. D. S.; VIANA, B. L.; SILVA, C. I. O. Características estruturais de gramíneas forrageiras exóticas na fase de estabelecimento. In: X JORNADA DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO JEPEX, 2010, Caruaru. *Anais...* Caruaru: UFRPE, 2010.

MELLONI, R. et al. Densidade e diversidade fenotípica de bactérias diazotróficas endofíticas em solos de mineração de bauxita, em reabilitação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 28, n. 1, p. 85–93, fev. 2004.

OLIVEIRA, M. C. de. *Capim buffel: produção e manejo nas regiões secas do Nordeste*. Petrolina: EMBRAPA-CPATSA, 1993. 18 p.

PORTO, E. M. V.; TEIXEIRA, F. A.; FRIES, D. D.; JARDIM, R. R.; AMARO, H. T. R.; DOS SANTOS FILHO, J. P.; JESUS, F. M.; SILVA, H. S.; VIEIRA, T. M. Plant growth-promoting microorganisms as mitigators of water stress in pastures: a narrative review. *Research, Society and Development*, v. 11, n. 11, e514111134029, 2022.

QUEIROGA, Vicente de Paula et al. Capim Buffel (*Cenchrus ciliaris* L.): tecnologias de

plantio para o Semiárido brasileiro. Campina Grande: AREPB, 2024. 179 p.

QUEIROZ, D. S.; NETO, G. B.; CARNEIRO, J. da C.; GUIMARÃES, S. T. Diferimento de capim-buffel no Norte de Minas: produção, composição química e degradabilidade in situ. *Boletim de Indústria Animal*, v. 65, n. 4, p. 313-322, 2008.

RUFINO, L. D. A.; MONÇÃO, F. P.; BRAZ, T. G. S.; OLIVEIRA, P. M. O capim-buffel. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v. 43, n. 317, p. 18-25, 2022.

SANTOS, M. E. R.; FONSECA, D. M.; EUCLIDES, V. P. B. et al. Produção de bovinos em pastagens de capim *Brachiaria* diferidas. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 38, n. 4, p. 635-642, 2009.

SANTOS, M. E. R.; EUCLIDES, V. P. B. et al. Características estruturais e índice de tombamento de *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk em pastagens diferidas. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 38, n. 4, p. 626-634, 2009.

SANTOS, M. E. R.; FONSECA, D. M. Adubação de pastagens em sistemas de produção animal. Viçosa: Editora UFV, 2016. 308 p.

SANTOS, M. E. R.; BORGES, S. B.; OLIVEIRA, D. H. M.; OLIVEIRA, D. M. Diferimento do uso da pastagem. In: SANTOS, M. E. R.; MATURSCHELLO, J. A. (org.). *Todo ano tem seca, está preparado?*. 1. ed. São Paulo: Reino Editorial Ltda., 2022. p. 201-229.

SANTOS, M. E. R.; FONSECA, D. M.; SOUZA, B. M. L.; ROCHA, G. O.; CARVALHO, A. N.; CARVALHO, R. M.; CARVALHO, B. H. R. Todo ano tem seca, está preparado? In: RESENDE, F. D.; SIQUEIRA, G. R.; OLIVEIRA, I. M. (org.). *Entendendo o conceito BOI 777*. 1. ed. Jaboticabal: Gráfica Multipress, 2018. p. 107-122.

SANTOS, Manoel Eduardo Rozalino et al. Estrutura do capim-braquiária durante o diferimento da pastagem. 2010. 7 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Zootecnia) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, São Paulo, 2010.

SHAFFIQUE, S. et al. Research progress in the field of microbial mitigation of drought stress in plants. *Frontiers in Plant Science*, v. 13, 2022.

SOUZA, B. M. L. Estrutura do pasto diferido e desempenho de novilhas em pastagens tropicais. 2014. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2014.

TOGAWA-URAKOSHI, Y.; UENO, O. Photosynthetic nitrogen- and water-use efficiencies in C3 and C4 subtype grasses grown under two nitrogen supply levels. *Plant Production Science*, v. 25, n. 2, p. 183-194, 2021.

WU, Yingjie; CHEN, Chongjuan; WANG, Guoan. Inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi improves plant biomass and nitrogen and phosphorus nutrients: a meta-analysis. *BMC Plant Biology*, v. 24, n. 1, p. 960, 14 out. 2024.

YÁÑEZ-CHÁVEZ, L. G. et al. Growth, physiology, and productivity of *Bouteloua gracilis* and *Cenchrus ciliaris* using moisture retainers under different planting methods. *Agriculture*, v. 13, n. 6, p. 1134, 2023.

1 **CAPÍTULO 1. *Azospirillum brasilense* melhora resposta ao nitrogênio e**
2 **aproveitamento hídrico do capim-buffel sob diferimento**

3
4
5 **RESUMO:** A irregularidade pluviométrica e os longos períodos de estiagem no
6 semiárido brasileiro limitam a disponibilidade e a qualidade da forragem, exigindo
7 estratégias para aumentar a eficiência produtiva das pastagens. A seleção de materiais
8 mais adaptados, a adubação nitrogenada em épocas estratégicas e o uso de
9 bioinsumos surgem como ações resilientes promissoras. Objetivou-se avaliar se a
10 inoculação com *Azospirillum brasilense* potencializa a resposta ao nitrogênio e o
11 aproveitamento hídrico do capim-buffel (*Cenchrus ciliaris* L.) sob diferimento em
12 condições de semiárido. Foi utilizado o delineamento de blocos casualizados com cinco
13 tratamentos T1 (controle; sem adubação nitrogenada e sem inoculação
14 microbiológica), T2 (25 kg de N ha⁻¹), T3 (25 kg de N ha⁻¹ + *A. brasilense*), T4 (50 kg de
15 N ha⁻¹) e T5 (50 kg de N ha⁻¹ + *A. brasilense*), e quatro repetições, totalizando 20
16 parcelas experimentais de 20 m² cada (5 x 4 m), conduzido em 2023 e 2024 no Norte
17 de Minas Gerais. Os resultados obtidos no ano de 2023 demonstraram que o
18 tratamento 50NA promoveu incrementos em PMST e EUC, obtendo um aumento de
19 43.84% em ambas variáveis em relação ao controle. Em 2024, o tratamento 50 kg N
20 ha⁻¹ + inoculação apresentou valores superiores ao controle para PMST, EUC e AAP,
21 com incrementos de 176.8%, 176.8% e 11.8%, respectivamente (p<0.05). Além disso a
22 inoculação contribuiu para maior peso individual de perfilhos e melhor desempenho
23 fisiológico, indicando maior capacidade de aproveitamento de recursos em ambientes
24 com limitação hídrica. Conclui-se que *A. brasilense* potencializa a resposta do capim-
25 buffel à adubação nitrogenada em sistema diferido, elevando a produtividade e a
26 eficiência de uso de recursos no semiárido, como estratégia para intensificação
27 sustentável de pastagens.

28
29 **Palavras-chave:** adubação; bioinsumos; inoculação; semiárido.

30
31
32

33

34 ***Azospirillum brasilense* improves nitrogen and water use efficiency of buffelgrass**
35 **managed under deferment**

36

37 **ABSTRACT:** The irregular rainfall distribution and prolonged drought periods in the
38 Brazilian semiarid region limit forage availability and quality, requiring strategies to
39 improve pasture productive efficiency. The selection of better-adapted forage
40 materials, strategic nitrogen fertilization and the use of bioinputs have emerged as
41 promising resilient approaches. This study aimed to evaluate whether inoculation with
42 *Azospirillum brasilense* enhances nitrogen response and water-use efficiency of buffel
43 grass (*Cenchrus ciliaris* L.) under deferred grazing conditions in the semiarid region. A
44 randomized complete block design was adopted with five treatments: T1 (control;
45 without nitrogen fertilization and without microbial inoculation), T2 (25 kg N ha⁻¹), T3
46 (25 kg N ha⁻¹ + *A. brasilense*), T4 (50 kg N ha⁻¹), and T5 (50 kg N ha⁻¹ + *A. brasilense*),
47 with four replications, totaling 20 experimental plots of 20 m² each (5 × 4 m). The
48 experiment was conducted during 2023 and 2024 in Northern Minas Gerais, Brazil. The
49 results obtained in 2023 showed that the 50NA treatment promoted increases in total
50 dry matter yield (TDMY) and water-use efficiency (WUE), with gains of 43.84% for both
51 variables compared with the control treatment. In 2024, the treatment with 50 kg N
52 ha⁻¹ associated with inoculation showed higher values than the control for TDMY,
53 WUE, and plant height, with increments of 176.8%, 176.8%, and 11.8%, respectively (p
54 < 0.05). In addition, the inoculation contributed to greater individual tiller weight and
55 improved physiological performance, indicating greater resource-use efficiency under
56 water-limited conditions. It was concluded that *A. brasilense* enhances the response of
57 buffel grass to nitrogen fertilization under deferred pasture systems, increasing
58 productivity and resource-use efficiency in semiarid environments, representing a
59 promising strategy for sustainable pasture intensification.

