



NAUTO MARTINS

**UTILIZAÇÃO DE *AZOSPIRILLUM* SPP. NA
SUSTENTABILIDADE DE SISTEMAS PASTORIS DE
CAPIM-MARANDU NO BIOMA CERRADO**

LAVRAS-MG

2025

NAUTO MARTINS

**UTILIZAÇÃO DE *AZOSPIRILLUM* SPP. NA SUSTENTABILIDADE DE
SISTEMAS PASTORIS DE CAPIM-MARANDU NO BIOMA CERRADO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Produção Animal PPGCTPA. Mestrado Profissional: Mudanças Climáticas e Agropecuária de Baixa Emissão de Carbono. Linha de Pesquisa: Nutrição e Produção de Animais Ruminantes, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Márcio André Stefanelli Lara

Orientador

LAVRAS -MG

2025

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

Martins, Nauto.

Utilização de *Azospirillum* spp. na sustentabilidade de sistemas
pastoris de capim-Marandu no bioma Cerrado / Nauto Martins. -
2024.

40 p. : il.

Orientador(a): Márcio André Stefanelli Lara.

Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Federal de
Lavras, 2024.

Bibliografia.

1. sustentabilidade. 2. *Azospirillum*. 3. *Brachiaria brizantha* cv
Marandu. I. Lara, Márcio André Stefanelli. II. Título.

NAUTO MARTINS

UTILIZAÇÃO DE *AZOSPIRILLUM* SPP. NA SUSTENTABILIDADE DE SISTEMAS PASTORIS DE CAPIM-MARANDU NO BIOMA CERRADO

USE OF *AZOSPIRILLUM* SPP. IN THE SUSTAINABILITY OF PASTORAL SYSTEMS OF MARANDU GRASS IN THE CERRADO BIOME

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Produção Animal PPGCTPA. Mestrado Profissional: Mudanças Climáticas e Agropecuária de Baixa Emissão de Carbono. Linha de Pesquisa: Nutrição e Produção de Animais Ruminantes, para a obtenção do título de Mestre.

Aprovado em 25 de novembro de 2024.

Dr^a. Carla Luiza da Silva Ávila - UFLA

Dr. Daniel da Cunha – REHAGRO

Dr. Márcio André Stefanelli Lara - UFLA

Prof. Dr. Márcio André Stefanelli Lara

Orientador

LAVRAS -MG

2025

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus e a Jesus Cristo, minha fonte de força, inspiração e esperança. Sem fé e orientação provenientes do Céu, essa conquista não seria possível. Como está escrito em Romanos 11:36: "Porque Dele, e por Ele, e para Ele são todas as coisas; glória a Ele eternamente. Amém."

Aos meus familiares, amigos e colegas, por todo apoio, atenção e incentivo. Aos amigos pesquisadores pelo apoio com os dados levantados e incentivos com relação ao tema escolhido. Agradeço meu orientador pelo direcionamento e conhecimento compartilhado, fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho. Aos membros da banca pela ajuda, disponibilidade, dedicação e valiosas contribuições.

Expresso também minha gratidão ao IABS, que foi o pivô da oportunidade de realizar este mestrado profissional, e à UFLA, pela excelência acadêmica e suporte durante esta minha trajetória. O apoio técnico e científico oferecido por ambas as instituições, foi essencial para esta realização. Agradeço por acreditarem no potencial do projeto e por promoverem o desenvolvimento de soluções em prol da sustentabilidade em todos os seus aspectos.

Agradeço também à EMATER MG por disponibilizar recursos e ambiente necessários para meu desenvolvimento acadêmico e profissional. Aos colegas de trabalho e extensionistas, minha gratidão pela colaboração ao longo dessa jornada.

A todos, meu sincero agradecimento. Esta conquista é fruto do esforço coletivo e do poder da colaboração e da fé.

RESUMO

No Brasil, a pecuária depende principalmente das pastagens como fonte de alimentação para o rebanho bovino. Dentro desse cenário, é fundamental ressaltar o papel ambiental das vastas áreas de pastagem, especialmente pela sua capacidade de sequestrar carbono atmosférico. Estima-se que o país tenha aproximadamente 177 milhões de hectares de pastagens, com a maior parte delas coberta por plantas do gênero *Brachiaria* syn. *Urochloa*. Entre as espécies de *Brachiaria*, a *B. brizantha* (Hochst. ex A. Rich.) Stapf. cultivar Marandu é a mais cultivada, ocupando mais de 50 milhões de hectares. Na região do Cerrado, a introdução de Braquiárias possibilitou o aumento de até três vezes a capacidade de suporte das pastagens e em 2023 o Bioma possuía mapeado mais de 56 milhões de hectares de pastagem, sendo que aproximadamente 67% dessa área estava em algum estágio de degradação, comprometendo o potencial de sequestro de carbono, bem como a saúde e conservação do solo, a produtividade animal, a sustentabilidade econômica, dentre outros. O emprego de inoculantes que favorecem a utilização do nitrogênio atmosférico e/ou promovem o aumento da biomassa vegetal, através do maior desenvolvimento radicular, pode melhorar esse cenário, contribuindo para a recuperação da fertilidade do solo e o incremento da produtividade. Dessa forma, para entender a atuação do *Azospirillum* spp. e investigar suas vantagens no aumento da produção, foi realizada uma revisão de literatura e estudo de meta-análise com o objetivo de estabelecer a formatação tecnológica mais eficiente para a utilização desses microrganismos em pastagens de capim-Marandu, nas diferentes condições estudadas por pesquisadores, notadamente no bioma Cerrado. Neste contexto, conclui-se que o *Azospirillum* potencializa o aproveitamento do nitrogênio de forma sinérgica, promovendo um incremento de até 45% no perfilhamento. Além disso, pode aumentar a produção de biomassa em até 75% e a produção de raízes em até 79%, dependendo da dose de nitrogênio aplicada. Fixando N atmosférico ou aumentando a eficiência de fertilizantes, o uso dessas bactérias pôde melhorar a nutrição das plantas e a fertilidade do solo proporcionando o maior sequestro de carbono que por sua vez será transformado em leite e/ou carne em menor tempo, reduzindo diretamente a emissão de gases de efeito estufa. Isso resulta em mais rentabilidade com sustentabilidade.

Palavras Chaves: sustentabilidade; *Azospirillum*; *Brachiaria brizantha* cv. Marandu; cerrado

ABSTRACT

In Brazil, livestock farming depends mainly on pastures as a source of feed for cattle. Within this scenario, it is essential to highlight the environmental role of the vast areas of pasture, especially due to their ability to sequester atmospheric carbon. It is estimated that the country has approximately 177 million hectares of pastures, most of which are covered by plants of the genus *Brachiaria* syn. *Urochloa*. Among the *Brachiaria* species, *B. brizantha* (Hochst. ex A. Rich.) Stapf. cultivar Marandu is the most cultivated, occupying more than 50 million hectares. In the Cerrado region, the introduction of *Brachiaria* has made it possible to increase the support capacity of pastures by up to three times and in 2023 the Biome had more than 56 million hectares of pasture mapped, with approximately 67% of this area in some stage of degradation, compromising the potential for carbon sequestration, as well as soil health and conservation, animal productivity, economic sustainability, among others. The use of inoculants that favor the use of atmospheric nitrogen and/or promote an increase in plant biomass, through greater root development, can improve this scenario, contributing to the recovery of soil fertility and increased productivity. Thus, in order to understand the role of *Azospirillum* spp. and investigate their advantages in increasing production, a literature review and meta-analysis study was carried out with the aim of establishing the most efficient technological format for the use of these microorganisms in Marandu grass pastures, in the different conditions studied by researchers, notably in the Cerrado biome. In this context, it can be concluded that *Azospirillum* synergistically enhances the use of nitrogen, promoting an increase of up to 45% in tillering. It can also increase biomass production by up to 75% and root production by up to 79%, depending on the dose of nitrogen applied. By fixing atmospheric N or increasing the efficiency of fertilizers, the use of these bacteria can improve plant nutrition and soil fertility, providing greater carbon sequestration which in turn will be transformed into milk and/or meat in less time, directly reducing greenhouse gas emissions. This results in greater profitability and sustainability

