

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a)
autor(a), o texto completo desta
dissertação será disponibilizado
somente a partir de 24/08/2027

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**POTENCIAL DE BACTÉRIAS PROMOTORAS DE
CRESCIMENTO DE PLANTAS EM REDUZIR A
FERTILIZAÇÃO NITROGENADA DE CAPIM MARANDU:
EFEITO NA PRODUÇÃO, QUALIDADE E GASES DE
EFEITO ESTUFA**

**Isadora Menezes Costa Tarôco
Zootecnista**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**POTENCIAL DE BACTÉRIAS PROMOTORAS DE
CRESCIMENTO DE PLANTAS EM REDUZIR A
FERTILIZAÇÃO NITROGENADA DE CAPIM MARANDU:
EFEITO NA PRODUÇÃO, QUALIDADE E GASES DE
EFEITO ESTUFA**

Discente: Isadora Menezes Costa Tarôco

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Andrade Reis

Coorientadora: Dra. Angélica Santos Rabelo de Souza Bahia

**Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp,
Câmpus de Jaboticabal, como parte das
exigências para a obtenção do título de
Mestre em Ciência Animal.**

T191p

Tarôco, Isadora Menezes Costa

Potencial de bactérias promotoras de crescimento de plantas em reduzir a fertilização nitrogenada de capim Marandu: efeito na produção, qualidade e gases de efeito estufa / Isadora Menezes Costa Tarôco. -- , 2026

72 p. : il., tabs.

**Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP),
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal,**

Orientador: Ricardo Andrade Reis

Coorientadora: Angélica Santos Rabelo de Souza Bahia

**1. Azospirillum. 2. Forragem. 3. Adubos e fertilizantes. 4. Óxido nitroso. 5.
Metano. I. Título.**

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: POTENCIAL DE BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO DE PLANTAS EM REDUZIR A FERTILIZAÇÃO NITROGENADA DE CAPIM MARANDU: EFEITO NA PRODUÇÃO, QUALIDADE E GASES DE EFEITO ESTUFA

AUTORA: ISADORA MENEZES COSTA TARÔCO

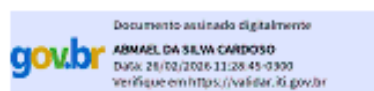
ORIENTADOR: RICARDO ANDRADE REIS

COORDINADORA: ANGÉLICA SANTOS RABELO DE SOUZA BAHIA

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em Ciência Animal, área: Nutrição Animal pela Comissão Examinadora:



Pós-doutoranda **ANGÉLICA SANTOS RABELO DE SOUZA BAHIA** (Participação Presencial)
Departamento de Zootecnia / UNESP / Câmpus de Jaboticabal - FCAV



Pós-Doutorando **ABMAEL DA SILVA CARDOSO** (Participação Virtual)
Departamento Plant and Agroecosystem Sciences / University of Wisconsin – Madison / Wisconsin / EUA



Pós-doutoranda **JULIANA DUARTE MESSANA** (Participação Presencial)
Departamento de Zootecnia / UNESP / Câmpus de Jaboticabal - FCAV

Jaboticabal, 24 de fevereiro de 2026.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Isadora Menezes Costa Tarôco – Nascida em 25 de agosto de 1999, na cidade de São João del-Rei (MG), filha de Márcio Eduardo da Costa Tarôco e Jaqueline Menezes Farias Tarôco. Em fevereiro de 2018 ingressou no curso de Zootecnia da Universidade Federal de São João del-Rei, Câmpus Tancredo Neves (MG). Dedicou-se à área de forragicultura e pastagem sob orientação da Profa. Dra. Janaina Azevedo Martuscello, com bolsa de Iniciação Científica aprovada pelo CNPQ nos anos de 2021 e de 2022. No período entre setembro e novembro de 2023, realizou seu estágio curricular na Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) Gado de Leite, na cidade de Coronel Pacheco (MG), sob supervisão do Dr. Carlos Augusto de Miranda Gomide. Em 5 de dezembro de 2023 defendeu seu Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), graduando-se em 20 de dezembro de 2023. Em março de 2024, ingressou no curso de Mestrado em Ciência Animal, na área de forragicultura e pastagens, na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista, Câmpus de Jaboticabal (SP) (UNESP/FCAV), sob orientação do Prof. Dr. Ricardo Andrade Reis e coorientação da Dra. Angélica Santos Rabelo de Souza Bahia, com bolsa de Mestrado aprovada pela FAPESP no ano de 2025. Em 17 de março de 2025 submeteu-se ao exame de qualificação de mestrado, sendo aprovada pela comissão examinadora.

EPÍGRAFE

Que nunca me falte coragem para continuar.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha família, pelo amor, apoio incondicional e incentivo em todos os momentos da minha vida, em especial aos meus pais, por nunca medirem esforços para que eu pudesse chegar até aqui.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por cada bênção em minha vida, por ter me dado forças e perseverança para superar mais esta etapa acadêmica, por estar presente nos pequenos detalhes e me acompanhar em cada passo da minha trajetória!

Aos meus pais, Márcio e Jaqueline, pela minha educação, pelo apoio, por todo cuidado e amor.