60

61

62 **Keywords:** bioinputs; fertilization; inoculation; semiarid.

63

64

65 **Introdução**

66 A produção pecuária no semiárido brasileiro é fortemente influenciada pela
67 irregularidade pluviométrica, longos períodos de estiagem e variações na distribuição e
68 no volume de chuvas entre os anos, fatores que limitam a disponibilidade e a
69 qualidade da forragem ao longo do ano. Nesse contexto, o uso de espécies forrageiras
70 adaptadas ao estresse hídrico constitui estratégia essencial para a sustentabilidade dos
71 sistemas produtivos. O capim-buffel (*Cenchrus ciliaris* cv. Áridus) destaca-se por sua
72 rusticidade, elevada tolerância à seca, persistência sob baixa fertilidade do solo e
73 capacidade de manter produção satisfatória em ambientes com precipitação irregular
74 (Ghorbel et al., 2025; Ameer et al., 2023).

75 Entre as estratégias de manejo para reduzir a sazonalidade da produção forrageira, o
76 diferimento de pastagens assume papel relevante. Essa prática consiste na exclusão
77 temporária do pastejo ao final da estação chuvosa, permitindo o acúmulo de biomassa
78 para utilização no período seco (Sbrissia et al., 2018; Silva et al., 2025). A ausência de
79 desfolhação favorece o acúmulo de matéria seca, o desenvolvimento radicular e a
80 recomposição das reservas da planta, além de contribuir para melhorias na estrutura
81 do solo e maior estabilidade do ecossistema pastoril (Caedo et al., 2020; Koka et al.,
82 2024). Contudo, sua eficiência depende da espécie forrageira, das condições
83 ambientais e do manejo nutricional adotado.

84 A adubação nitrogenada estratégica ao final da estação chuvosa é recomendada para
85 potencializar o acúmulo de forragem durante o diferimento (Santos et al., 2017). O
86 nitrogênio é essencial ao crescimento de gramíneas tropicais por atuar na síntese de
87 proteínas, enzimas fotossintéticas e clorofila, promovendo maior expansão foliar e
88 acúmulo de biomassa (Farhan et al., 2024). Entretanto, em ambientes semiáridos,
89 perdas por volatilização da ureia e limitações hídricas podem reduzir a eficiência da
90 adubação nitrogenada (Motasim et al., 2024).

91 Nesse cenário, inoculantes microbiológicos como *Azospirillum brasilense* surgem como
92 alternativa complementar para aumentar a eficiência do uso do nitrogênio e da água.
93 Bactérias desse gênero atuam como promotoras de crescimento vegetal, realizando

94 fixação associativa de nitrogênio, produção de fitormônios e estímulo ao
95 desenvolvimento radicular, melhorando a absorção de água e nutrientes (Bashan et
96 al., 2014). Resultados positivos foram observados em culturas agrícolas e forrageiras,
97 com incrementos produtivos e maior eficiência fisiológica (Hungria et al., 2021;
98 Barbosa et al., 2022; Costa et al., 2021).

99 Além de aumentar a produtividade, a inoculação com *A. brasilense* pode ampliar a
100 tolerância ao déficit hídrico, favorecendo o crescimento em condições adversas (Porto
101 et al., 2022). Em pastagens diferidas, nas quais o acúmulo de forragem coincide com a
102 redução da disponibilidade hídrica, essa associação pode otimizar o aproveitamento
103 do nitrogênio aplicado e reduzir a dependência de fertilizantes minerais (Guimarães et
104 al., 2023).

105 Apesar dos avanços, ainda são escassas as informações sobre os efeitos de *A.*
106 *brasilense* em pastagens diferidas no semiárido brasileiro, especialmente em capim-
107 buffel, onde déficit hídrico, baixa fertilidade do solo e perdas de nitrogênio por
108 volatilização limitam a produção. Diante disso, objetivou-se avaliar se a inoculação com
109 *A. brasilense* potencializa a resposta do capim-buffel diferido à adubação nitrogenada,
110 promovendo incremento na produtividade, na eficiência do uso do nitrogênio e da
111 água e nas características morfofisiológicas da planta em condições semiáridas.

112 **Materiais e métodos**

113 ***Descrição da área experimental e caracterização do solo***

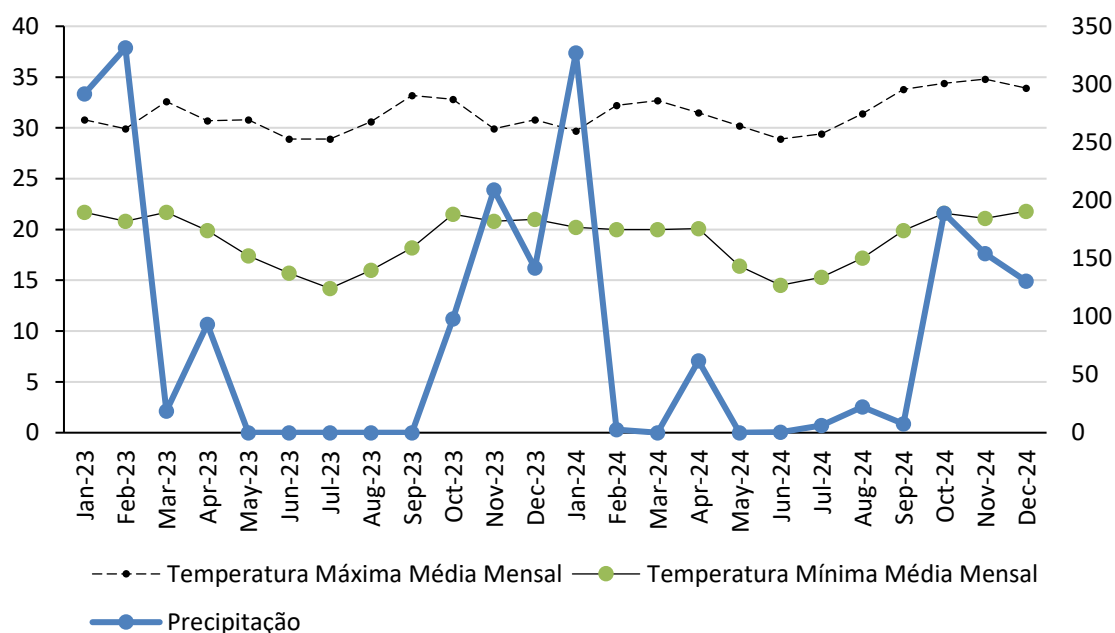
114 O estudo foi realizado no Campo Experimental de Montes Claros (CEMC), pertencente
115 à Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), situado a 648 m de
116 altitude, nas coordenadas 16º 44' latitude Sul e 43º 51' longitude Oeste, com
117 temperatura média anual de 22,6 °C e precipitação média anual de 1085 mm, durante
118 o período de fevereiro de 2023 a junho de 2024.

119 A região possui clima tropical subúmido e megatérmico (Aw), com verão chuvoso e
120 inverno com período seco prolongado (Alvares et al., 2013). O estudo foi conduzido em
121 área previamente implantada (2016) de capim-buffel e os dados da temperatura e

122 precipitação foram registrados durante o período de 2023 e 2024 (**Figura 1**).

123 Para a caracterização química do solo, foram coletadas 20 amostras simples na camada
124 de 0 a 20 cm de profundidade, constituindo uma amostra composta, analisada no
125 Laboratório de Fertilidade da EPAMIG em Nova Porteirinha, MG. Os dados obtidos na
126 Análise de Solo, foram: pH em água (6,2), matéria orgânica (2,7 dag/kg), P (3,8
127 mg/dm³), K (474 mg/dm³), Na (0,1 cmolc/dm³), Ca (1,6 cmolc/dm³), Mg (0,7
128 cmolc/dm³), Al⁴ (0,0 cmolc/dm³), H+Al⁵ (2,1 cmolc/dm³), SB (2,4 cmolc/dm³), t CTC
129 efetiva (2,4cmolc/dm³), T CTC a pH 7.0 (4,5 cmolc/dm³),V% saturação por bases (53%) e
130 saturação por alumínio (0%). Os teores de micronutrientes foram: B (0,25 mg/dm³), Cu
131 (1,5 mg/dm³), Fe (137,6 mg/dm³), Mn (41,6 mg/dm³) e Zn (2,0 mg/dm³). Além disso, o
132 solo apresentou S (7,9 mg/dm³) e fósforo remanescente (35,3 mg/L).

133 Em função do resultado da análise do solo, foi realizada a aplicação de 20 kg de P₂O₅
134 ha⁻¹, conforme recomendação da Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas
135 Gerais (Cantarutti et al., 1999), durante o período chuvoso nos dois anos de avaliação.



136

137 **Figura 1** – Precipitação mensal média e temperaturas máxima e mínima durante os
138 anos de 2023 e 2024 (INMET, 2023 e 2024).