Keywords: sustainability; *Azospirillum*; *Brachiaria brizantha* cv. Marandu; cerrado

IMPACTO SOCIAL, TECNOLÓGICO, ECONÔMICO E CULTURAL

O trabalho busca promover maior eficiência produtiva com sustentabilidade, conciliando aumento da produção com a redução de impactos ambientais e sociais. A inoculação de microrganismos em pastagens, como o uso de *Azospirillum* em *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, apresenta grande potencial para aumentar a produtividade forrageira e melhorar a qualidade nutricional das pastagens, favorecendo a bovinocultura. Ao reduzir a dependência de fertilizantes nitrogenados, a tecnologia contribui para o crescimento das plantas, maior sequestro de carbono e redução das emissões de gases de efeito estufa, gerando impactos positivos no combate às mudanças climáticas. Socialmente, a adoção dessa prática promove a ocupação e otimização de mão de obra, dado seu método de aplicação simplificado, e beneficia a cadeia produtiva local ao aumentar a produção e a renda de pecuaristas. Culturalmente, incentiva a adoção de tecnologias sustentáveis entre produtores, técnicos e extensionistas, consolidando práticas de manejo mais eficientes e ambientalmente responsáveis. A implementação dessa tecnologia em territórios como o Bioma Cerrado não apenas fomenta a produção sustentável de leite e carne, mas também prepara pecuaristas para atender às crescentes exigências ambientais globais, incluindo barreiras comerciais e programas de remuneração por serviços ambientais, como créditos de carbono. A disseminação de estudos de caso, manuais e unidades demonstrativas pode impulsionar a aplicação em larga escala, fortalecendo a sustentabilidade econômica e ambiental da pecuária brasileira.

SOCIAL, TECHNOLOGICAL, ECONOMIC AND CULTURAL IMPACTS

The work seeks to promote greater production efficiency with sustainability, reconciling increased production with a reduction in environmental and social impacts. The inoculation of microorganisms in pastures, such as the use of *Azospirillum* in *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, has great potential to increase forage productivity and improve the nutritional quality of pastures, favoring cattle farming. By reducing dependence on nitrogen fertilizers, the technology contributes to plant growth, greater carbon sequestration and a reduction in greenhouse gas emissions, generating positive impacts in the fight against climate change. Socially, the adoption of this practice promotes the occupation and optimization of labour, given its simplified application method, and benefits the local production chain by increasing the production and income of livestock farmers. Culturally, it encourages the adoption of sustainable technologies among producers, technicians and extension workers, consolidating more efficient and environmentally responsible management practices. Implementing this technology in territories such as the Cerrado Biome not only fosters sustainable milk and meat production, but also prepares ranchers to meet growing global environmental demands, including trade barriers and compensation programs for environmental services, such as carbon credits. The dissemination of case studies, manuals and demonstration units can boost large-scale application, strengthening the economic and environmental sustainability of Brazilian livestock farming.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Etapas de fixação de <i>Azospirillum</i> sp. às raízes das plantas.	14
Figura 2 - Efeitos positivos do <i>Azospirillum</i> nas raízes das plantas.....	16
Figura 3 – Visualização da dispersão geográfica dos estudos catalogados aqui nesta revisão.	20
Figura 4 – Modelo de Gráfico "Florest plot".....	24

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1- Efeito das dosagens de nitrogênio sobre o incremento percentual da produção de biomassa.	24
Gráfico 2– Efeito de diferentes concentrações de unidade formadora de colônias (UFC) ml ⁻¹ no inoculante, sobre o incremento percentual da produção de biomassa.....	25
Gráfico 3- Efeito de diferentes estirpes de <i>Azospirillum</i> , ou em coinoculação, sobre o incremento percentual da produção de biomassa.	26
Gráfico 4- Efeito das dosagens de nitrogênio sobre o incremento percentual da produção de número de perfilhos.	28
Gráfico 5- Efeito de diferentes concentrações de unidade formadora de colônias (UFC) ml ⁻¹ no inoculante, sobre o incremento percentual da produção de número de perfilhos.....	29
Gráfico 6- Efeito de diferentes estirpes de BPCV sobre o incremento percentual da produção de número de perfilhos.	30
Gráfico 7- Efeito das dosagens de nitrogênio sobre o incremento percentual da produção de raiz.	31
Gráfico 8- Efeito das diferentes concentrações de unidade formadora de colônias (UFC) ml ⁻¹ no inoculante, sobre o incremento percentual da produção de raiz.....	32
Gráfico 9- Efeito das diferentes estirpes de BPCV sobre o incremento percentual da produção de raiz.	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Heterogeneidade dos efeitos das dosagens de nitrogênio no incremento percentual da produção de biomassa.....	25
Tabela 2- Heterogeneidade dos efeitos de diferentes concentrações de unidade formadora de colônias (UFC) ml ⁻¹ no inoculante, sobre o incremento percentual da produção de biomassa.	26
Tabela 3- Heterogeneidade dos efeitos de diferentes estirpes de BPCV sobre o incremento percentual da produção de biomassa.	27
Tabela 4- Heterogeneidade dos efeitos das dosagens de nitrogênio no incremento percentual da produção de número de perfilhos.	28
Tabela 5- Heterogeneidade dos efeitos de unidade formadora de colônias (UFC) ml ⁻¹ no inoculante, sobre o incremento percentual da produção de número de perfilhos.....	29
Tabela 6- Heterogeneidade dos efeitos de diferentes estirpes de BPCV sobre o incremento percentual de número de perfilhos.....	30
Tabela 7- Heterogeneidade dos efeitos das dosagens de nitrogênio no incremento percentual da produção de raiz.....	31
Tabela 8- Heterogeneidade dos efeitos das diferentes concentrações de unidade formadora de colônias (UFC) ml ⁻¹ no inoculante, sobre o incremento percentual da produção de raiz.....	32
Tabela 9- Heterogeneidade das diferentes estirpes de BPCV sobre o incremento percentual da produção de raiz.....	33
Tabela 10- Consolidado dos melhores resultados para incrementos médios percentuais	34

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO	12
2 - REFERENCIAL TEÓRICO	13
3 - MATERIAL E MÉTODOS	17
4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO	19
4.1 - Resultados de pesquisa com utilização de <i>Azospirillum</i> spp. em <i>B. brizantha</i> cv. Marandu	19
4.2 - Resultado da meta-análise de estudos com utilização de <i>Azospirillum</i> spp. em <i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu	23
4.2.1 - Meta-análise para investigação da heterogeneidade causada por diferentes subgrupos sobre o incremento percentual da produção de biomassa	24
4.2.1.1 – Subgrupo: Dosagem de N em incremento de biomassa	24
4.2.1.2 – Subgrupo: “Unidade Formadora de Colônias – UFC” em incremento de biomassa.....	25
4.2.1.3 – Subgrupo – “Estirpes” em incremento de biomassa	26
4.2.2 - Meta-análise para investigação da heterogeneidade causada por diferentes subgrupos sobre o incremento percentual da produção de perfilhos.....	27
4.2.2.1 – Subgrupo: “Dosagem de N” em incremento de número de perfilhos.....	27
4.2.2.2 – Subgrupo: “Unidade Formadora de Colônias – UFC” em incremento de número de perfilhos.....	28
4.2.2.3 – Subgrupo – “Estirpes” em incremento de número de perfilhos	29
4.2.3 - Meta-análise para investigação da heterogeneidade causada por diferentes subgrupos sobre o incremento percentual da produção de raiz	31
4.2.3.1 – Subgrupo: “Dosagem de N” em incremento de produção de raiz	31
4.2.3.2 – Subgrupo: “Unidade Formadora de Colônias – UFC” em incremento de produção de raiz.....	32
4.2.3.3 – Subgrupo – “Estirpes” em incremento de produção de raiz.....	33
4.3 - Discussão	34
5 – CONCLUSÃO.....	35
REFERÊNCIAS	36

1 - INTRODUÇÃO

As pastagens são a principal fonte de alimento para o rebanho bovino no Brasil, o que proporciona ao país uma vantagem competitiva significativa. Isso se reflete tanto na pecuária de corte quanto na pecuária de leite, permitindo um custo de produção mais baixo e um elevado potencial produtivo (ANDRADE et al., 2015). A alimentação direta no pasto também oferece benefícios ambientais, pois reduz as atividades que geram emissões de gases de efeito estufa, como a produção e o transporte de ração, uso de maquinários para colheita e distribuição da forragem, entre outros. É importante destacar que as pastagens bem manejadas possuem grande capacidade de fixação de carbono atmosférico, podendo contribuir significativamente para a neutralização desses gases.