Ao meu irmão, Matheus, meu companheiro e melhor amigo.

Aos meus demais familiares por toda ajuda e torcida nessa caminhada.

Aos meus velhos amigos que, independentemente das circunstâncias, sempre se fizeram presente, em especial Luiza e Rodolfo, pela amizade, companheirismo e apoio constante.

Aos meus novos amigos que encontrei nessa jornada, pela parceria e por fazerem meus dias mais leves, em especial: Luana (Cavel), Larissa (Mamba), Victor (Cóllor), Arthur (Nãguet's), Marcelo (Xitus), Isadora (Caipira), Izabela, Matheus (Perna). A todos vocês, muito obrigada pelo suporte e serem minha segunda família!

Ao meu professor e orientador, Prof. Dr. Ricardo Andrade Reis, pela oportunidade, pelo exemplo, por confiar e acreditar no meu trabalho, pelas motivações e ensinamentos.

Às minhas coorientadoras Dra. Angélica Bahia e Dra. Juliana Messana, pelo apoio ao longo de todo o desenvolvimento deste trabalho.

À Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Câmpus de Jaboticabal, SP, pelo suporte.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal, pela oportunidade.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), processo nº 2024/17460-9.

Aos membros do Grupo de Pesquisa em Produção Sustentável (UnespFor) por toda ajuda na condução deste trabalho.

A todos que estiveram presentes nessa trajetória, muito obrigada!

SUMÁRIO

POTENCIAL DE BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO DE PLANTAS EM REDUZIR A FERTILIZAÇÃO NITROGENADA DE CAPIM MARANDU: EFEITO NA PRODUÇÃO, QUALIDADE E GASES DE EFEITO ESTUFA.....iv	iv
POTENTIAL OF PLANT GROWTH-PROMOTING BACTERIA TO REDUCE NITROGEN FERTILIZATION IN MARANDU GRASS: EFFECTS ON PRODUCTION, QUALITY, AND GREENHOUSE GAS EMISSIONSvi	vi
CAPÍTULO 1 – Considerações gerais..... 1	1
1. Introdução 1	1
2. Revisão de literatura..... 4	4
2.1. Manejo de pastagem em sistemas intensificados 4	4
2.2. <i>Urochloa brizantha</i> cv. Marandu 5	5
2.3. Nitrogênio em sistemas de produção a pasto 6	6
2.4. Bactéria promotoras de crescimento de plantas (BPCP) 8	8
2.5. Gases de efeito estufa (GEE) em sistemas pastoris 11	11
3. Referências 14	14
CAPÍTULO 2 – Potencial de bactérias promotoras de crescimento de plantas em reduzir a fertilização nitrogenada sob produção, qualidade da forragem, desempenho animal e metano entérico..... 20	20
1. Introdução 21	21
2. Material e métodos 23	23
2.1. Aspectos éticos 23	23
2.2. Localização e características da área experimental..... 24	24
2.3. Delineamento experimental e tratamentos..... 24	24
2.4. Fertilização do solo..... 24	24
2.5. Manejo do pasto e dos animais 26	26
2.6. Massa e oferta de forragem..... 27	27
2.7. Composição química dos pastos 28	28
2.8. Desempenho animal..... 28	28

2.9. Avaliação da emissão de CH ₄ entérico.....	29
2.10. Parâmetros meteorológicos.....	30
2.11. Análise estatística.....	31
3. Resultados e discussão.....	32
3.1. Estrutura do dossel forrageiro	32
3.2. Composição química	36
3.3. Desempenho animal.....	39
3.4. Metano (CH ₄) entérico	42
4. Conclusões.....	45
5. Referências	46
CAPÍTULO 3 – Potencial de bactérias promotoras de crescimento de plantas na redução da fertilização nitrogenada sobre as emissões de óxido nitroso (N ₂ O) e metano (CH ₄) em pastagens.....	
1. Introdução	51
2. Material e métodos	52
2.1. Localização e características da área experimental.....	52
2.2. Delineamento experimental e tratamentos.....	53
2.3. Fertilização do solo.....	53
2.4. Manejo do pasto e dos animais	55
2.5. Avaliação das emissões de N ₂ O e CH ₄ no solo.....	56
2.6. Parâmetros meteorológicos	57
2.7. Análise estatística.....	58
3. Resultados e discussão.....	58
3.1. Óxido nitroso (N ₂ O)	58
3.2. Metano (CH ₄) no solo	62
4. Conclusões	66
5. Referências	66
CAPÍTULO 4 – Considerações finais	
	71

CEUA – COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS

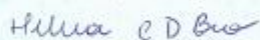
C E R T I F I C A D O

Certificamos que o projeto de pesquisa intitulado **"Manejo estratégico de pastagem para intensificação sustentável em sistemas de produção de gado de corte em pastagens tropicais"**, protocolo nº 3033/2024, sob a responsabilidade do Prof. Dr. RICARDO ANDRADE REIS, que envolve a produção, manutenção e/ou utilização de animais pertencentes ao Filo Chordata, subfilo Vertebrata (exceto o homem), para fins de pesquisa científica (ou ensino) - encontra-se de acordo com os preceitos da lei nº 11.794, de 08 de outubro de 2008, no decreto 6.899, de 15 de julho de 2009, e com as normas editadas pelo Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal (CONCEA), e foi aprovado pela COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS (CEUA), da FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS, UNESP - CÂMPUS DE JABOTICABAL-SP, em reunião ordinária de 14 de agosto de 2024.