139

140 ***Delineamento experimental***

141 O experimento foi conduzido em delineamento de blocos casualizados com cinco
142 tratamentos, correspondendo a associações entre doses de nitrogênio e inoculação
143 com *A. brasilense*, sendo: T1 (controle; sem adubação nitrogenada e sem inoculação
144 microbiológica), T2 (25 kg de N ha⁻¹), T3 (25 kg de N ha⁻¹ + *A. brasilense*), T4 (50 kg de
145 N ha⁻¹) e T5 (50 kg de N ha⁻¹ + *A. brasilense*), e quatro repetições, totalizando 20
146 parcelas experimentais de 20 m² cada (5 x 4 m).

147 No manejo da área antes do período de diferimento foram realizados cortes com uso
148 de roçadeira manual, respeitando a altura de manejo recomendada para a espécie, de
149 50 cm (pré-desfolhação) e um resíduo de 20 cm. O corte de uniformização foi
150 realizado, nos dois anos avaliados, no final período chuvoso, nos dias 20 de
151 fevereiro/2023 e 21 de fevereiro/2024.

152 Este corte foi realizado à 20 cm de altura do solo e no mesmo dia foram realizadas as
153 aplicações das doses de N, que teve como fonte a uréia (44% de N) e a inoculações
154 microbiológicas foram realizadas nos dias 20 de março (2023) e 11 de março (2024),
155 quando as condições ambientais estavam favoráveis.

156 A inoculação da bactéria *A. brasilense* no capim-buffel foi realizada ao final do dia, com
157 solo úmido, seguindo a recomendação de dose do produto comercial Azokop® de 300
158 ml/ha⁻¹ (garantia de 2x10⁸ UFC/ml das estirpes AbV5 e AbV6), com bomba costal de 5
159 litros. A adubação de manutenção com fósforo, as doses estudadas de nitrogênio bem
160 como a inoculação com a bactéria *A. Brasilense* foram repeditas no segundo ano de
161 avaliação, respeitando a mesma época e condições adequadas de aplicação. O
162 monitoramento de pragas foi realizado durante todo período experimento e as áreas
163 mantidas em sistema de sequeiro, sem uso de irrigação.

164 ***Parâmetros avaliados***

165 Após o início do período de diferimento foram realizados amostragens da forragem
166 por meio de cortes na altura de manejo (a 20 cm de altura do solo), a cada 30 dias, a
167 fim de avaliar o acúmulo de forragem ao longo do período experimental. Ao final do

168 período avaliativo foi realizado o corte para determinação da produção de biomassa
169 final, também a 20 cm de altura do solo. As coletas de forragem foram feitas com o
170 auxílio de um quadrado de amostragem com área de 0,25 m² (50 x 50 cm),
171 arremessado uma vez de forma aleatória em cada parcela.

172 As amostras colhidas foram acondicionadas em sacos plásticos e no laboratório foram
173 pesadas, em seguida homogeneizadas e acondicionadas em saco de papel, pesados e
174 secos em estufa de circulação forçada de ar a 60°C, por 72 horas, para determinação
175 da produção de massa seca (PMS) e taxa de acúmulo de forragem (TAF). Para
176 determinação da TAF foi considerado a média das taxas de acúmulo dos meses de
177 abril, maio e junho. Sendo esse valor determinado pela razão entre PMS de cada coleta
178 e o tempo (dias) de crescimento do pasto desde da data do corte de uniformização.

179 Após o período total de diferimento, em junho de cada ano, foi realizada as avaliações
180 de altura média do pasto por meio de dez medidas por parcela, utilizando-se uma
181 régua com divisões de 1 cm, com a qual foram realizadas medições de altura do pasto
182 sem compressão da forragem, onde era considerado como limite superior a altura da
183 curvatura das folhas em torno da régua, e a média desses pontos representou a altura
184 média do dossel.

185 Após a verificação da altura do pasto, utilizou-se um quadro de amostragem de 0,25 x
186 0,25m (0,0625 m²), disposto em um único ponto representativo da altura média da
187 parcela, onde foi efetuado a contagem das categorias de perfilhos/m², os quais foram
188 separados e quantificados em perfilhos vegetativos, reprodutivos (apresentavam
189 inflorescência visível) e aqueles com colmo totalmente necrosado foram classificados
190 como mortos.

191 Após avaliação do perfilhamento, foi utilizado um quadro de amostragem de 0,25 m²
192 (0,5 x 0,5 m) disposto em um ponto representativo da altura média da parcela, e todo
193 o material vegetal contido na área delimitada pelo quadro de amostragem foi coletado
194 à altura de 20 cm do solo. A forragem amostrada foi pesada e subdividida em duas
195 subamostras: uma para a separação dos componentes morfológicos da planta (lâmina
196 foliar verde, pseudocolmo e material morto) e a outra para a determinação da

197 produção de massa seca total (PMST).

198 As subamostras foram acondicionadas em sacos de papel, pesadas e levadas à estufa
199 de ar forçado a 65º C até peso constante. Os valores de massa de forragem foram
200 convertidos para kg MS/ha e a composição morfológica do pasto foi expressa por meio
201 da proporção (%) de massa da lâmina foliar, pseudocolmo (colmo + bainha) e material
202 morto, em relação à massa seca total da forragem de cada amostra.

203 A eficiência de uso da chuva (EUC) para a PMST, dada em $\text{kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$, foi estimada
204 pela divisão da PMST pela quantidade de chuva acumulada durante cada ciclo do
205 diferimento (66 mm em 2023 e 111 mm em 2024). O acúmulo de água pelas plantas
206 (AAP), em $\text{kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$ foi estimado pela diferença entre a produção de massa verde
207 (PMV) e PMS, posteriormente, dividida pelo total de chuvas em mm, como descrito
208 por Perazzo et al. (2013).

209 Para o cálculo da eficiência de utilização do nitrogênio (EUN, em kg PMS kg^{-1} de N),
210 subtraiu-se a PMST obtida no tratamento controle (Zero N) dos resultados obtidos nos
211 tratamentos 25 e 50 kg ha^{-1} de N, assim como suas associações com a bactéria *A.*
212 *brasiliense* e dividiu-se pela quantidade de N aplicada em cada dose. Os resultados de
213 eficiência do uso de nitrogênio foram interpretados de forma descritiva.

214 **Análises estatísticas**

215 Os dados obtidos em cada ciclo de corte foram submetidos à análise de variância
216 (ANOVA) utilizando o programa Sisvar (Ferreira, 2011). A análise considerou um
217 modelo contendo como efeitos fixos as estratégias de adubação (tratamentos) e, como
218 efeito aleatório, o bloco.

219 Foi utilizado o seguinte modelo estatístico:

$$220 Y_{ij} = \mu + B_j + T_i + E_{ij}$$

221 Onde: Y_{ij} = Valor observado da variável resposta;

222 μ = média geral

223 B_j = efeito do j -ésimo bloco ($j = 1, 2, 3, 4$)

224 T_i = efeito do i -ésimo tratamento ($i=1\dots,5$)

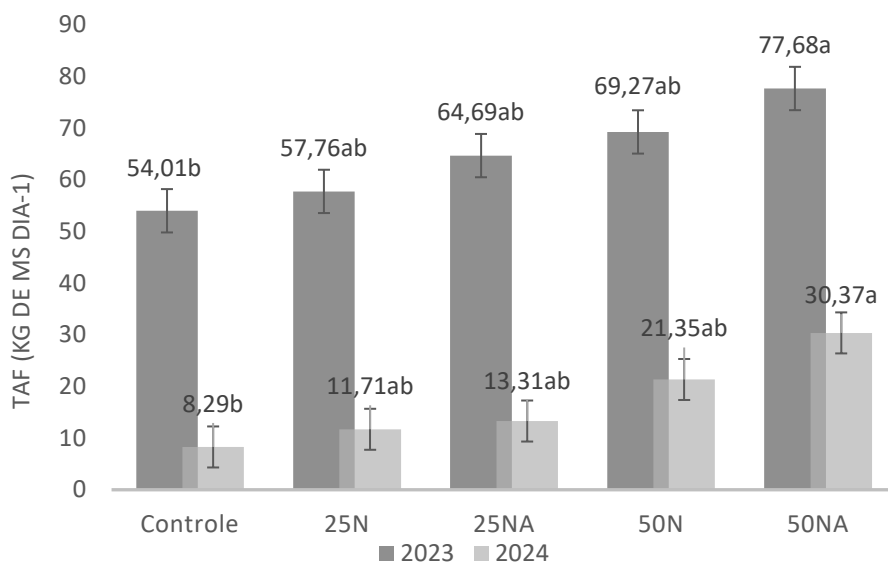
225 E_{ij} = erro aleatório;

226 Quando significativas pelo teste de F, as médias das variáveis dependentes foram
227 analisadas pelo Teste de Tukey. Para todos os procedimentos estatísticos, $\alpha = 0.05$ foi
228 utilizado como limite máximo tolerável para erro do tipo I.

229 Para análise exploratória dos dados, foi utilizada a análise multivariada por meio da
230 análise de componentes principais (ACP) e Cluster com uso do software PAST® 4,03
231 (Hammer et al., 2001).