Diversas estratégias são recomendadas para otimizar o manejo de pastagens e ampliar a eficiência no uso da terra. Entre elas estão a adubação direta ou em sistema rotacionado com culturas (CUNHA, M. K.; MORENO, L. S. B.; OLIVEIRA, H. J. B., 2022), a introdução de espécies forrageiras melhoradas, o controle da utilização da área por meio do ajuste da taxa de lotação ou do método de manejo, além da aplicação de inoculantes com "Bactérias Promotoras de Crescimento Vegetal" (BPCV). Essas práticas podem melhorar o valor nutritivo da forragem consumida pelos animais, resultando em uma redução na emissão de metano. Além disso, o uso de inoculantes contendo *Azospirillum* spp., uma BPCV, pode aumentar a produção de biomassa, contribuindo para um maior sequestro de carbono ou seu equivalente em kg de CO₂ por hectare, gerando créditos de carbono que podem ser comercializados.

Segundo o Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento - LAPIG (2024), o Brasil possui aproximadamente 177 milhões de hectares de pastagens, com a maior parte delas coberta por cultivares do gênero *Brachiaria* sinônimo *Urochloa*, das quais cerca de 63% estão em algum estágio de degradação. Entre as espécies de *Brachiaria*, a *B. brizantha* (Hochst. ex A. Rich.) Stapf. cultivar Marandu é a mais cultivada, ocupando mais de 50 milhões de hectares, como evidenciado pelo volume total de sementes comercializadas em 2019, que correspondeu a 33% do total, ultrapassando 19 mil toneladas (CARVALHO et al., 2021). Ainda de acordo com o LAPIG (2023), as pastagens mapeadas no Bioma Cerrado totalizaram 56,8 milhões de hectares, sendo que cerca de 67% dessa área está em algum estágio de degradação. Nesse contexto, a utilização de inoculantes de *Azospirillum* pode surgir como uma importante ferramenta que contribua para promover a recuperação dessas áreas degradadas ou melhorar a produtividade de áreas em bom estado.

No Cerrado, a capacidade de suporte das pastagens foi, no mínimo, triplicada com a introdução das Braquiárias, consideradas um “divisor de águas” no Brasil Central Pecuário (FONSECA, 2010), nesse processo é que o uso de inoculante de *Azospirillum* spp. pode desempenhar um papel fundamental, pois uma das principais contribuições dessas bactérias é a promoção do crescimento das raízes, o que aumenta a absorção de água e nutrientes pelas plantas, resultando em maior eficiência no uso de fertilizantes, redução dos custos de produção, melhoria na nutrição das plantas e na qualidade do solo, maior sequestro de carbono, aumento na produção de leite e carne em menos tempo, além de uma menor emissão de gases de efeito estufa. Dessa forma, o uso de inoculantes de *Azospirillum* spp. não só potencializa a rentabilidade da pecuária, como também promove a sustentabilidade ambiental.

A baixa capacidade de suporte das pastagens brasileiras é um grande desafio às ações de promoção sustentável desse modelo de exploração da terra. A utilização de inoculantes com BPCV é uma alternativa com grande potencial para otimização desse processo. Nessa perspectiva é que esta revisão foi realizada, ou seja, saber quais as reais possibilidades da utilização de inoculantes de *Azospirillum* spp. em pastagens de *B. brizantha* cv. Marandu localizadas no Bioma Cerrado, para uma maior compreensão de qual a extensão da contribuição dessa tecnologia na sustentabilidade das pastagens e, por conseguinte, na sustentabilidade da atividade pecuária.

2 - REFERENCIAL TEÓRICO

Por apresentar a perspectiva de otimizar aspectos quantitativos e qualitativos relacionados a produtividade de pastagens de *B. brizantha* cv. Marandu, o uso de inoculantes a base de *Azospirillum* spp. em pastagens no Cerrado merece atenção. Segundo Oliveira et al. (2006), bactérias do gênero *Azospirillum* são microrganismos de vida livre, de ocorrência natural nos solos brasileiros que habitam a rizosfera das plantas. O *Azospirillum* é encontrado frequentemente na rizosfera, interagindo com exsudatos radiculares que atraem as bactérias para as proximidades das raízes (STEENHOUDT e VANDERLEYDEN., 2000) (Figura 1).

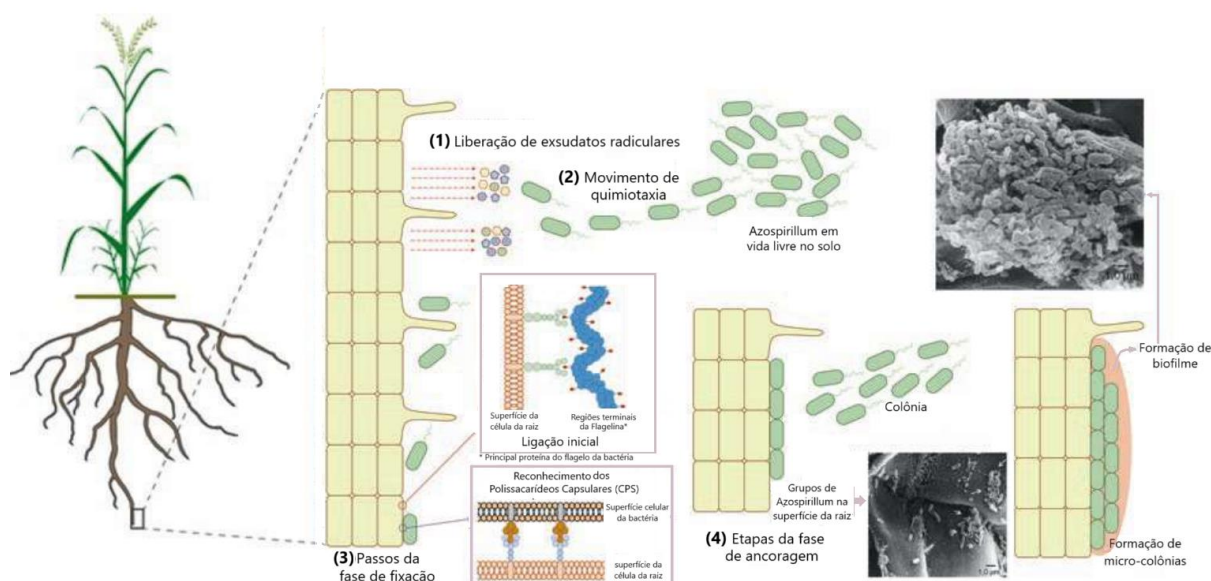


Figura 1 – Etapas de fixação de *Azospirillum* sp. às raízes das plantas (As micrografias electrónicas de varrimento (MEV) são raízes colonizadas por *A. brasilense* e as setas indicam zonas com material de tipo granular; (MEV) de Guerrero-Molina et al (2015). Fonte: Adaptado de Guerrero-Molina et al (2015).

O *Azospirillum* é um gênero de bactérias consideradas diazotróficas, aquelas que fixam o nitrogênio atmosférico (N_2) em uma forma assimilável pelas plantas, como amônia (NH_3), por meio da fixação biológica de nitrogênio (FBN), mediada pela enzima nitrogenase. Elas vivem de forma simbiótica com leguminosas ou associadas a gramíneas, promovendo o crescimento vegetal em solos pobres em nitrogênio. Essas bactérias são essenciais para a sustentabilidade agrícola, reduzindo a necessidade de fertilizantes nitrogenados, especialmente em biomas tropicais como o Cerrado (HUNGRIA et al., 2013; DÖBEREINER, 1997).