(We certify that the research project entitled **"Strategic grazing management towards sustainable intensification at tropical pasture-based beef cattle production systems"**, protocol nº. 3033/2024, under the responsibility of Dr. RICARDO ANDRADE REIS, which involves the production, maintenance and/or use of animals belonging to the Chordata phylum, vertebrate subfile (except man), for the purposes of scientific research (or teaching) - is in accordance with the precepts of Law no. 11,794, of October 8, 2008, in Decree 6,899, of July 15, 2009, and with the rules issued by the National Council for Animal Experimentation Control (CONCEA), and was approved by the Ethics Commission on Animal Use (CEUA), from the SCHOOL OF AGRICULTURAL AND VETERINARY SCIENCES, UNESP - JABOTICABAL - SP Campus, at August, 14, 2024 an ordinary meeting.)

Vigência do Projeto	01/07/2024 a 31/03/2029
Espécie / Linhagem	Bovino
Nº de animais	352
Peso / Idade	230 +- 40 kg / 12 meses
Sexo	Macho
Origem	Pedranópolis - SP

Jaboticabal, 14 de agosto de 2024



Dra. Helena Cristina Delgado Brito
Coordenadora – CEUA

POTENCIAL DE BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO DE PLANTAS EM REDUZIR A FERTILIZAÇÃO NITROGENADA DE CAPIM MARANDU: EFEITO NA PRODUÇÃO, QUALIDADE E GASES DE EFEITO ESTUFA

RESUMO – O Brasil possui destaque mundial na produção de bovinos de corte baseada em sistemas de pastejo. Porém, a degradação de pastagens, devido a erros de adubação e manejo, representa um desafio produtivo e ambiental. Uma alternativa que vem ganhando espaço para reduzir a degradação é o uso de bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCP) como estratégia para substituir o uso da ureia, reduzir impactos ambientais e aumentar a eficiência do uso do nitrogênio (N). O objetivo do trabalho foi avaliar o efeito de BPCP em reduzir a fertilização nitrogenada em pastagens de *Urochloa brizantha* cv. Marandu sobre os efeitos de produção e qualidade de forragem, desempenho animal e emissões de gases de efeito estufa (GEE). O estudo foi conduzido entre janeiro e maio de 2025 no setor de Forragicultura da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP, Campus de Jaboticabal, SP. Os tratamentos foram: T1: controle (sem aplicação de N); T2: aplicação de 150 kg N ha⁻¹ via ureia; T3: aplicação de 100 kg N ha⁻¹ via ureia + *Azospirillum brasilense* + *Pseudomonas fluorescens*; T4: aplicação de 75 kg N ha⁻¹ via ureia + *Azospirillum brasilense* + *Pseudomonas fluorescens*. Para a avaliação de forragem e desempenho animal o delineamento utilizado em blocos casualizados (DBC, animais blocados pelo peso inicial) constituído por 4 tratamentos e 3 repetições (piquetes). Já na avaliação das emissões de GEE do solo, o delineamento utilizado foi inteiramente casualizado (DIC) com 4 tratamentos e 5 repetições. Os pastos foram manejados à altura de 25 a 30 cm, em sistema de lotação contínua com carga variável segundo a técnica de pastejo *put and take*. Foram utilizados 48 tourinhos Nelore, *testers*, que permaneceram nos piquetes durante todo o período experimental. As análises estatísticas foram realizadas no pacote R 4.5.1, onde os dados foram submetidos à ANOVA e teste de Tukey-HSD a 5% de probabilidade. As variáveis estruturais do dossel e a produção de forragem não diferiram entre os tratamentos, indicando estabilidade estrutural do sistema sob manejo de altura. Entretanto, a composição química foi influenciada ($p < 0,05$) com aumento do teor de proteína bruta (PB) e redução das frações fibrosas nos tratamentos T2, T3 e T4. O desempenho dos animais não foi afetado ($p > 0,05$), porém a taxa de lotação (TL), o ganho por área (GPA) e a produção de arrobas por hectare foram superiores nos tratamentos ($p < 0,05$) que receberam adubação. A emissão de CH₄ entérico não diferiu entre os tratamentos. As emissões de N₂O do solo foram maiores nos tratamentos adubados ($p < 0,05$). A emissão acumulada de CH₄ do solo foi influenciada pelos tratamentos ($p < 0,05$), com maior emissão observada no tratamento T4 e menores valores nos tratamentos T1 e T2. Embora a inoculação com BPCP não tenha promovido mitigação direta das emissões de GEE, a associação entre BPCP e redução da dose de N mineral permitiu manter a produtividade do sistema, evidenciando seu potencial como estratégia para aumentar a eficiência de uso do N e reduzir parcialmente a dependência da adubação nitrogenada em sistemas intensificados de produção animal a pasto.