232 **Resultados**

233 A taxa de acúmulo de forragem foi maior sob os tratamentos nitrogenados,
234 especialmente 50NA, superior ao controle em ambos os anos (**Figura 1**). Em 2023 e
235 2024, a inoculação com *Azospirillum brasilense* associada à adubação nitrogenada
236 promoveu incremento significativo na taxa de acúmulo de forragem, sugerindo efeito
237 complementar ao N mineral. O tratamento com 50 kg N ha⁻¹ + inoculação apresentou
238 aumento de 43,8% (2023) e 266% (2024) em relação ao controle. Esse resultado pode
239 estar associado a maior eficiência de uso do nitrogênio sob condições de menor
240 disponibilidade hídrica, possivelmente mediada por alterações na arquitetura radicular
241 e maior capacidade de absorção.



242

243 **Figura 1** – Taxa de acúmulo de forragem do capim-buffel sob diferentes associações
 244 entre adubação nitrogenada e inoculação microbiológica, durante o
 245 período de diferimento em dois anos de avaliação (2023 e 2024) no
 246 semiárido mineiro. *Médias seguidas por mesma letras minúsculas
 247 iguais, em cada ano, não diferem entre si ($P > 0.05$) pelo teste de Tukey.
 248 Obs: N = kg de nitrogênio ha⁻¹ e A = *Azospirillum brasilense*.

249 As diferentes estratégias de adubação nitrogenada influenciaram a altura de plantas e
 250 composição morfológica do capim-buffel (**Tabela 1**). No ano de 2023 foi observado
 251 diferenças significativas ($p < 0,05$) entre as estratégias de adubação nitrogenada sobre a
 252 altura de plantas, com o tratamento de 50NA apresentando aumento de 29,85% em
 253 relação ao controle. Enquanto em 2024 a diferença na altura das plantas, entre os
 254 mesmos tratamentos foi de aproximadamente 42,52%, entre o tratamento de 50NA e
 255 o controle.

256 Quanto à composição morfológica, o capim-buffel não apresentou diferenças
 257 significativas entre as estratégias de adubação no ano de 2024, diferentemente do ano
 258 anterior que a porcentagem de folhas apresentada pelo tratamento de 25N (26,05%)
 259 foi superior ($p < 0,05$) aos demais tratamentos, com 17,98% mais folhas que controle
 260 (22,08%). A maior relação F/C foi encontrada no tratamento de 25N (0,54),
 261 apresentando aumento de 25,6% em comparação ao controle (0,43) e não houve

262 diferença estatística ($P>0,05$) entre os tratamentos para a variável pseudocolmo
 263 (Tabela 1).

264 **Tabela 1** – Altura de plantas (cm) e composição morfológica (%) do capim-buffel sob
 265 diferentes associações entre adubação nitrogenada e inoculação
 266 microbiológica, durante o período de diferimento em dois anos de
 267 avaliação (2023 e 2024) no semiárido mineiro.

Variáveis	Tratamentos					CV (%)
	Controle	25N	25NA	50N	50NA	
	Diferimento em 2023					
Altura de plantas	37,35b	37,65b	41,45ab	44,45ab	48,50a	10,13
Folha	22,08b	26,05a	20,69b	22,75b	22,73b	4,83
Pseudocolmo	50,78a	48,22a	49,48a	45,59a	49,32a	5,82
Material morto	27,14ab	25,72b	29,83ab	31,66a	27,69ab	7,42
Relação F/C	0,43bc	0,54a	0,41c	0,50ab	0,46bc	7,13
	Diferimento em 2024					
Altura de plantas	44,99b	54,89ab	57,83ab	53,12ab	64,12a	14,13
Folha	30,75a	33,78a	23,43a	26,59a	32,11a	22,08
Pseudocolmo	49,03a	45,35a	50,40a	52,08a	46,29a	28,13
Material morto	20,21a	20,84a	26,16a	21,32a	21,58a	58,69
Relação F/C	0,89a	0,44a	0,65a	0,97a	0,47a	50,97

268 Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem entre si ($P>0,05$) pelo
 269 teste de Tukey. cv: coeficiente de variação. Obs: N = kg de nitrogênio ha^{-1} e A =
 270 *Azospirillum brasilense*.

271 Ao final do período de diferimento em 2023, os tratamentos controle e 50 kg N ha^{-1}
 272 apresentaram maior densidade de perfilhos vegetativos (444 e 472 perfilhos m^{-2} ,
 273 respectivamente; ($p<0,05$). Para perfilhos reprodutivos, o tratamento 25 kg N ha^{-1} +
 274 inoculação apresentou 224 perfilhos m^{-2} , representando incremento de 124% em
 275 relação ao respectivo controle (100 perfilhos m^{-2} ; $p<0,05$).

276 O tratamento 25 kg N ha^{-1} apresentou maior densidade de perfilhos mortos (304
 277 perfilhos m^{-2}), sendo 65,2% superior ao controle (184 perfilhos m^{-2} ; $p<0,05$), o que
 278 pode indicar que a adubação nitrogenada permite uma taxa de desenvolvimento mais
 279 acelerado, levando a atingir o final do ciclo mais rápido em comparação ao controle.
 280 Não foram observadas diferenças para o total de perfilhos vivos ($p>0,05$).

281 O peso individual de perfilhos foi superior no tratamento 50 kg N ha^{-1} + inoculação
 282 (1.83 g), com incremento de 50% em relação ao controle (1,22 g; $p<0,05$), sugerindo

283 maior investimento em crescimento estrutural sob combinação de N mineral e
284 inoculação.

285 Os resultados do ano de 2024 (**Tabela 2**) demonstraram que o tratamento 50NA (6,73)
286 foi 155,8% superior ao controle (2,63g) para o peso de perfilhos ($p < 0,05$), mas não
287 diferiram entre si para as demais variáveis de perfilhamento ($p > 0,05$).

288 Em 2024, o tratamento 50 kg N ha⁻¹ + inoculação apresentou maior peso individual de
289 perfilhos (6,73 g), representando incremento de 155,8% em relação ao controle (2,63
290 g; $p < 0,05$). Não foram observadas diferenças entre tratamentos para as demais
291 variáveis de perfilhamento ($p > 0,05$).

292 **Tabela 2** – Densidade populacional (perfilhos.m⁻²) e peso de perfilhos (g) do capim-
293 buffel sob diferentes associações entre adubação nitrogenada e
294 inoculação microbiológica, durante o período de diferimento em dois
295 anos de avaliação (2023 e 2024) no semiárido mineiro.

296

Variáveis	Tratamentos					CV (%)
	Controle	25N	25NA	50N	50NA	
	Diferimento em 2023					
Perfilhos vegetativos (PERFve)	444a	372ab	316b	472a	376ab	13,69
Perfilhos reprodutivos (PERFr)	100c	184ab	224a	188ab	132bc	15,95
Perfilhos mortos (PERFm)	184bc	304a	216b	140c	196bc	16,18
Perfilhos vivos (PERFv)	544a	540a	540a	660a	508a	11,61
Peso de perfilho (PPERF)	1,22b	1,27b	1,44ab	1,26b	1,83a	17,71
	Diferimento em 2024					
Perfilhos vegetativos (PERFve)	92a	63a	86a	96a	79a	30,72
Perfilhos reprodutivos (PERFr)	17a	22a	26a	34a	28a	65,03
Perfilhos mortos (PERFm)	19a	8a	17a	16a	27a	50,45
Perfilhos vivos (PERFv)	109a	85a	112a	130a	107a	32,21
Peso de perfilho (PPERF)	2,63b	4,96ab	3,93ab	4,32ab	6,73a	28,64

297 Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem entre si ($P > 0,05$) pelo
298 teste de Tukey. cv: coeficiente de variação. Obs: N = kg de nitrogênio ha⁻¹ e A =
299 *Azospirillum brasilense*.

300 As produções de biomassa ao final do diferimento e a eficiência hídrica foram afetadas
301 de forma marcante pelas estratégias de adubação nitrogenada e inoculação
302 microbiológica. Isso demonstra que plantas bem nutridas estão mais preparadas para
303 enfrentar a restrição hídrica comum em períodos de diferimento.

304 As estratégias de adubação nitrogenada influenciaram positivamente a produção de
 305 biomassa e eficiência hídrica em ambos os anos avaliados. Em 2023, o tratamento de
 306 50NA apresentou superioridade para as variáveis PMST e EUC, obtendo um aumento
 307 de 43,84% para ambas as variáveis em relação ao controle. As demais estratégias de
 308 adubação nitrogenada não se diferenciaram entre si, demonstrando que a inoculação
 309 com *A. brasilense* associada a maior dose de N melhorou a eficiência de
 310 aproveitamento de recursos do meio, o que é importante principalmente em época de
 311 restrição do crescimento vegetal nesta região.

312 O acúmulo de água foi superior nas plantas submetidas à dose de 50 kg N ha⁻¹,
 313 independentemente da inoculação (p<0,5), indicando que maior suprimento
 314 nitrogenado favoreceu a manutenção do conteúdo hídrico da forrageira sob condições
 315 de restrição hídrica.