A utilização de bactérias diazotróficas, como as do gênero *Azospirillum*, tem se mostrado uma alternativa promissora para reduzir a dependência de fertilizantes nitrogenados, contribuindo para a produtividade e a sustentabilidade dos sistemas de produção forrageira (PINC et al., 2020; GUIMARÃES et al., 2011). Além disso, a co-inoculação de *Azospirillum* spp. com fungos micorrízicos arbusculares, demonstra potencial para aumentar o rendimento das culturas sob estresse hídrico, evidenciando a capacidade dessas interações de proteger as plantas contra estresses bióticos e abióticos (PORTO et al., 2022).

Estudos indicam que a seleção de estirpes de *Azospirillum* com alto potencial de FBN, quando associadas a gramíneas forrageiras, pode aprimorar significativamente a produtividade das pastagens. A inoculação dessas bactérias não apenas aumenta o número de folhas e perfilhos, mas também melhora a qualidade do solo, favorecendo o crescimento das

plantas (BATISTA, 2023; GOMES et al., 2023). A maior produção de biomassa resulta em maiores quantidades de carbono alocadas no solo, por meio da raiz (DUARTE, 2020).

O *Azospirillum* apresenta comportamento endofítico facultativo, podendo colonizar tecidos internos da planta ou viver externamente (DOBBELAERE et al., 2003), por isso é considerado uma bactéria “facultativa”, termo que se refere à sua flexibilidade metabólica ou ao seu estilo de vida. Ele pode fixar nitrogênio em associação com plantas ou de forma independente, dependendo das condições ambientais (BASHAN, Y.; HOLGUIN, G.; DE-BASHAN, L. E., 2004; DOBBELAERE et al., 2003).

Shockness (2016) identificou bactérias diazotróficas dos gêneros *Azospirillum* spp. e *Herbaspirillum* spp. associadas a *B. brizantha* e *B. decumbens*, demonstrando a diversidade microbiana nessas plantas forrageiras. O estudo isolou e caracterizou 15 bactérias diazotróficas, das quais três se destacaram como mais promissoras para o crescimento de *B. brizantha* cv. Marandu. Esses achados ressaltam a importância das bactérias diazotróficas na promoção do crescimento das plantas forrageiras e seu potencial como alternativa sustentável para aumentar a produtividade das pastagens.

Segundo Walker T.S. citado por Fernandes (2020), as bactérias denominadas facultativas, como as do gênero *Pseudomonas*, *Burkholderia*, *Azospirillum* e *Bacillus*, produzem e secretam algumas substâncias secundárias que atuam como antibióticos, fungicidas, antivirais e agentes imunossupressores (Figura 2).

A utilização de BPCV, especialmente do gênero *Azospirillum*, tem se mostrado uma estratégia promissora para a melhoria da produtividade de forrageiras, como a *B. brizantha* cv. Marandu. Estudos recentes demonstram que a inoculação com essas bactérias pode resultar em significativas modificações fisiológicas e produtivas nas plantas, incluindo aumento da altura, número de folhas e perfilhos, além de maior produção de matéria seca (TERRA, L. E. M., 2020).

De acordo com Bashan e Vejan, citados por Zeffa (2019), bactérias do gênero *Azospirillum* promovem o crescimento vegetal por diversos mecanismos, incluindo a produção de fitormônios como ácido indolacético, citocininas e giberelinas, além da FBN (Figura 2). Esses processos estimulam o desenvolvimento radicular e aumentam a capacidade de absorção de água e nutrientes pelas plantas, contribuindo para a disponibilização de nitrogênio em espécies não leguminosas (PANKIEVICZ e DE-BASHAN apud ZEFFA, 2019).

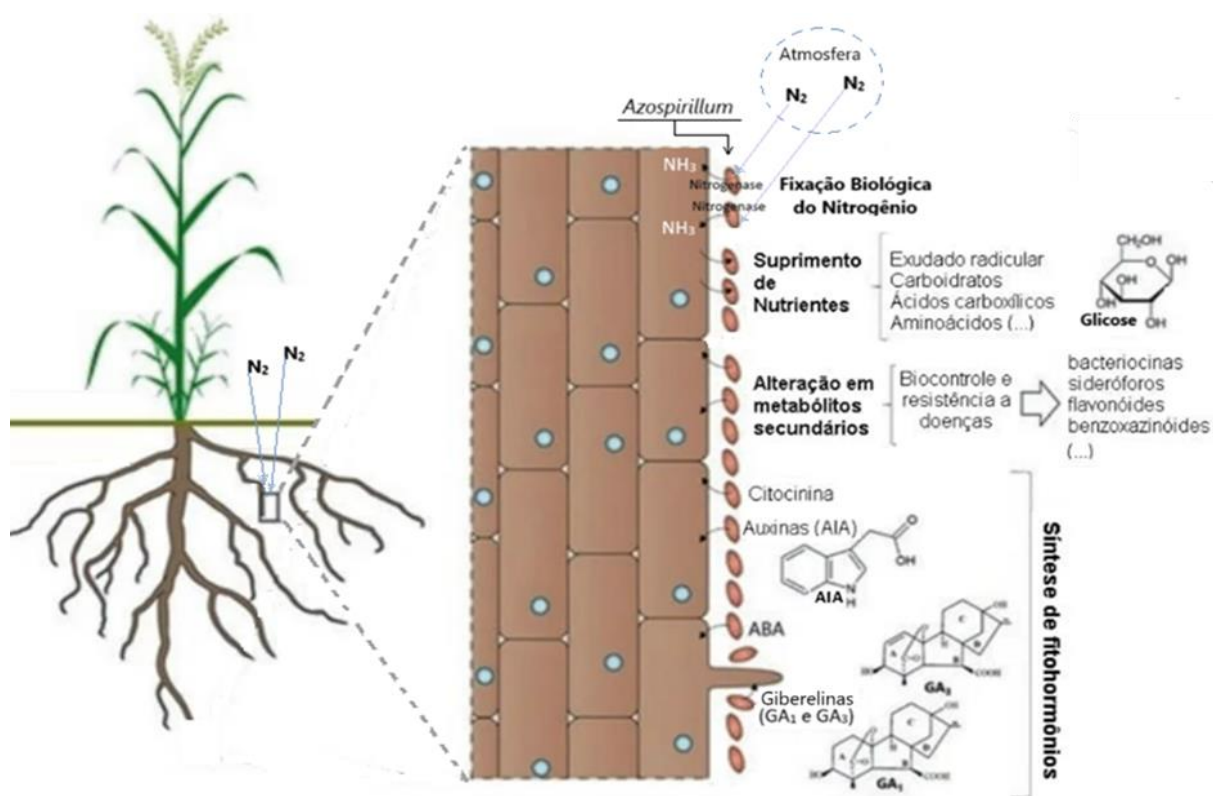


Figura 2- Efeitos positivos do *Azospirillum* nas raízes das plantas. AIA: ácido 3-indol-acético. ABA: ácido abscísico. Fonte: Adaptado de Rodrigues et al.,2015.

Cassán et al. (2020) reforçam essas evidências, apontando que, ao longo de nove décadas de pesquisas, ficou comprovada a associação do gênero *Azospirillum* à produção de fitormônios, como ácido indol-3-acético (IAA), citocininas, giberelinas e etileno (Figura 2). Esses compostos, acumulados no meio de cultivo, promovem efeitos positivos no crescimento das plantas que vão além da simples presença de células bacterianas, fenômeno descrito como o "efeito hormonal da inoculação". Nesse contexto, estirpes de *A. brasilense* selecionadas no Brasil se destacam pela alta produção de fitormônios, especialmente ácido indolacético (AIA), o que favorece o desenvolvimento radicular, melhora a absorção de água e nutrientes e aumenta a tolerância das plantas a condições de estresse hídrico, resultando em benefícios nutricionais (SANTOS, M. S.; NOGUEIRA, M. A.; HUNGRIA, M., 2021).

Considerando o fato de que o mercado brasileiro de fertilizantes é, em grande parte, dependente das importações, encontrar alternativas para o uso mais eficiente dos fertilizantes como bactérias fixadoras de nitrogênio atmosférico, podem desempenhar um papel relevante e estratégico no sistema de produção (HUNGRIA, 2011). Corroborando com Silva (2008) que já havia constatado que para espécies do gênero *Brachiaria* e *Panicum* a inoculação com

Azospirillum spp. foi suficiente para excluir a primeira adubação nitrogenada (50 kg de N ha⁻¹) do processo de adubação para formação da pastagem.