Palavras-chave: *Azospirillum brasilense*; desempenho animal; metano entérico; óxido nitroso; *Pseudomonas fluorescens*; *Urochloa brizantha*

POTENTIAL OF PLANT GROWTH-PROMOTING BACTERIA TO REDUCE NITROGEN FERTILIZATION IN MARANDU GRASS: EFFECTS ON PRODUCTION, QUALITY AND GREENHOUSE GAS EMISSIONS

ABSTRACT – Brazil is a global leader in beef cattle production based on pasture systems. However, pasture degradation resulting from inadequate fertilization and grazing management remains a major productive and environmental challenge. The use of plant growth-promoting bacteria (PGPB) has emerged as a promising strategy to partially replace urea fertilization, reduce environmental impacts, and improve nitrogen (N) use efficiency. The objective of this study was to evaluate the potential of PGPB to reduce nitrogen fertilization in *Urochloa brizantha* cv. Marandu pastures and its effects on forage production and quality, animal performance, and greenhouse gas (GHG) emissions. The study was conducted from January to May 2025 at the Forage Crops Research Unit of the School of Agricultural and Veterinary Sciences (FCAV), São Paulo State University (UNESP), Jaboticabal, São Paulo, Brazil. The treatments were: T1, control (no N application); T2, 150 kg N ha⁻¹ applied as urea; T3, 100 kg N ha⁻¹ applied as urea + *Azospirillum brasilense* + *Pseudomonas fluorescens*; and T4, 75 kg N ha⁻¹ applied as urea + *Azospirillum brasilense* + *Pseudomonas fluorescens*. For forage and animal performance evaluations, a randomized complete block design was used, with animals blocked by initial body weight, comprising four treatments and three replicates (paddocks). For soil GHG emissions, a completely randomized design was adopted, with four treatments and five replicates. Pastures were managed under continuous stocking with variable stocking rate using the put-and-take grazing method and maintained at a target sward height of 25 to 30 cm. Forty-eight Nellore young bulls were used as tester animals and remained in the paddocks throughout the experimental period. Statistical analyses were performed using R software version 4.5.1. Data were subjected to analysis of variance (ANOVA), and treatment means were compared using Tukey's HSD test at a 5% significance level. Sward structural characteristics and forage mass did not differ among treatments, indicating structural stability of the grazing system under sward height management. However, forage chemical composition was affected ($p < 0.05$), with increased crude protein (CP) concentration and reduced fiber fractions in T2, T3, and T4. Animal performance was not affected ($p > 0.05$); however, stocking rate, live weight gain per unit area, and beef

production per hectare were greater ($p < 0.05$) in fertilized treatments. Enteric CH_4 emissions did not differ among treatments. Soil N_2O emissions were higher in fertilized treatments ($p < 0.05$). Cumulative soil CH_4 emissions were affected by treatments ($p < 0.05$), with the highest emissions observed in T4 and the lowest values in T1 and T2. Although PGPB inoculation did not directly mitigate GHG emissions, the association between PGPB and reduced mineral N fertilization maintained system productivity with lower fertilizer inputs, highlighting its potential as a strategy to improve nitrogen use efficiency and partially reduce dependence on nitrogen fertilization in intensified pasture-based livestock systems.

Keywords: *Azospirillum brasilense*; animal performance; enteric methane; nitrous oxide; *Pseudomonas fluorescens*; *Urochloa brizantha*.

CAPÍTULO 1 – Considerações gerais

1. Introdução

A extensão continental do Brasil traz vantagens para que a pecuária a pasto seja eficiente nos diversos biomas do país, seja pelo clima e/ou topografia (VALLE, 2022). Detentor de 160 milhões de hectares de pasto, o Brasil segue com o maior número de animais abatidos provenientes de sistemas sob pastejo (ABIEC, 2025). Das 45,94 milhões de cabeças de bovinos abatidas, 37,12 milhões (80,2%) são de animais criados a pasto (ABIEC, 2025). Isso afirma a liderança indiscutível do Brasil na cadeia produtiva da bovinocultura de corte (Valle, 2022) como o segundo maior produtor e o primeiro maior exportador mundial de carne bovina (ABIEC, 2025). É evidente a importância das pastagens na pecuária brasileira. Além disso, esse sistema pode ser considerado o mais econômico devido à redução nos custos de produção conferindo competitividade ao agronegócio mundial (FONSECA, 2022).

Apesar dos números crescentes apresentados, há ainda alguns entraves a serem superados. Um problema recorrente são as diversas áreas de pastagens degradadas ou em algum estágio de degradação no Brasil. Em condições de degradação a oferta de forragem é reduzida e a qualidade do pasto também é prejudicada. Consequentemente, a emissão de metano (CH_4) aumenta devido à menor digestibilidade e menor taxa de passagem da forragem no rúmen (ECKARD et al., 2010; PRIMAVESI et al., 2004) associada à composição química da fração fibrosa. Além disso, há a redução da capacidade de sequestrar carbono e o aumento da emissão de óxido nitroso (N_2O) (ABDALLA et al., 2018; BESSOU et al. 2010) por serem áreas caracterizadas por solos compactados. As práticas de manejo inadequadas combinadas com degradação dos solos das pastagens também aumentam os fluxos de gases de efeito estufa, refletindo uma interação negativa entre a produtividade animal e os impactos ambientais.