316 Em 2024, o tratamento 50 kg N ha⁻¹ + inoculação apresentou valores superiores ao
 317 controle para PMST, EUC e AAP, com incrementos de 176,8%, 176,8% e 11,8%,
 318 respectivamente (p<0,05). Esses resultados sugerem melhoria na eficiência de
 319 produção de biomassa associada ao uso da água, possivelmente relacionada a maior
 320 capacidade de absorção e aproveitamento de recursos sob condições semiáridas
 321 (Tabela 3).

322 **Tabela 3** – Características produtivas e de eficiência hídrica do capim-buffel sob
 323 diferentes associações entre adubação nitrogenada e inoculação
 324 microbiológica, durante o período de diferimento em dois anos de
 325 avaliação (2023 e 2024) no semiárido mineiro.

Variáveis	Tratamentos					CV (%)
	Controle	25N	25NA	50N	50NA	
Diferimento em 2023						
PMST (kg.ha ⁻¹)	6480,46b	6931,72ab	7763,00ab	8312,25ab	9321,94a	16,04
EUC (kg.ha.mm ⁻¹)	107,65b	115,15ab	128,95ab	138,08ab	154,85a	16,04
AAP (kg.ha ⁻¹ mm ⁻¹)	81,72cb	74,72c	92,26ab	98,63a	97,64a	5,78
Diferimento em 2024						
PMST (kg.ha ⁻¹)	2432,50c	4005,0bc	4300,0abc	5077,5ab	6732,5a	24,91
EUC (kg.ha.mm ⁻¹)	21,87b	36,02bc	38,64abc	45,64ab	60,54a	24,91
AAP (kg.ha ⁻¹ mm ⁻¹)	26,83d	36,45cd	51,54ab	41,61bc	57,62a	13,83

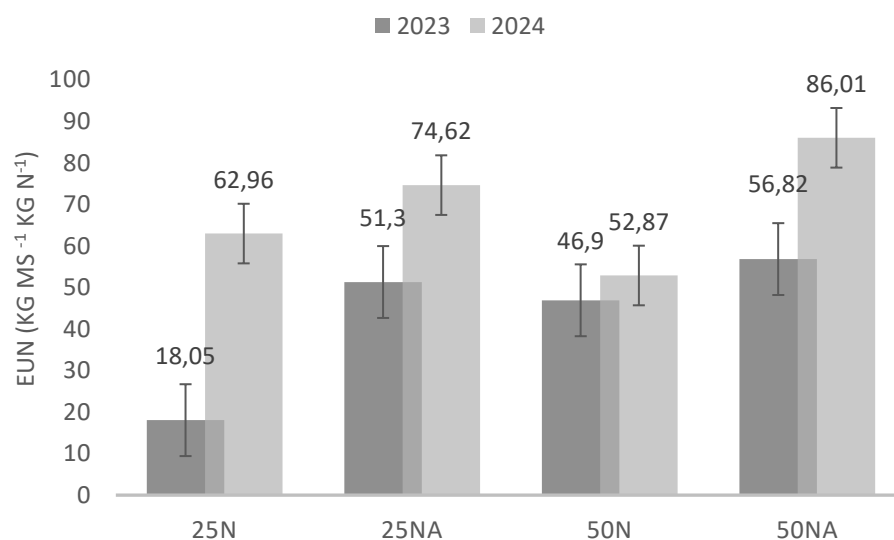
326 Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem entre si (P>0,05) pelo

327 teste de Tukey. cv: coeficiente de variação. Obs: N = kg de nitrogênio ha⁻¹ e A =
328 *Azospirillum brasilense*. PMST: Produção de massa seca total, EUC: eficiência do uso da
329 chuva, APP (Acúmulo de água na planta).

330 A eficiência de uso do nitrogênio foi superior no tratamento 50 kg N ha⁻¹ + inoculação
331 em ambos os anos (**Figura 2**). Em 2023, o incremento foi de 214,8% em relação ao
332 controle, enquanto em 2024 o aumento foi de 36.6% (p<0,05).

333 A magnitude distinta da resposta entre os anos sugere forte influência das condições
334 ambientais sobre a eficiência de aproveitamento do N. Em 2024, caracterizado por
335 menor restrição ao crescimento, o tratamento 25 kg N ha⁻¹ + inoculação também
336 apresentou expressivo aumento na EUN, aproximadamente três vezes superior ao
337 controle (p<0,05), indicando que a inoculação pode contribuir para maior eficiência
338 agrônômica do N sob disponibilidade moderada do nutriente (Figura 2).

339 **Figura 2** – Eficiência no uso do nitrogênio (EUN) do capim-buffel sob diferentes
340 associações entre adubação nitrogenada e inoculação microbiológica,
341 durante o período de diferimento em dois anos de avaliação (2023 e
342 2024) no semiárido mineiro. Obs: N = kg de nitrogênio ha⁻¹ e A =
343 *Azospirillum brasilense*.



344

345 A análise de componentes principais (ACP) evidenciou clara separação dos tratamentos

346 submetidos às diferentes estratégias de adubação nitrogenada e inoculação com *A.*
347 *brasiliense*, indicando padrões distintos de resposta produtiva e morfofisiológica do
348 capim-buffel sob diferimento no semiárido mineiro (**Figura 3**).

349 O primeiro componente principal (CP1) foi o que mais contribuiu para a variabilidade
350 dos dados, estando fortemente associado às variáveis produtivas e de eficiência, como
351 produção de forragem (PROD), acúmulo de biomassa aérea (AAP), taxa de acúmulo de
352 forragem (TAF), eficiência de uso da chuva (EUC), altura de plantas (ALT) e peso
353 individual de perfilhos (PPERF). Essas variáveis apresentaram vetores longos e
354 próximos entre si, indicando elevada correlação positiva. Os tratamentos posicionados
355 no quadrante positivo de CP1, especialmente 50NA e 25NA, mostraram forte
356 associação com esse conjunto de variáveis, evidenciando maior desempenho
357 produtivo quando a adubação nitrogenada foi associada à inoculação com *A.*
358 *brasiliense*.

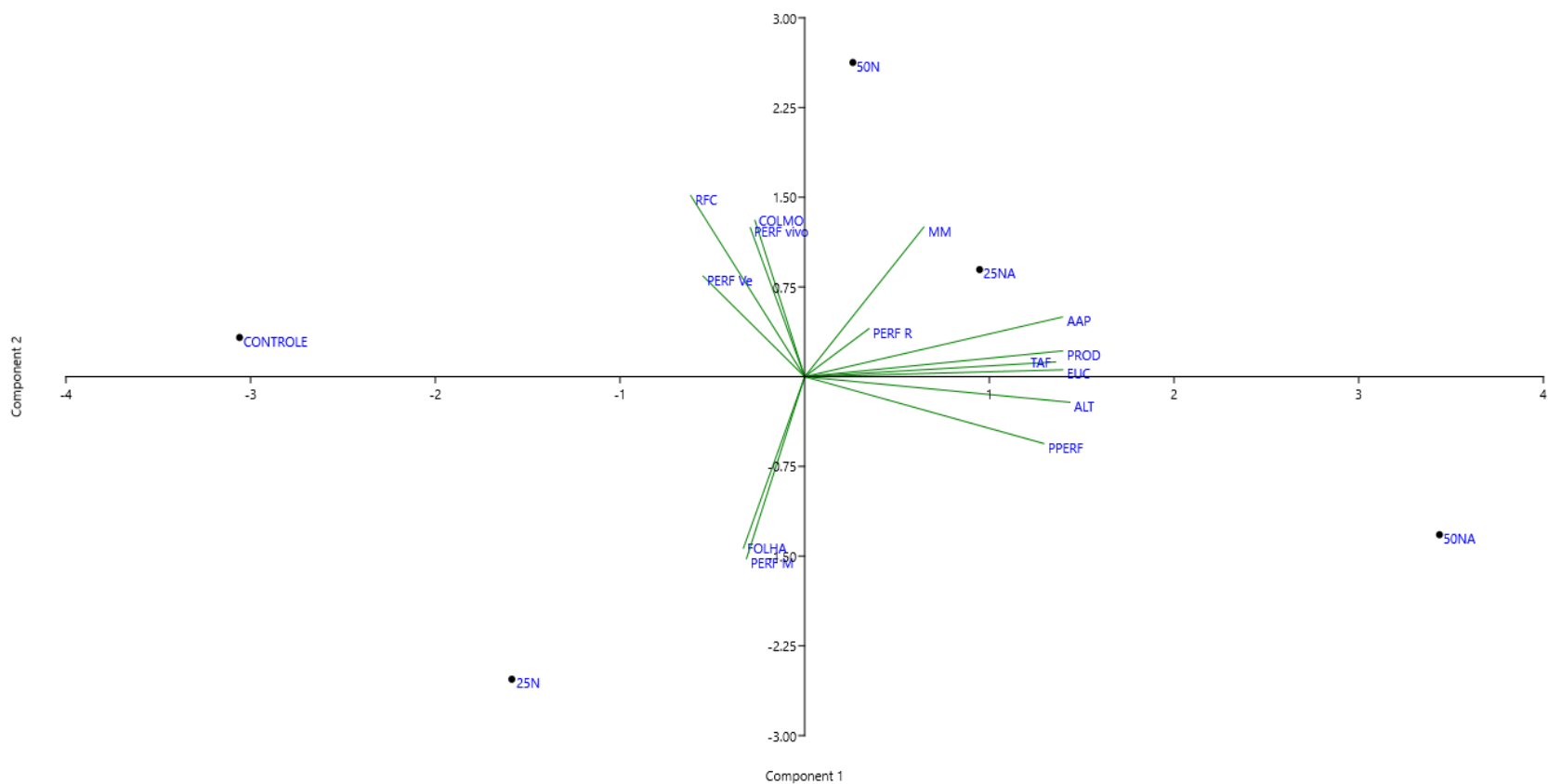
359 O tratamento 50NA destacou-se por apresentar maior proximidade com os vetores
360 relacionados à produtividade e eficiência, indicando superior resposta agrônômica sob
361 maior disponibilidade de nitrogênio associada à inoculação. O tratamento 25NA
362 também se posicionou no quadrante positivo de CP1, porém com maior influência do
363 CP2, sugerindo resposta intermediária, com contribuição tanto de variáveis produtivas
364 quanto estruturais.