Tão importante quanto a nutrição das plantas forrageiras é o seu manejo. O conhecimento de variações na massa foliar nas pastagens é essencial para melhor manejo do pastejo (CERRI et al., 2015). A massa de folhas pode determinar alteração na taxa de acúmulo de forragem no pasto e na taxa de consumo de forragem dos animais (CARVALHO et al., 2009). O manejo do pastejo com base nas características estruturais do dossel é importante para que a maior parte da forragem consumida pelo animal seja composta por lâminas foliares, já que apresentam geralmente melhor valor nutritivo que os colmos e determina que diversos cultivares podem ser recomendados, desde que as exigências nutricionais de cada um sejam atendidas (SILVA et al., 2016).

Variáveis morfogênicas indicam que o aporte de nitrogênio acelera o fluxo de aparecimento e expansão das lâminas foliares, fazendo com que novas folhas estejam prontamente disponíveis para consumo, possibilitando a colocação de mais unidades animais por área (ONGARATTO et al., 2021). Assim, compreender como é a resposta da *B. brizantha* cv. Marandu à inoculação com *Azospirillum* no Cerrado muito provavelmente será uma interessante forma de aperfeiçoar o manejo produtivo uma vez que na literatura os resultados de pesquisa mostram que mesmo em um bioma específico, há grandes variações na produção e no valor nutritivo das forrageiras. Essas afirmações, portanto, contribuem para o avanço de tecnologias voltadas à produção de forragem de alta qualidade e sustentável.

3 - MATERIAL E MÉTODOS

Para compreender a dinâmica de uso e os efeitos do inoculante com *Azospirillum*, foi realizada uma revisão bibliográfica focada no impacto da inoculação de *Azospirillum brasilense* em gramíneas forrageiras tropicais. A pesquisa envolveu levantamento nas principais bases de dados científicas, como Scopus, Web of Science e Google Acadêmico. Foram incluídos na análise artigos completos, dissertações e teses em português, inglês e espanhol, que abordaram o uso de inoculantes de *A. brasilense* em plantas do gênero *Brachiaria*.

De modo geral, a revisão de literatura priorizou trabalhos que analisam os efeitos do uso de inoculantes de *Azospirillum* em gramíneas do gênero *Brachiaria*. Foram levantados 40 trabalhos alusivos, dos quais 21 foram selecionados para a revisão e dentre estes 14

selecionados para comporem a meta- análise

Daqueles 21 estudos avaliados, 9 foram conduzidos no Bioma Cerrado, representando 43% do total. Já entre os 14 estudos selecionados para a meta-análise, esse percentual aumentou para 57%, pois 8 desses estudos foram realizados no Cerrado. Em relação aos cultivares, o capim Marandu esteve presente em 18 dos 21 estudos, correspondendo a 86% do total, e foi utilizado em 100% dos estudos selecionados para a meta-análise, evidenciando sua predominância nas pesquisas analisadas.

Os critérios de exclusão aplicados foram estudos duplicados ou com foco em culturas que não fossem forrageiras, além de artigos que não apresentassem resultados experimentais claros ou mesmo alguns que não relacionassem diretamente a inoculação com a produtividade das plantas.

Após a seleção, analisou-se artigos para a extração de informações relevantes, como os principais destaques do trabalho, resultados encontrados e conclusões, local de realização dos experimentos (cidade e bioma), estirpes de *Azospirillum* utilizadas, dosagens de inoculantes utilizadas, processo de inoculação utilizado (via semente, no sulco de plantio ou aplicação foliar) e os principais resultados quanto à produção de biomassa da parte aérea, produção de raiz e número de perfilhos, eficiência no uso de nitrogênio e tolerância ao estresse hídrico. Para organizar os dados, foi realizado o fichamento dos materiais por meio da estruturação de uma planilha em Microsoft Excel.

Essa análise permitiu definir faixas de variação produtiva de biomassa, raiz e número de perfilho em função dos diferentes níveis de aplicação de *Azospirillum* spp., associado ou não a fertilizantes químicos.

Os dados coletados foram sistematizados em tabelas comparativas para identificar padrões e divergências nos resultados entre os estudos analisados, proporcionando uma visão clara sobre o impacto do uso de *A. brasilense* na produção e desenvolvimento das gramíneas forrageiras. Na sequência, com o objetivo de padronizar os dados para uma posterior meta-análise, as informações coletadas no levantamento do estudo foram convertidas em valores nominais e percentuais.

A meta-análise foi realizada utilizando o software estatístico R, especificamente com o pacote Metafor (versão 4.4.2). Os fatores avaliados foram tratados como de efeitos aleatórios, considerando a heterogeneidade observada ao analisar o incremento médio (IM) para raiz, biomassa e número de perfilhos entre os tratamentos. As médias dos tratamentos foram ponderadas por meio do método de variância inversa, seguindo a abordagem proposta por Der-Simonian e Laird (1986) para modelos baseados em efeitos aleatórios.

Heterogeneidade do efeito de tratamento foi avaliada através do teste do Qui-quadrado (Q) e da estatística I^2 , a qual mede a porcentagem de variação devido a heterogeneidade (HIGGINS et al., 2008). Viés de publicação foi avaliado usando o teste de assimetria de Egger (EGGER et al., 1997).

Após a análise estatística os resultados foram agrupados em: subgrupos que incrementaram produção de biomassa; subgrupos que incrementaram produção de número de perfilhos e subgrupos que incrementaram produção de raiz.

4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 - Resultados de pesquisa com utilização de *Azospirillum* spp. em *B. brizantha* cv.

Marandu

A inoculação com *A. brasilense* tem se mostrado eficaz em aumentar a produção de biomassa e a eficiência nutricional em gramíneas, como o capim-Marandu. Além de otimizar a fixação de nitrogênio, esse processo ajuda a mitigar o estresse hídrico e contribui para a redução do uso de fertilizantes químicos. No mapa (Figura 3) demonstra diversos estudos, analisados nesta revisão, que de maneira geral destacam os benefícios dessa prática em diferentes regiões do Brasil, reforçando seu potencial para promover maior sustentabilidade e melhorar o manejo em pastagens.

a inoculação foi equivalente a aplicação de 40 kg N ha⁻¹. A contribuição do *Azospirillum* gerou um ganho de 0,103 Mg C ha⁻¹, equivalente a 0,309 Mg CO₂-eq ha⁻¹ (HUNGRIA et al., 2016).

Segundo Terra (2020), a inoculação de *A. brasilense* no capim-Marandu revelou aumentos de 60% e 57% na massa seca aos 60 e 90 dias de crescimento respectivamente, em comparação com o tratamento controle. Esses resultados demonstram um impacto positivo e significativo no aumento da biomassa.

Parreira et al. (2015), avaliaram o efeito da bactéria *A. brasilense* na fertilização do solo para pastagens de capim-Marandu, utilizando diferentes tratamentos de adubação química e orgânica. Observaram diferença significativa para Potássio (K) e Zinco (Zn) na camada de 0-20 cm aos 56 dias após a aplicação. A inoculação de *Azospirillum* combinada com cama aviária melhorou a produção de biomassa, sugerindo a redução na necessidade de adubação química.

A inoculação de estirpes de *Azospirillum*, em particular a estirpe AZ04, promoveu um aumento considerável no número de folhas e perfilhos do capim-Marandu, em comparação com plantas não inoculadas. Esses resultados indicam o potencial das bactérias diazotróficas em contribuir para a produção de forragem de forma sustentável, ao fornecer parte do nitrogênio necessário para o crescimento das plantas através da fixação biológica de nitrogênio (GUIMARÃES et al., 2011).

A aplicação de *A. baldaniorum* resultou em um aumento do acúmulo de massa seca e do número de raiz em capim-Marandu, evidenciando a resposta positiva ao processo de inoculação (GOMES et al., 2023).

Já Pedreira et al. (2017) em seu estudo sobre densidade populacional e perfilhamento em pastagens de capim-Marandu adubada com ureia ou inoculada com *A. brasilense*, concluíram que a dose de nitrogênio ou a inoculação com *A. brasilense* não apresentaram diferenças estatisticamente significativas no aumento da biomassa, digestibilidade da forragem e proteína bruta. As variáveis de taxa de aparecimento, taxa de mortalidade, taxa de sobrevivência e densidade populacional de perfilho foram influenciadas pela sazonalidade, mas não pelas estratégias de adubação nitrogenada ou inoculação.