A crescente conscientização sobre a sustentabilidade ambiental, a busca por produtos ambientalmente corretos e com preços acessíveis, impacta diretamente na condução dos sistemas de produção animal o que reflete na necessidade de produzir de forma eficiente e que modernize o modo de uso da terra (DIAS-FILHO, 2011). Por isso, é importante discutir estratégias para reduzir as áreas de pastagens em

degradação, mitigar a abertura de novas áreas e intensificar a utilização dos pastos com maior produção em menores áreas.

Esse cenário pode ser revertido com uso de diversas estratégias de manejos que em conjunto auxiliam a recuperação dessas áreas, com destaque para a adubação. O solo é fonte de nutrientes para o desenvolvimento das plantas forrageiras e, conseqüentemente, dos animais. Porém, o solo não deve ser tratado como fonte inesgotável de nutrientes sendo, portanto, necessário técnicas de correção e adubação para a reposição de nutrientes no solo o que também auxiliará na potencialização da produtividade vegetal (LEITE et al, 2021).

Entre os diversos nutrientes essenciais, o nitrogênio (N) é um dos mais requeridos pelas plantas, pois compõe proteínas, ácidos nucléicos, hormônios e a clorofila (DIAS-FILHO, 2011). A aplicação de N em pastagens contribui para o aumento da produção e da qualidade da forragem, resultando em maior taxa de lotação e incremento no ganho de peso dos animais (DELEVATTI et al., 2019; DUPAS et al., 2016). Quando associada a práticas de manejo, como o controle da altura do dossel forrageiro, o ajuste da taxa de lotação e a otimização da eficiência de pastejo, a adubação nitrogenada favorece o melhor aproveitamento da forragem produzida e o aumento da produtividade do sistema. Além disso, a melhoria da qualidade da forragem, caracterizada por maior teor de proteína e menor concentração de frações fibrosas, pode reduzir a produção de CH₄ entérico em razão de alterações nos padrões de fermentação ruminal e da maior eficiência de utilização da energia pelos animais. Adicionalmente, o aumento do desempenho animal reduz o tempo necessário para atingir o peso de abate, contribuindo para a diminuição das emissões totais de CH₄ ao longo do ciclo produtivo (ECKARD et al., 2010; KNAPP et al., 2014).

Atualmente, a fonte mais comum de N para adubação de pastagens utilizada no Brasil é a ureia, adubo sintético composto por 44 a 46% de N e com melhor custo-benefício (COSTA et al., 2006). Em geral, as plantas têm baixa eficiência na utilização de fertilizantes nitrogenados com perdas em torno de 50% do adubo aplicado (HUNGRIA et al., 2007). Essas perdas podem ser por lixiviação ou em forma de gás pelo processo de desnitrificação (óxido nitroso (N₂O)) ou volatilização (amônia (NH₃)) (HUNGRIA et al., 2007). Tal processo pode ser intensificado se houver a aplicação errônea do fertilizante como, por exemplo, em quantidade excessiva ou em condições

de clima e/ou solo desfavoráveis. Consequentemente, além de reduzir a eficiência de uso de N pelas plantas, contribui também para o aumento das emissões de gases do efeito estufa (COUTINHO, 2022) e da contaminação das águas de rios, lagos e lençóis freáticos em níveis tóxicos para seres vivos (HUNGRIA et al., 2007).

Uma alternativa que ganha espaço para solucionar esses problemas é o uso de bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCP) que favorecem o desenvolvimento das plantas por mecanismos fisiológicos e microbiológicos, resultando em aumento da produtividade e menor dependência de adubos minerais (HUNGRIA et al., 2011). Espécies como *Azospirillum brasilense* e *Pseudomonas fluorescens* são exemplos de tecnologias promissoras para intensificação sustentável da produção de plantas. Estudo realizado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) resultou em uma média de 22% de aumento no rendimento de pastagens formadas com braquiária quando combinado a esses microrganismos (LANDGRAF, 2021). A inoculação dessas bactérias, combinada a doses reduzidas de N mineral, tem demonstrado resultados promissores em gramíneas tropicais, mantendo ou até melhorando a produção de biomassa e o teor de proteína bruta, mesmo com redução de até 50% na adubação nitrogenada (BOURSCHEIDT et al., 2023). Além de reduzir os custos com fertilizantes, essas bactérias estão em conformidade com o Plano ABC+ (2020 – 2030), que reconhece a fixação biológica de nitrogênio (FBN) como tecnologia limpa de importância econômica e ambiental (HUNGRIA et al., 2013).