365 O segundo componente principal (CP2) esteve mais relacionado às variáveis estruturais
366 da planta, como pseudocolmo (COLMO), relação folha/colmo e variáveis associadas
367 aos aspectos morfológicos. O tratamento 50N (sem inoculação) apresentou maior
368 associação com essas características, indicando que a adubação nitrogenada isolada
369 promoveu alterações morfoestruturais, porém com menor impacto sobre as variáveis
370 diretamente relacionadas à eficiência produtiva.

371 Por outro lado, os tratamentos 25N e controle posicionaram-se no quadrante negativo
372 de CP1, distantes das variáveis produtivas, demonstrando menor desempenho
373 agrônômico. O controle apresentou o maior distanciamento do grupo associado à
374 produtividade, evidenciando a dependência do capim-buffel à adubação nitrogenada

375 em doses maiores e à inoculação para maximizar seu potencial produtivo em
376 condições de diferimento no semiárido.

377 De forma geral, a ACP demonstrou que a associação entre nitrogênio e *A. brasilense*
378 promoveu deslocamento dos tratamentos para a região de maior eficiência produtiva,
379 indicando efeito sinérgico entre fertilização nitrogenada e inoculação microbiológica,
380 especialmente na maior dose de nitrogênio.



381

382

Figura 3 - Representação esquemática do primeiro (CP1) e segundo (CP2) componentes principais da análise das características

383

avaliadas no capim-buffel submetidos ao diferimento e diferentes associações entre adubação nitrogenada e inoculação microbiológica

384

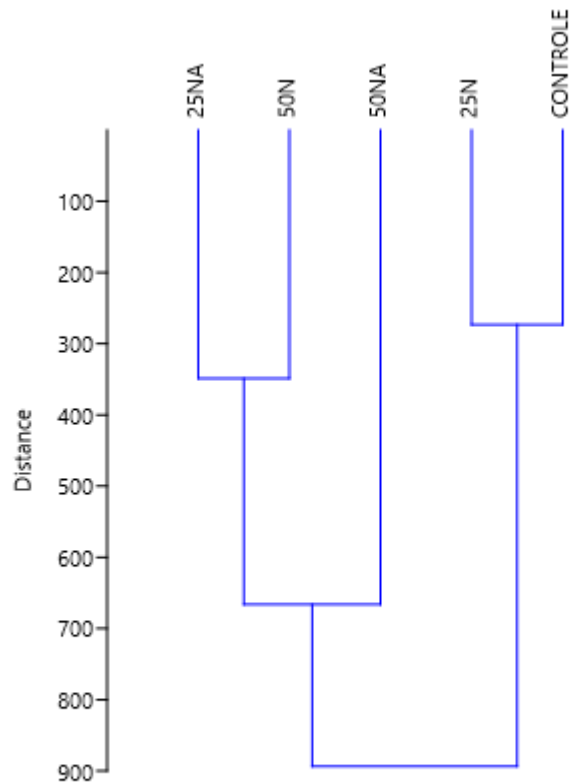
em dois anos de avaliação no semiárido mineiro. Obs: N = kg de nitrogênio ha⁻¹ e A = *Azospirillum brasilense*.

385 A análise de agrupamento hierárquico (Cluster) revelou a formação de grupos distintos
386 entre os tratamentos, evidenciando diferenças estruturais e produtivas decorrentes
387 das estratégias de adubação nitrogenada e inoculação com *A. brasilense* (**Figura 4**).

388 Observa-se inicialmente a formação de dois grandes grupos, definidos a partir de
389 maior distância euclidiana. O primeiro grupo foi composto pelos tratamentos 25NA,
390 50N e 50NA, enquanto o segundo agrupou 25N e Controle. Essa separação indica que
391 os tratamentos com maior aporte tecnológico (maior dose de nitrogênio e/ou
392 associação com inoculação) apresentaram comportamento mais semelhante entre si,
393 distinguindo-se dos tratamentos com menor disponibilidade de nitrogênio ou ausência
394 de inoculação.

395 Dentro do primeiro grupo, verifica-se maior similaridade entre 25NA e 50N, que se
396 agruparam em menor distância, sugerindo respostas agronômicas próximas entre a
397 inoculação associada à menor dose de N e a maior dose de N sem inoculação. O
398 tratamento 50NA, embora pertencente ao mesmo grupo, apresentou certa distinção,
399 indicando que a combinação da maior dose de N com inoculação promoveu resposta
400 diferenciada, possivelmente associada a maior desempenho produtivo e eficiência
401 fisiológica.

402 No segundo grupo, os tratamentos 25N e Controle apresentaram elevada similaridade,
403 agrupando-se a menores distâncias em comparação aos demais tratamentos. Esse
404 resultado evidencia que a menor dose de nitrogênio sem inoculação não foi suficiente
405 para promover alterações marcantes nas características avaliadas, aproximando-se do
406 comportamento do tratamento sem adubação.



407

408 **Figura 4** - Análise de Cluster das características avaliadas no capim-buffel submetidos
 409 ao diferimento e diferentes associações entre adubação nitrogenada e
 410 inoculação microbiológica em dois anos de avaliação no semiárido
 411 mineiro. Obs: N = kg de nitrogênio ha-1 e A = *Azospirillum brasilense*.

412 De maneira geral, a análise de Cluster confirma os resultados observados na ACP,
 413 reforçando que a associação entre adubação nitrogenada e inoculação microbiológica
 414 promove mudanças consistentes no padrão produtivo e morfofisiológico do capim-
 415 buffel sob diferimento, enquanto os tratamentos com menor aporte nutricional
 416 apresentam comportamento semelhante e inferior.

417 **Discussão**

418 A combinação entre adubação nitrogenada e inoculação com *A. brasilense* promoveu
 419 incrementos consistentes na produtividade e nas eficiências de uso da água e do
 420 nitrogênio do capim-buffel sob diferimento, indicando efeito complementar entre

421 fertilização mineral e bioinsumo. A magnitude das respostas variou entre os anos,
422 evidenciando dependência das condições ambientais.

423 Considerando a elevada variabilidade pluviométrica ao final do verão na região
424 semiárida, observou-se que fevereiro apresentou melhores condições para o início da
425 vedação do pasto. Esse padrão reforça a necessidade de ajuste da época de
426 diferimento em função da dinâmica hídrica regional, conforme destacado por Queiroz
427 et al. (2008), que ressaltam a importância do alinhamento entre estratégia de manejo
428 e regime de chuvas no semiárido.

429 Embora o ano de 2024 tenha apresentado precipitação acumulada 200 mm superior à
430 de 2023 (INMET, 2024), isso não se refletiu em maior rendimento produtivo, sendo
431 observadas menores taxas de crescimento e acúmulo de biomassa ao final do
432 diferimento. Esse resultado sugere que a distribuição temporal das chuvas, e não
433 apenas o volume total, pode ter sido determinante para o desempenho da forrageira.

434 Apesar da menor produtividade absoluta em 2024, o incremento relativo da taxa de
435 acúmulo de forragem no tratamento 50 kg N ha⁻¹ + inoculação foi de 266% em relação
436 ao controle, valor substancialmente superior ao observado em 2023 (43,8%). Esse
437 padrão indica maior responsividade relativa do tratamento sob condições mais
438 restritivas.

439 Adicionalmente, em 2024, o peso individual de perfilhos no tratamento 50 kg N ha⁻¹ +
440 inoculação (6,73 g) foi 155,8% superior ao controle (2,63 g; p<0,05), sem alterações
441 nas demais variáveis de perfilhamento. Esse comportamento sugere possível ajuste
442 morfogênico sob restrição ambiental, com menor densidade populacional e maior
443 investimento em massa individual dos perfilhos, especialmente quando associado à
444 maior disponibilidade de N.