Moreira et al. (2020) investigaram o impacto da inoculação e do período de irrigação na simbiose entre *B. brizantha* cv. Marandu e *A. brasilense* e concluíram que a inoculação melhorou significativamente o crescimento das plantas e que a irrigação deve ocorrer até 8 dias após a semeadura para garantir o sucesso da interação. Períodos mais longos sem irrigação prejudicam o sistema, destacando a importância de estratégias biológicas em ambientes com baixa disponibilidade hídrica.

Hanisch, Balbinot e Vogt (2017) em experimento conduzido na cidade Papanduva em Santa Catarina concluíram que a inoculação de sementes de *B. brizantha* cv. Marandu com *A. brasilense* e doses de nitrogênio em cobertura não tiveram impacto significativo na produção de forragem, composição química (incluindo proteína bruta) ou digestibilidade. Em clima subtropical e solo rico em matéria orgânica, nem a inoculação nem a interação com doses de nitrogênio até 150 kg ha⁻¹ influenciaram a produção de forragem, com impacto apenas no primeiro ano de adubação nitrogenada.

Já Menezes et al. (2020) conduziram um experimento que revelou um aumento significativo na produção de matéria seca de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu com a inoculação de *A. brasilense*. Aos 45 dias, a matéria fresca da parte aérea apresentou um incremento de 65%, alcançando 73% aos 90 dias. Além disso, a inoculação melhorou a nutrição e o desenvolvimento da forrageira, evidenciando seu potencial para otimizar a produtividade em sistemas de pastagem.

Modesto, V. C. (2017) mostrou que a inoculação do capim-Marandu com *A. brasilense* resultou em benefícios significativos como aumento do tempo de pastejo como resultado da maior produção de biomassa, maior perfilhamento nas fases iniciais do crescimento da forrageira e maior produção de matéria seca por hectare. O crescimento radicular mais intenso, promovido pela bactéria, melhorou a absorção de água e nutrientes. Além disso, o consórcio de milho com Capim-Marandu, para produção de grãos, independentemente de ser ou não inoculada com *Azospirillum brasilense*, demonstrou ser economicamente viável, especialmente para a recuperação de áreas degradadas e aumento da rentabilidade agrícola.

Rodrigues (2020), indicou que a inoculação com *A. brasilense* teve um impacto significativo na produção de biomassa de forrageiras, especialmente em períodos de baixa disponibilidade hídrica. O *Megathyrus maximus* (Jacq.) B.K. cv. Tanzânia obteve o melhor desempenho em massa fresca, independentemente das variações de precipitação. A *B. brizantha* cv. Marandu também apresentou bons resultados em termos de produção de massa fresca e seca, comparado ao cultivar MG-13 Braúna, destacando o potencial da inoculação bacteriana no aumento de produtividade.

Fukami, Cerri e Hungria (2018) demonstrou que a inoculação de *Azospirillum* promoveu tolerância a estresses abióticos e bióticos nas plantas forrageiras, além de aumentar a biomassa e a proteção da clorofila. A co-inoculação com *Bradyrhizobium* aumentou a nodulação e o rendimento de grãos sob estresse hídrico moderado. O *Azospirillum* fixou nitrogênio e sintetizou fitohormônios, contribuindo para práticas agrícolas mais sustentáveis

e eficazes, com potencial para reduzir os impactos ambientais e melhorar a produtividade das culturas.

Em uma revisão narrativa de literatura, Porto et al. (2022), investigaram o uso de microrganismos promotores de crescimento e fungos micorrízicos arbusculares para mitigar o estresse hídrico em plantas forrageiras. A co-inoculação com *A. brasilense* aumentou a tolerância das plantas ao déficit hídrico, melhorando a produção de clorofilas e carotenoides. A inoculação também reduziu a necessidade de adubação nitrogenada em até 20%. O estudo enfatizou a relevância desses microrganismos para a resiliência da produção animal e a sustentabilidade em regiões semiáridas.

Já o trabalho realizado por Toledo et al. (2019), teve como objetivo principal investigar o papel das gramíneas forrageiras do gênero *Brachiaria* na produção animal, com ênfase nos compostos alelopáticos liberados por essas plantas e sua influência na associação com bactérias diazotróficas. A pesquisa analisou como esses compostos interferem na FBN e destacou a importância dessa interação para sistemas agrícolas sustentáveis. Além disso, foram discutidas estratégias para melhorar a eficiência da FBN e promover práticas agrícolas mais resilientes em áreas degradadas.

Heinrichs et al. (2020), teve como objetivo avaliar os efeitos da inoculação de sementes de *A. brasilense* na produção de massa seca e no estado nutricional de *B. brizantha* cv. Marandu em solo de baixa fertilidade durante dois anos. Como resultado, a inoculação das sementes aumentou a massa seca da parte aérea em 13% no primeiro ano e em 6% no segundo ano. A aplicação de nitrogênio aumentou a produção de massa seca em 27% e 35% no primeiro e segundo ano, respectivamente. A inoculação de *A. brasilense* aumentou a produção de massa seca da raiz em 36% com a adubação de 25 kg N ha⁻¹ no primeiro ano e em 17% no segundo ano. Por fim, a adubação nitrogenada afetou as concentrações de nutrientes na parte aérea da planta, incluindo N, P, Mg, Fe, Mn, Zn e Cu.

4.2 - Resultado da meta-análise de estudos com utilização de *Azospirillum* spp. em *Brachiaria brizantha* cv. Marandu

A meta-análise realizada, gerou gráficos do tipo “Forest plot” utilizado para apresentar os resultados de diferentes estudos ou subgrupos de forma comparativa. Abaixo, descrição de cada componente no gráfico:

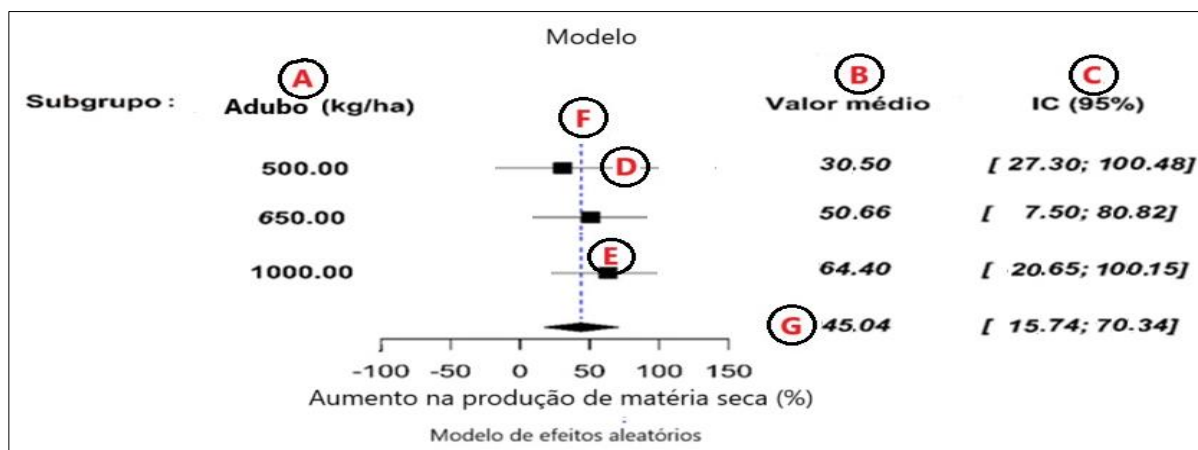


Figura 4 – Modelo de Gráfico "Florest plot". Fonte: O autor

A. Subgrupo: Tratamentos ou condições avaliadas

B. Valor estimado, em percentual (%), do incremento médio para cada subgrupo ou condição.

C. Valores onde se espera que o valor real do incremento médio esteja, com 95% de confiança.

D. Representa graficamente os intervalos de confiança de 95% para cada subgrupo.

E. Valor médio estimado para o subgrupo (quadrados ou diamantes). Quanto maior a figura, maior o peso estatístico do subgrupo na análise.