Além dos benefícios relacionados à produção vegetal, a utilização de BPCP pode influenciar indiretamente processos associados à emissão de gases de efeito estufa. O estímulo ao crescimento radicular e as alterações promovidas na rizosfera podem modificar a dinâmica de nutrientes e a atividade microbiana do solo, fatores potencialmente relacionados aos processos biogeoquímicos que controlam a produção e o consumo de gases como N_2O e CH_4 (FUKAMI et al., 2018; HUNGRIA et al., 2021; ABREU et al., 2024). Entretanto, estudos que avaliam simultaneamente os efeitos das BPCP sobre a produção de forragem, o desempenho animal e as emissões de gases de efeito estufa em pastagens tropicais ainda são escassos.

Com isso, no propósito de intensificar, tornar mais rentável e ambientalmente sustentável a produção de bovinos de corte a pasto, torna-se necessária a busca por

estratégias para potencializar a produção forrageira garantindo o aumento do desempenho animal e, concomitantemente, colaborar com a redução dos custos da atividade pecuária e da mitigação de gases do efeito estufa.

4. Conclusões

A adubação nitrogenada aumentou as emissões de N_2O do solo em relação ao tratamento controle, enquanto as emissões de CH_4 foram influenciadas pelas estratégias de fertilização avaliadas. Entretanto, a associação entre doses reduzidas de N mineral e BPCP não reduziu as emissões de N_2O e CH_4 nas condições deste estudo. Os resultados reforçam a importância do manejo da fertilização nitrogenada como fator determinante da dinâmica dos gases de efeito estufa em pastagens intensificadas.

5. Referências

ABREU, N. L.; RIBEIRO, E. S. C.; SOUSA, C. E. S.; MORAES, L. M.; OLIVEIRA, J. V. C.; FARIA, L. A.; RUGGIERI, A. C.; CARDOSO, A. S.; FATURI, C.; RÊGO, A. C.; SILVA, T. C. Land use change and greenhouse gas emissions: an explanation about the main emission drivers. **Ciência Animal Brasileira**, v. 25, e77646E, 2024. DOI: 10.1590/1809-6891v25e-77646E.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507.

ALVES, B. J. R.; SMITH, K. A.; FLORES, R. A.; CARDOSO, A. S.; OLIVEIRA, W. R. D.; JANTALIA, C. P.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Selection of the most suitable sampling time for static chambers for the estimation of daily mean N₂O flux from soils. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 46, p. 129-135, 2012. DOI: 10.1016/j.soilbio.2011.11.008.

ARIF, M. A. S.; HOUWEN, F.; VERSTRAETE, W. Agricultural factors affecting methane oxidation in arable soil. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 21, n. 1-2, p. 95-102, 1996. DOI: 10.1007/BF00335999.

BARBERO, R. P. Altura do pasto e dose de suplemento na recria de tourinhos e efeitos sobre a terminação: aspectos produtivos, ambientais e econômicos. 2015. 108 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Jaboticabal, 2015.

BÉDARD, C., AND KNOWLES, R. Physiology, biochemistry, and specific inhibitors of CH₄, NH₄⁺, and CO oxidation by methanotrophs and nitrifiers. **Microbiol. Rev.** 53, 68–84, 1989. DOI: 10.1128/mmbr.53.1.68-84.

ÇAKMAKÇI, R.; ERAT, M.; ERDOĞAN, Ü.; DÖNMEZ, M. F. The influence of plant growth–promoting rhizobacteria on growth and enzyme activities in wheat and spinach plants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 170(2), 288-295, 2007.

CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; VAN RAIJ, B.; MATTURRO, F. *Boletim 100: Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. Campinas: Instituto Agrônomo (IAC), 2022.

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, p. 6656, 2020. DOI: 10.3390/su12166656.

CARDOSO, A. S.; LONGHINI, V. Z.; BERÇA, A. S.; ONGARATTO, F.; SINISCALCHI, D.; REIS, R. A.; RUGGIERI, A. C. Pasture management and greenhouse gases emissions. **Bioscience Journal**, v. 38, e38099, 2022. DOI: 10.14393/BJ-v38n0a2022-60614.

CARDOSO, A. S.; OLIVEIRA, S. C.; JANUSCKIEWICZ, E. R.; BRITO, L. F.; SILVA, E. M.; REIS, R. A.; RUGGIERI, A. C. Seasonal effects on ammonia, nitrous oxide, and methane emissions for beef cattle excreta and urea fertilizer applied to a tropical pasture. **Soil and Tillage Research**, v. 194, p. 104341, 2019. DOI: 10.1016/j.still.2019.104341.

CORRÊA, D. C. C.; CARDOSO, A. S.; FERREIRA, M. R.; SINISCALCHI, D.; TONIELLO, A. D.; LIMA, G. C.; REIS, R. A.; RUGGIERI, A. C. Are CH₄, CO₂, and N₂O emissions from soil affected by the sources and doses of N in warm-season pasture? *Atmosphere*, v. 12, p. 697, 2021. DOI: 10.3390/atmos12060697.

CORRÊA, D. C. C.; POCCARD-CHAPUIS, R.; BLANFORT, V.; BOCHU, J.-L.; LESCOAT, P. Impacts of cattle farming practices and associated livestock systems on energy balances and greenhouse gas emissions in the municipality of Paragominas – State of Pará – Amazonia. **Pastoralism: Research, Policy and Practice**, v. 15, 14461, 2025. DOI: 10.3389/past.2025.14461.