445 O nitrogênio é reconhecido como o principal nutriente limitante da produção de
446 gramíneas tropicais, devido à sua função estrutural em proteínas, enzimas e clorofila,
447 além de atuar diretamente na expansão foliar e na taxa fotossintética (Taiz et al., 2017;
448 Marschner, 2012). Conseqüentemente, o aumento da produção de massa seca total
449 (PMST) e da taxa de acúmulo de forragem (TAF) nos tratamentos com 50 kg N ha⁻¹ era

450 esperado.

451 Entretanto, a superioridade do tratamento 50 kg N ha⁻¹ associado à inoculação (50NA)
452 sugere que a presença de *A. brasilense* aumentou a eficiência agrônômica do N
453 aplicado, promovendo respostas produtivas mais expressivas em ambos os anos
454 avaliados (**Figura 1** e **Tabela 3**).

455 O gênero *Azospirillum* é reconhecido por promover crescimento vegetal por múltiplos
456 mecanismos, incluindo produção de fitormônios (principalmente auxinas), maior
457 desenvolvimento radicular, incremento na absorção de água e nutrientes, e, conforme
458 descrito na literatura, fixação biológica associativa de N (Hungria et al., 2010; Bashan &
459 de-Bashan, 2010). Esses mecanismos ajudam a explicar o deslocamento do tratamento
460 50NA para a região de maior associação com as variáveis produtivas na ACP e sua
461 separação no agrupamento hierárquico (**Figura 3**).

462 A maior eficiência observada no uso do nitrogênio reforça a hipótese de que a
463 inoculação aumenta a assimilação do N aplicado, elevando o retorno produtivo por
464 unidade de nutriente, particularmente em épocas de maior risco climático, quando a
465 fonte nitrogenada utilizada (ureia) é reconhecidamente susceptível a perdas.

466 Os ganhos observados na eficiência de uso da chuva (EUC) e no acúmulo de água na
467 planta (AAP) indicam que a associação entre adubação nitrogenada e inoculação com
468 *A. brasilense* pode melhorar o desempenho do capim-buffel sob restrição hídrica. Em
469 ambientes semiáridos, a produtividade das gramíneas é fortemente condicionada à
470 disponibilidade e à eficiência de uso da água (Silva et al., 2013). O estímulo ao
471 crescimento radicular promovido por *A. brasilense*, relatado na literatura, pode
472 ampliar o volume de solo explorado e aumentar a absorção hídrica, resultando em
473 maior produção por unidade de precipitação (Bashan & de-Bashan, 2010).

474 Esse efeito é particularmente relevante em sistemas de diferimento, nos quais a
475 forragem permanece acumulada durante o período seco. Assim, a adubação de final
476 de ciclo ou pré-diferimento, especialmente quando associada ao bioinsumo, constitui
477 uma estratégia promissora para melhorar a adaptação de pastagens à ambientes com
478 restrição hídrica.

479 A superioridade do tratamento 50NA na altura de plantas em ambos os anos indica
480 maior vigor vegetativo, compatível com a maior disponibilidade de nitrogênio e com o
481 estímulo hormonal promovido pela bactéria. O nitrogênio favorece o alongamento
482 celular e o acúmulo de biomassa aérea (Marschner, 2012), enquanto a produção de
483 auxinas por *A. brasilense* pode intensificar esse processo (Hungria et al., 2021). No
484 entanto, as variáveis relacionadas à composição morfológica apresentaram respostas
485 menos consistentes entre anos, sugerindo que fatores ambientais exerceram
486 influência marcante sobre a estrutura do dossel.

487 A avaliação do perfilhamento indicou que o incremento produtivo ocorreu
488 predominantemente pelo aumento do peso individual dos perfilhos, e não pelo
489 aumento no número total de perfilhos vivos. Segundo Lemaire & Chapman (1996), o
490 perfilhamento e o crescimento individual são processos compensatórios em
491 gramíneas, de modo que aumentos na disponibilidade de recursos podem resultar em
492 maior tamanho de perfilhos em detrimento da densidade populacional. Esse padrão
493 sugere maior eficiência fisiológica das plantas sob maior aporte nutricional e
494 inoculação.

495 Os resultados observados em 2023 indicam que a aplicação da dose de 25 kg ha⁻¹ de N
496 foi suficiente para promover alterações estruturais no capim-buffel, refletidas no
497 aumento da porcentagem de folhas e da relação folha/colmo (**Tabela 1**). Esse
498 comportamento sugere que, sob as condições ambientais daquele ano, uma dose
499 moderada de nitrogênio foi capaz de estimular a expansão foliar e melhorar a
500 estrutura do dossel, favorecendo maior participação de tecidos potencialmente mais
501 nutritivos. Por outro lado, as doses superiores (50 kg ha⁻¹ de N), isoladas ou associadas
502 à inoculação, não proporcionaram incrementos adicionais nessas variáveis, o que pode
503 indicar resposta não linear da planta ao aumento da disponibilidade de nitrogênio ou
504 possível limitação por outro fator ambiental.

505 As diferenças entre os anos de avaliação reforçam a importância das condições
506 climáticas na expressão do potencial produtivo. A variabilidade interanual típica do
507 semiárido influencia diretamente o crescimento das gramíneas (Alvares et al., 2013),
508 podendo modificar a magnitude das respostas à adubação. Ainda assim, o tratamento

509 com inoculação manteve superioridade em ambos os anos, indicando maior
510 estabilidade produtiva, característica desejável em sistemas de produção sujeitos à
511 irregularidade pluviométrica.

512 A diferença de aproximadamente de 80% no número de perfilhos vivos entre os dois
513 anos (100 a 130 perfilhos.m⁻² em 2024 e 550 a 660 perfilhos.m⁻² em 2023) indicando
514 uma forte limitação ambiental, possivelmente associada a distribuição irregular da
515 precipitação e altas temperaturas registradas no final de 2023 que reduziram
516 drasticamente o numero de perfilhos vivos do ano seguinte, comprometendo os
517 resultados encontrados em 2024.

518 Embora durante o diferimento de 2024, a precipitação acumulada tenha sido maior
519 (255,8 mm) em comparação a 2023 (60,2 mm), a menor produtividade observada
520 indica que a distribuição intraestacional das chuvas exerceu efeito mais determinante
521 que o volume total acumulado. A ausência de precipitação nos meses finais do
522 diferimento (maio e junho de 2024) possivelmente comprometeu o acúmulo estrutural
523 da forragem, uma vez que déficits hídricos tardios tendem a limitar a expansão foliar,
524 intensificar a senescência e reduzir a sobrevivência de perfilhos (Hahn et al., 2021).

525 Mesmo com maior precipitação tenha sido registrada durante o período de
526 diferimento em 2024, isso não se traduziu em maior acúmulo de forragem ou
527 produção de biomassa. As condições climáticas que antecederam o diferimento
528 exerceram influência mais determinante sobre a produtividade do dossel. De acordo
529 com registros do INMET (2024), o acumulado de precipitação durante o período de pré
530 diferimento (novembro a fevereiro) atingiu 832,2 mm em 2022/23, enquanto apenas
531 544,2 mm foram registrados em 2023/24, além da ocorrência de um veranico de 14
532 dias em janeiro de 2024.

533 Esse déficit hídrico no início da estação de crescimento provavelmente comprometeu
534 o recrutamento e a sobrevivência de perfilhos, reduzindo a densidade populacional
535 antes do diferimento. Sob a perspectiva fisiológica, a menor disponibilidade hídrica
536 durante a principal fase de crescimento pode ter limitado a expansão foliar e o
537 desenvolvimento do dossel, reduzindo a interceptação de radiação e a assimilação de

538 carbono. Conseqüentemente, a limitação estrutural imposta antes do diferimento
539 restringiu o acúmulo de biomassa ao final desse período, evidenciando um efeito de
540 legado das condições climáticas pré-diferimento sobre a produtividade da pastagem.

541 Em ambientes semiáridos, a regularidade das precipitações ao longo do ciclo de
542 crescimento é mais relevante para a dinâmica populacional do que o total anual de
543 chuvas, podendo resultar em colapso populacional e ativação de mecanismos
544 compensatórios via aumento do peso individual dos perfilhos, sem, contudo,
545 promover incremento expressivo na biomassa total.

546 A análise multivariada confirmou os resultados univariados, evidenciando clara
547 separação entre tratamentos com maior aporte tecnológico e aqueles com menor
548 disponibilidade de nitrogênio. O agrupamento do tratamento 25N com o controle
549 indica que doses reduzidas de N, quando não associadas à inoculação, podem ser
550 insuficientes para alterar substancialmente o padrão produtivo do capim-buffel sob
551 diferimento. Por outro lado, a associação entre N e *A. brasilense* deslocou os
552 tratamentos para a região de maior eficiência produtiva e hídrica, evidenciando
553 potencial estratégico do uso combinado dessas tecnologias em sistemas forrageiros do
554 semiárido.

555 De forma geral, os resultados indicam que a inoculação com *A. brasilense* constitui
556 ferramenta promissora para aumentar a eficiência do uso do nitrogênio e da água em
557 gramíneas tropicais, podendo contribuir para maior sustentabilidade produtiva e
558 redução de custos com fertilizantes nitrogenados

559 **Conclusão**

560 A adubação nitrogenada promove melhorias significativas no desempenho produtivo e
561 estrutural do capim-buffel durante o período de diferimento no semiárido mineiro e a
562 associação com *A. brasilense* potencializando esses efeitos, evidenciando ação
563 sinérgica entre fertilização mineral e inoculante microbiológico.