F. Ponto de referência (incremento igual a zero). Resultados à direita dessa linha sugerem aumento positivo na produção, enquanto valores à esquerda indicam redução.

G. Valor Geral-Agrega os resultados de todos os subgrupos, mostrando o incremento médio global.

4.2.1 - Meta-análise para investigação da heterogeneidade causada por diferentes subgrupos sobre o incremento percentual da produção de biomassa

4.2.1.1 – Subgrupo: Dosagem de N em incremento de biomassa

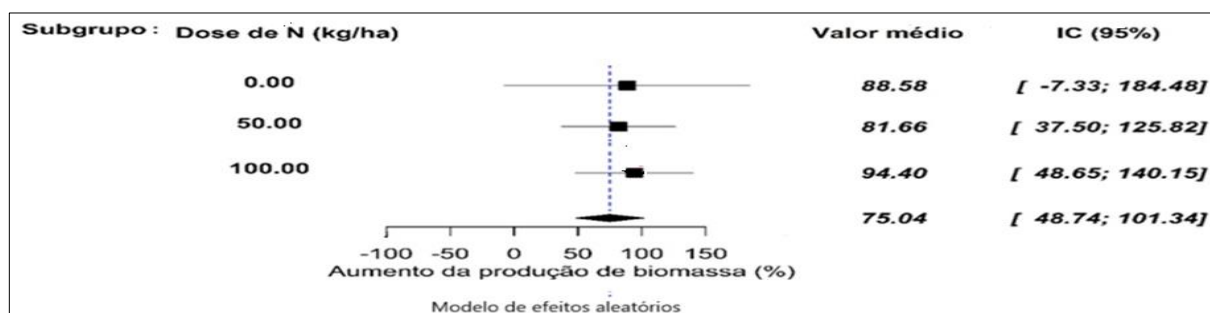


Gráfico 1- Efeito das dosagens de nitrogênio sobre o incremento percentual da produção de biomassa.

Tabela 1- Heterogeneidade dos efeitos das dosagens de nitrogênio no incremento percentual da produção de biomassa.

Subgrupo	Nun.	Modelo	Incremento de Biomassa (%)				
			I ² (%)	χ ²	Rb (%)	IM (%)	IC de 95% (%)
<i>Doses de N</i>							
Kg ha⁻¹ = 0,00	10	Aleatório	97	X² (9)=296 (p < 0,01)	97	89	7 a 185
Kg ha⁻¹ = 50,00	16	Aleatório	93	X² (15)=231 (p < 0,01)	83	82	38 a 126
Kg ha⁻¹ = 100,00	13	Aleatório	91	X² (12)=127 (p < 0,01)	78	94	49 a 140
Geral	47	Aleatório	94	X² (46)=735 (p < 0,01)	87	75	49 a 101
Geral	47	Aleatório	94	X² (46)=735 (p < 0,01)	87	75	49 a 101

Num. - número de observações em todos os estudos; **I²** - Índice de Heterogeneidade; **χ²** - Estatística Qui-Quadrado; **Rb** - Proporção da Variância Explicada pelo Modelo; **IM** - Incremento Médio; **IC** - intervalo de confiança.

Na Tabela -1, em complementariedade ao Gráfico 1, é possível ver o número de observações incluídas nos estudos analisados para cada subgrupo(Num.); o índice de heterogeneidade (I²) que representa a porcentagem da variabilidade total atribuída à heterogeneidade entre os estudos, em vez do acaso; a estatística “Qui-Quadrado” (χ²) que mostra os resultados do teste de heterogeneidade, indicando se há diferença significativa (p < 0,01) entre os estudos e ainda a proporção da variância explicada pelo modelo (Rb). Como no gráfico, a tabela especifica que foi utilizado o modelo de efeito aleatório.

Para a dose de 0 kg ha⁻¹, o aumento médio da produção de biomassa foi de 89% e IC de -7 a 185%, com I² de 97%, indicando uma alta variabilidade entre os estudos. Na dose de 50 kg ha⁻¹, o aumento médio foi de 82 % e IC de 37,5 a 126%, com I² = 93% e Rb = 83%. Com aplicação de 100 kg ha⁻¹, a produção de biomassa aumentou 94% com IC de 49 a 140 %, I² = 91% e Rb = 78%. No geral, as diferentes doses de N promoveram um IM de 75% na produção de biomassa, com um IC de 49 a 101%, e uma heterogeneidade geral de I² = 94% e Rb = 87%.

4.2.1.2 – Subgrupo: “Unidade Formadora de Colônias – UFC” em incremento de biomassa

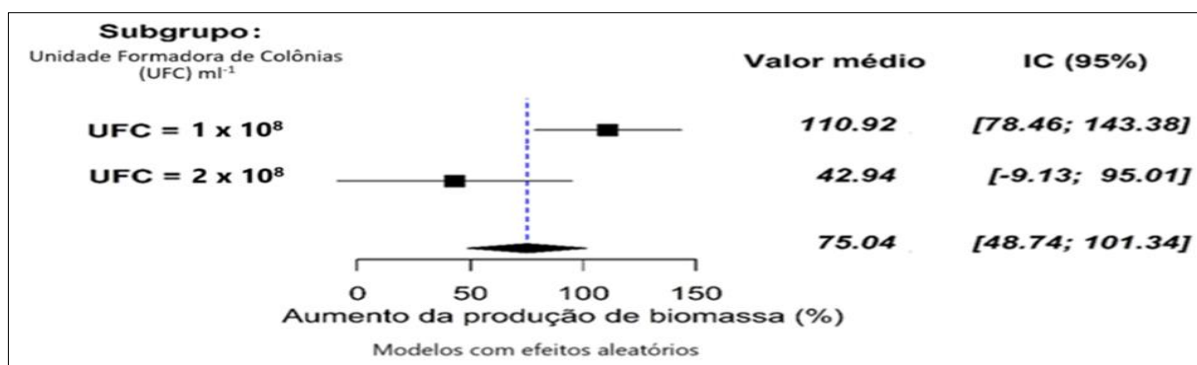


Gráfico 2– Efeito de diferentes concentrações de unidade formadora de colônias (UFC) ml⁻¹ no inoculante, sobre o incremento percentual da produção de biomassa.

Tabela 2- Heterogeneidade dos efeitos de diferentes concentrações de unidade formadora de colônias (UFC) ml⁻¹ no inoculante, sobre o incremento percentual da produção de biomassa.

Subgrupo	Nun.	Modelo	Incremento de Biomassa (%)						
			I ² (%)	χ^2	Rb (%)	IM (%)	IC de 95% (%)		
<i>UFC</i>									
1 x 10 ⁸ UFC ml ⁻¹	21	Aleatório	93	X ² ₍₂₀₎ =301 (p < 0,01)	93	111	79	a	143
2 x 10 ⁸ UFC ml ⁻¹	19	Aleatório	94	X ² ₍₁₈₎ =297 (p < 0,01)	81	43	-9	a	95
Geral	47	Aleatório	94	X ² ₍₄₆₎ =735 (p < 0,01)	87	75	49	a	101

Num. - número de observações em todos os estudos; I² - Índice de Heterogeneidade; χ^2 - Estatística Qui-Quadrado; Rb - Proporção da Variância Explicada pelo Modelo; IM - Incremento Médio; IC - intervalo de confiança.

Na Tabela -2, em complementariedade ao Gráfico 2, é possível ver também, o aumento percentual na produção de biomassa em diferentes concentrações de unidades formadoras de colônias (UFC) por ml no inoculante.

O subgrupo, com concentração de 1 x 10⁸ UFC ml⁻¹, o IM foi de 111%, com um IC de 78,5 a 143%, I² = 93% e Rb = 93%. Já o subgrupo com concentração de 2 x 10⁸ UFC ml⁻¹, apresentou um IM de 43% na produção de biomassa, com um IC variando de -9 % a 95%, uma alta heterogeneidade de I² = 94% e Rb = 81%.

No geral, os diferentes subgrupos promoveram um IM de 75% na produção de biomassa, com um IC de 49 a 101%, e uma heterogeneidade geral de I² = 94% e Rb = 87%.