DELEVATTI L.M.; CARDOSO A.S.; BARBERO R.P.; LEITE R.G.; ROMANZINI E.P.; RUGGIERI A.C.; REIS R.A. (2019) Effect of nitrogen application rate on yield, forage quality, and animal performance in a tropical pasture. **Scientific Reports** 9, e-7596.

DOANE, T. A.; HORWATH, W. R. Spectrophotometric determination of nitrate with a single reagent. **Analytical Letters**, v. 36, p. 2713–2722, 2003.

FONSECA, N. V. B.; CARDOSO, A. S.; BERÇA, A. S.; DORNELLAS, I. A.; ONGARATTO, F.; SILVA, M. L. C.; RUGGIERI, A. C.; REIS, R. A. Effect of different nitrogen fertilizers on nitrogen efficiency use in Nellore bulls grazing on Marandu palisade grass. **Livestock Science**, v. 263, 105012, 2022. DOI: 10.1016/j.livsci.2022.105012.

FORSTER, J. C. Soil nitrogen. In: ALEF, K.; NANNIPIERI, P. (Ed.). **Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry**. San Diego: Academic Press, 1995. p. 79–87.

FUKAMI, J.; CERZINI, P.; HUNGRIA, M. Azospirillum: benefits that go far beyond biological nitrogen fixation. **AMB Express**, v. 8, p. 73, 2018. DOI: 10.1186/s13568-018-0608-1.

HALLS, L. K. The approximation of cattle diet through herbage sampling. **Journal of Range Management**, v. 7, p. 269–270, 1954.

HARTIG, F. DHARMA: residual diagnostics for hierarchical (multi-level/mixed) regression models. **R package version 0.4.7**, 2024. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=DHARMA>. Acesso em: 12 jun. 2026.

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. DOI: 10.1007/s11104-021-04908-x.

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. **Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge: Cambridge University Press, 2022.

LIMA, M. A.; BOEIRA, R. C.; CASTRO, V. L. S. S.; LIGO, M. A. V.; CABRAL, O. M. R.; VIEIRA, R. F.; LUIZ, A. J. B. Estimativa das emissões de gases de efeito estufa provenientes de atividades agrícolas no Brasil. In: LIMA, M. A.; CABRAL, O. M. R.; MIGUEZ, J. D. G. (ed.). Mudanças climáticas globais e a agropecuária brasileira. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006. p. 169–189.

LIMA, L.; ONGARATTO, F.; FERNANDES, M.; CARDOSO, A.; LAGE, J.; SILVA, L.; REIS, R.; MALHEIROS, E. Response of pasture nitrogen fertilization on greenhouse

gas emission and net protein contribution of Nellore young bulls. **Animals**, Basel, v. 12, p. 3173, 2022. DOI: 10.3390/ani12223173.

MORAES, L. M.; MOURA FILHO, N. L.; ABREU, N. L.; RUGGIERI, A. C.; FATURI, C.; SILVA, T. C.; RÊGO, A. C. Soil greenhouse gas emissions under different land uses in the Eastern Amazon. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 19, e8578, 2025. DOI: 10.18227/1982-8470ragro.v19i00.8578.

MOTT, G. O.; LUCAS, H. L. The design, conduct and interpretation of grazing trials on cultivated and improved pastures. In: **INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 6., 1952, Pensylvania**. Anais... Pensylvania State College, 1952. p. 1380–1395

ONGARATTO, F.; FERNANDES, M. H. M. R.; DALLANTONIA, E. E.; LIMA, L. O.; VAL, G. A.; CARDOSO, A. S.; RIGOBELLO, I. L.; GOMES, L. M.; REIS, R. A.; RUGGIERI, A. C.; MALHEIROS, E. B. Effect of the interaction between excreta type and nitrogen fertilizer on greenhouse gas and ammonia emissions in pastures. **Atmosphere**, Basel, v. 14, p. 492, 2023. DOI: 10.3390/atmos14030492.

PRIMAVESI, O.; ARZABE, C.; PEDREIRA, M. S. Metano entérico de bovinos em condições tropicais brasileiras. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 7, p. 963–972, 2012.

RAPOSO, E.; BRITO, L. F.; JANUSCKIEWICZ, E. R.; OLIVEIRA, L. F.; VERSUTI, J.; ASSUMPÇÃO, F. M.; CARDOSO, A. S.; SINISCALCHI, D.; DELEVATTI, L. M.; MALHEIROS, E. B.; REIS, R. A.; RUGGIERI, A. C. Greenhouse gases emissions from tropical grasslands affected by nitrogen fertilizer management. **Agronomy Journal**, Madison, v. 113, n. 1, p. 488–502, 2020. DOI: 10.1002/agj2.20385.

RUDD, J. W. M., FURUTANI, A., FLETT, R. J., AND HAMILTON, R. D. Factors controlling methane oxidation in Shield Lakes: the role of nitrogen fixation and oxygen concentration. **Limnol. Oceanogr.** 21, 357–364, 1976. DOI: 10.4319/lo.1976.21.3.0357

RUGGIERI, A. C.; CARDOSO, A. S. Balanço de carbono em sistemas de produção animal: fontes de emissão e opções de mitigação. **Archivos Latinoamericanos de Producción Animal**, v. 25, n. 1-2, p. 37–44, 2017.