564 O tratamento com 50 kg N ha⁻¹ associado à inoculação apresentou os maiores
565 incrementos na taxa de acúmulo de forragem, produção de massa seca total, eficiência

566 de uso da chuva, acúmulo de água na planta e eficiência de uso do nitrogênio, mesmo
567 sob condições climáticas mais restritivas. Além disso, a inoculação contribuiu para
568 maior peso individual de perfilhos e melhor desempenho fisiológico da planta,
569 indicando maior capacidade de aproveitamento de recursos em ambientes com
570 limitação hídrica.

571 Assim, a integração entre adubação nitrogenada estratégica e inoculação com *A.*
572 *brasiliense* representa alternativa viável para aumentar a produtividade, reduzir a
573 sazonalidade da oferta de forragem e promover maior sustentabilidade dos sistemas
574 pecuários no semiárido mineiro.

575 **Declaração de Disponibilidade de Dados**

576 Os dados que embasam este estudo serão compartilhados mediante solicitação
577 razoável ao autor correspondente.

578 **Agradecimentos**

579 Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais
580 (FAPEMIG); à Universidade Estadual de Montes Claros (Unimontes); ao Conselho
581 Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq); e ao Instituto Nacional
582 de Ciência e Tecnologia (INCT-Zootecnia) pelo auxílio com bolsas de estudo/pesquisa.

583 **Conflitos de interesse**

584 O autor declara não haver conflitos de interesse.

585 **Declaração de financiamento**

586 Este estudo foi financiado em parte pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal
587 de Nível Superior (CAPES) - Código de Financiamento 001.

588 **Financiamento**

589 Este trabalho foi apoiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível
590 Superior (CAPES) e teve suporte experimental fornecido pela Empresa de Pesquisa

591 Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), fundamental para o desempenho deste
592 trabalho.

593 **Referências**

594 ALVARES, C. A.; et al. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische*
595 *Zeitschrift*, v.22, n.6, p.711-728, 2013. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507.

596 AMEER, A.; et al. Aridity-driven changes in structural and physiological characteristics
597 of Buffel grass (*Cenchrus ciliaris* L.) from different ecozones of Punjab
598 Pakistan. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, v.29, n.8, p.1205-1224, 2023.
599 DOI: 10.1007/s12298-023-01351-3.

600 BARBOSA, J. Z.; et al. Meta-analysis of maize responses to *Azospirillum*
601 *brasiliense* inoculation in Brazil: benefits and lessons to improve inoculation
602 efficiency. *Applied Soil Ecology*, v.170, p.104276, 2022. DOI:
603 10.1016/j.apsoil.2021.104276.

604 BASHAN, Y.; et al. Advances in plant growth-promoting bacterial inoculant technology:
605 formulations and practical perspectives (1998-2013). *Plant and Soil*, v.378, p.1-33,
606 2014. DOI: 10.1007/s11104-013-1956-x.

607 CAEDO, C. A.; et al. Defoliation dynamics in tropical perennial grass pastures subjected
608 to grazing and nitrogen management. *Agronomy*, v.10, n.12, p.1939, 2020. DOI:
609 10.3390/agronomy10121939.

610 COSTA, A. S.; et al. *Azospirillum brasiliense* application in pre-sprouted seedlings (PSS)
611 of sugarcane. *Ensaio e Ciência: C Biológicas Agrárias e da Saúde*, v.25, n.3, p.295-301,
612 2021.

613 FARHAN, M.; et al. Metabolismo do nitrogênio em plantas: equilibrando a assimilação
614 e o transporte para otimizar o crescimento e a resiliência ao estresse abiótico. *Phyton*,
615 v.93, n.2, p.257-282, 2024. DOI: 10.32604/phyton.2024.046857.

616 GHORBEL, M.; et al. Mitigating water loss in arid lands: buffelgrass as a potential

617 replacement for alfalfa in livestock feed. *Agronomy*, v.15, n.2, p.371, 2025. DOI:
618 10.3390/agronomy15020371.

619 GUIMARÃES, Gabriel Silva *et al.* Inoculation with Plant Growth-Promoting Bacteria
620 Improves the Sustainability of Tropical Pastures with *Megathyrus maximus*.
621 *Agronomy*, v. 13, n. 3, p. 734, 28 fev. 2023.

622 GOMIDE, C. A. M.; PACIULLO, D. S. C.; ROCHA, W. S. D. Correção e adubação
623 estratégica para produção de forragem na época de seca. In: SANTOS, M. E. R.;

624 MATURSCELLO, J. A. *Todo ano tem seca, está preparado?*. 1.ed. São Paulo: Reino
625 Editorial Ltda., 2022. p.231-255.

626 HAHN, C.; et al. Timing of drought in the growing season and strong legacy effects
627 determine the annual productivity of temperate grasses in a changing
628 climate. *Biogeosciences*, v.18, p.585-604, 2021. DOI: 10.5194/bg-18-585-2021.

629 HUNGRIA, M.; et al. Inoculação com *Azospirillum brasilense* em gramíneas forrageiras:
630 avanços e perspectivas. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.50, e20210015, 2021. DOI:
631 10.1590/rbz5020210015.

632 HUNGRIA, M.; et al. Seed and leaf-spray inoculation of PGPR in brachiarias
633 (*Urochloa* spp.) as an economic and environmental opportunity to improve plant
634 growth, forage yield and nutrient status. *Plant and Soil*, v.463, p.171-186, 2021.

635 INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – (INMET). (2023 e 2024). Dados climáticos
636 coletados no período de realização do experimento. <https://www.inmet.gov.br/>

637 KOKA, E. G.; et al. Effects of deferred grazing regime on rangeland productivity and
638 health: a case study of Simanjiro District in Northern Tanzania. *Rangeland Ecology and*
639 *Management*, v.94, p.119-126, 2024. DOI: 10.1016/j.rama.2024.02.004.

640 MARSCHNER, H. *Mineral nutrition of higher plants*. 3.ed. London: Academic Press,
641 2012. 643p.

642 QUEIROZ, D. S.; et al. Diferimento de capim-buffel no Norte de Minas: produção,
643 composição química e degradabilidade *in situ*. *Boletim de Indústria Animal*, v.65, n.4,
644 p.313-322, 2008.

645 SANTOS, M. E. R.; et al. Estrutura do dossel e características de perfilhos em pastos
646 de *Urochloa ruziziensis* submetidos a estratégias de diferimento e adubação
647 nitrogenada. *Ciência Agrônômica*, v.48, n.3, p.452-461, 2017. DOI: 10.5935/1806-
648 6690.20170050.

649 SBRISSIA, A. F.; et al. Defoliation strategies in pastures submitted to intermittent
650 stocking method: underlying mechanisms buffering forage accumulation over a range
651 of grazing heights. *Crop Science*, v.58, n.2, p.945-954, 2018. DOI:
652 10.2135/cropsci2017.07.0447.

653 SILVA, A. M. S.; et al. Functional plant species traits that shape canopy light
654 interception and agronomic performance of perennial forage grasses cultivated in
655 monoculture and association. *Grass and Forage Science*, v.80, n.3, e12716, 2025. DOI:
656 10.1111/gfs.12716.

657 SILVA, J. G.; et al. The strategy of pasture lowering before stockpiling modifies the
658 efficiency of sheep grazing in winter. *Semina: Ciências Agrárias*, v.45, n.3, p.899-918,
659 2024. DOI: 10.5433/1679-0359.2024v45n3p899.

660 SILVA, T. G. F.; et al. Indicadores de eficiência do uso da água e de nutrientes em clones
661 de palma forrageira. *Bragantia*, v.73, n.2, p.167-177, 2014. DOI:
662 10.1590/brag.i73.2.167-177.

663 TAIZ, L.; et al. *Plant physiology and development*. 6.ed. Sunderland: Sinauer Associates,
664 2015. 888p.

665

666

667

668

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos reforçam o potencial do capim-buffel como forrageira estratégica para sistemas de diferimento no semiárido mineiro, especialmente quando manejada com adubação nitrogenada estratégica associada à inoculação com *A. brasilense*. A combinação de 50 kg N ha⁻¹ + inoculante demonstrou-se superior em produtividade, eficiência hídrica e uso de nitrogênio, promovendo maior estabilidade produtiva mesmo sob variabilidade climática interanual.

Para aplicação prática, recomenda-se a adoção dessa estratégia ao final da estação chuvosa, visando maximizar o acúmulo de biomassa para o período seco. Estudos futuros são imprescindíveis para avaliar respostas em solos mais pobres, interações com leguminosas consorciadas e os impactos do uso das técnicas no desempenho animal (ganho de peso vivo e qualidade da forragem), além de análises econômicas de custo-benefício a longo prazo para validar a escalabilidade em propriedades familiares do Norte de Minas Gerais.