RUGGIERI, A. C.; CARDOSO, A. S.; RAPOSO, E.; JANUSCKIEWICZ, E. R.; BRITO, L. F.; MELLO, L. F. O.; AZENHA, M. V.; REIS, R. A. Mitigação de gases estufa e impacto na pecuária. In: **SIMPÓSIO DE PRODUÇÃO ANIMAL A PASTO, 3., 2015, Dois Vizinhos, PR**. Anais... Maringá: Sthampa, 2015.

SANTANA, S. S.; BRITO, L. F.; AZENHA, M. V.; OLIVEIRA, A. A.; MALHEIROS, E. B.; RUGGIERI, A. C.; REIS, R. A. Canopy characteristics and tillering dynamics of Marandu palisade grass pastures in the rainy–dry transition season. **Grass and Forage Science**, v. 72, n. 2, p. 261–270, 2017. DOI: 10.1111/gfs.12234.

SANTOS, A. R. M. dos. *Potential for mitigation of greenhouse gases in integrated livestock production systems*. 2024. 99 p. Tese (Doutorado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2024.

SANTOS, M. E. R.; FONSECA, D. M.; GOMES, V. M.; GOMIDE, C. A. M.; NASCIMENTO JÚNIOR, D. D.; QUEIROZ, D. S. Capim-braquiária sob lotação contínua e com altura única ou variável durante as estações do ano: morfogênese e dinâmica de tecidos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, n. 11, p. 2323–2331, 2011. DOI: 10.1590/S1516-35982011001100007.

VAN DER WEERDEN, T. J.; LUO, J.; DI, H. J.; PODOLYAN, A.; PHILLIPS, R. L.; SAGGAR, S.; KLEIN, C. A. M.; COX, N.; ETTEMA, P.; RYS, G. Nitrous oxide emissions from urea fertiliser and effluent with and without inhibitors applied to pasture. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 219, p. 58-70, 2016. DOI: 10.1016/j.agee.2015.12.009.

YANG, Y.; TONG, T.; CHEN, J.; LIU, Y.; XIE, S. Ammonium impacts methane oxidation and methanotrophic community in freshwater sediment. **Frontiers in Bioengineering and Biotechnology**, Lausanne, v. 8, art. 250, 2020. DOI: 10.3389/fbioe.2020.00250.

CAPÍTULO 4 – Considerações finais

Os resultados deste trabalho indicaram que a adubação nitrogenada, isolada ou associada às bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCP), altera o funcionamento do sistema produtivo, com efeitos distintos sobre a pastagem, os animais e o solo.

Na pastagem, não houve diferenças na produção de massa de forragem nas diferentes estratégias de adubação, mas contribuiu para melhoria da qualidade nutricional. No componente animal, não houve alteração no desempenho individual, porém a adubação aumentou a taxa de lotação (TL) e o ganho por área (GPA), evidenciando intensificação do sistema. A inoculação com *Azospirillum brasilense* e *Pseudomonas fluorescens* permitiu manter desempenho semelhante mesmo com menor aporte de nitrogênio (N) mineral, sugerindo maior eficiência na utilização do nutriente.

A emissão entérica de metano (CH_4) por animal não foi influenciada pelos tratamentos, indicando que as alterações na qualidade da forragem não foram suficientes para alterar o padrão fermentativo ruminal. Ainda assim, o aumento da produtividade por área, sem elevação das emissões individuais, sugere melhoria da eficiência produtiva do sistema.

No solo, a disponibilidade de N foi o principal fator determinante das emissões de gases de efeito estufa (GEE). A fertilização elevou as emissões acumuladas de óxido nitroso (N_2O), especialmente após eventos de adubação e precipitação, enquanto o CH_4 apresentou elevada variabilidade temporal. A associação entre BPCP e redução da adubação nitrogenada não reduziu as emissões de N_2O e não promoveu resposta consistente para as emissões de CH_4 nas condições avaliadas.

Ainda são necessários estudos que investiguem estratégias para aumentar a eficiência de uso do N sob diferentes condições edafoclimáticas, avaliar o efeito de doses reduzidas de fertilização associadas às BPCP ao longo de ciclos produtivos mais longos e aprofundar a compreensão dos mecanismos microbiológicos envolvidos nas emissões de gases do solo nesses sistemas.

Este trabalho evidencia que a intensificação de pastagens tropicais através da redução da adubação nitrogenada com o uso de BPCP, como as *Azospirillum brasilense* e *Pseudomonas fluorescens*, pode aumentar a produtividade do sistema

sem alterar a emissão entérica de CH₄ por animal. Entretanto, os benefícios produtivos observados não foram acompanhados por reduções nas emissões de gases de efeito estufa do solo, reforçando que o manejo do N permanece como principal ponto crítico. Os resultados reforçam que os ganhos produtivos e os impactos ambientais respondem de forma distinta às estratégias de manejo, devendo ser avaliados de forma integrada.