4.2.1.3 – Subgrupo – “Estirpes” em incremento de biomassa

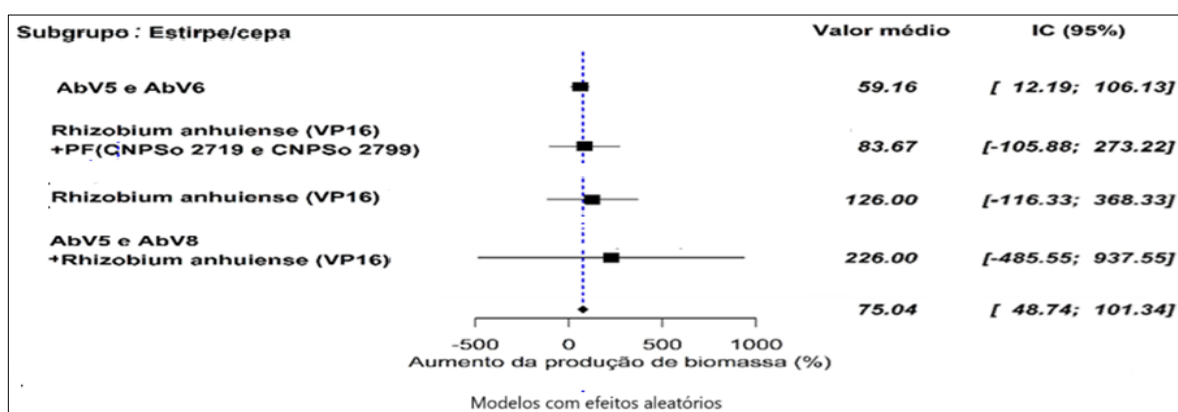


Gráfico 3- Efeito de diferentes estirpes de *Azospirillum*, ou em coinoculação, sobre o incremento percentual da produção de biomassa.

Tabela 3- Heterogeneidade dos efeitos de diferentes estirpes de BPCV sobre o incremento percentual da produção de biomassa.

Subgrupo	Nun.	Modelo	Incremento de Biomassa (%)				
			I ² (%)	χ^2	Rb (%)	IM (%)	IC de 95% (%)
<i>Estirpe</i>							
Ab-V5 e Ab-V6	21	Aleatório	95	$X^2_{(20)} = 398$ (p < 0,01)	94	59	12 a 106
Ra* (VP16) +PF (CNPSo 2719 e CNPSo 2799)	3	Aleatório	94	$X^2_{(2)} = 36$ (p < 0,01)	94	84	-106 a 273
<i>Rhizobium anhuiensis</i> (VP16)	3	Aleatório	97	$X^2_{(2)} = 58$ (p < 0,01)	97	126	-116 a 368
AbV5 e AbV8 + Ra* (VP16)	2	Aleatório	95	$X^2_{(1)} = 19$ (p < 0,01)	95	226	-486 a 938
Geral	47	Aleatório	94	$X^2_{(46)} = 735$ (p < 0,01)	87	75	49 a 101

Num. - número de observações em todos os estudos; I² - Índice de Heterogeneidade; χ^2 - Estatística Qui-Quadrado; Rb - Proporção da Variância Explicada pelo Modelo; IM - Incremento Médio; IC - intervalo de confiança. *Ra - *Rhizobium anhuiensis*

Na Tabela -3, em complementariedade ao Gráfico 3, é possível ver também, o impacto de diferentes estirpes ou cepas na produção percentual de biomassa.

A combinação de AbV5 e AbV6, resultou em um IM de 59% na produção de biomassa, com um IC entre 12 e 106%, I² de 94% e Rb também de 94%. A combinação das estirpes, *Rhizobium anhuiensis* (VP16) + PF (CNPSo 2719 e CNPSo 2799), resultou em um IM de 84% de biomassa, com IC de -106 a 273%, I² de 94% e Rb também de 94%.

Já a combinação AbV5 e AbV8 com bactérias de outro gênero, *Rhizobium anhuiensis* (VP16), resultou em um IM de 226%, com IC de -486 a 938%, I² de 95% e Rb também de 95%. Praticamente o dobro do incremento, que a estirpe *Rhizobium anhuiensis* (VP16) promoveu isoladamente, que foi um aumento médio de 126% com o IC de -116 a 368%; I² de 97% e Rb também de 97%. Sugerindo o efeito sinérgico do *Azopirillum*.

No geral o IM na produção de biomassa foi de 75%, com um IC de 49 a 101%, I² de 94% e Rb de 87%.

4.2.2 - Meta-análise para investigação da heterogeneidade causada por diferentes subgrupos sobre o incremento percentual da produção de perfilhos

4.2.2.1 – Subgrupo: “Dosagem de N” em incremento de número de perfilhos

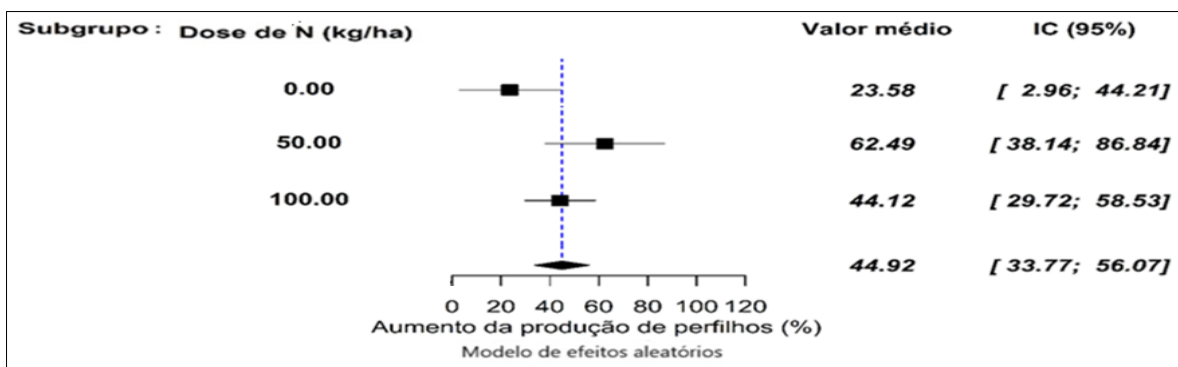


Gráfico 4- Efeito das dosagens de nitrogênio sobre o incremento percentual da produção de número de perfilhos.

Tabela 4- Heterogeneidade dos efeitos das dosagens de nitrogênio no incremento percentual da produção de número de perfilhos.

Subgrupo	Nun.	Modelo	Incremento de Perfilhos (%)				
			I ² (%)	χ ²	Rb (%)	IM (%)	IC de 95% (%)
<i>Doses de N</i>							
Kg ha ⁻¹ = 0,00	9	Aleatório	85	X ² (8)=53 (p<0,01)	86	24	3 a 44
Kg ha ⁻¹ = 50,00	11	Aleatório	95	X ² (10)=201 (p<0,01)	95	63	38 a 87
Kg ha ⁻¹ = 100,00	8	Aleatório	78	X ² (7)=32 (p<0,01)	78	44	30 a 59
Geral	32	Aleatório	93	X ² (31)=426 (p<0,01)	92	45	34 a 56

Num. - número de observações em todos os estudos; I² - Índice de Heterogeneidade; χ² - Estatística Qui-Quadrado; Rb - Proporção da Variância Explicada pelo Modelo; IM - Incremento Médio; IC - intervalo de confiança.

Na Tabela -4, em complementariedade ao Gráfico 4, é possível ver também, o aumento percentual da produção de número de perfilhos em função de diferentes doses de N aplicadas em kg ha⁻¹.

Para a dose de 0 kg ha⁻¹, o IM da produção de perfilho foi de 24% e IC de 3 a 44%, com I² de 85% e Rb de 86%. Na dose de 50 kg ha⁻¹, o IM foi de 63% em um IC de 38 a 87%, com I² de 95% e Rb de 95%. Já com 100 kg ha⁻¹, a produção de perfilho aumentou em média 44% em um IC de 30 a 59%, com I² de 78% e Rb 78%. No geral IM foi de 45%, IC de 34 a 56%, com I² = 93% e Rb de 92%.

4.2.2.2 – Subgrupo: “Unidade Formadora de Colônias – UFC” em incremento de número de perfilhos

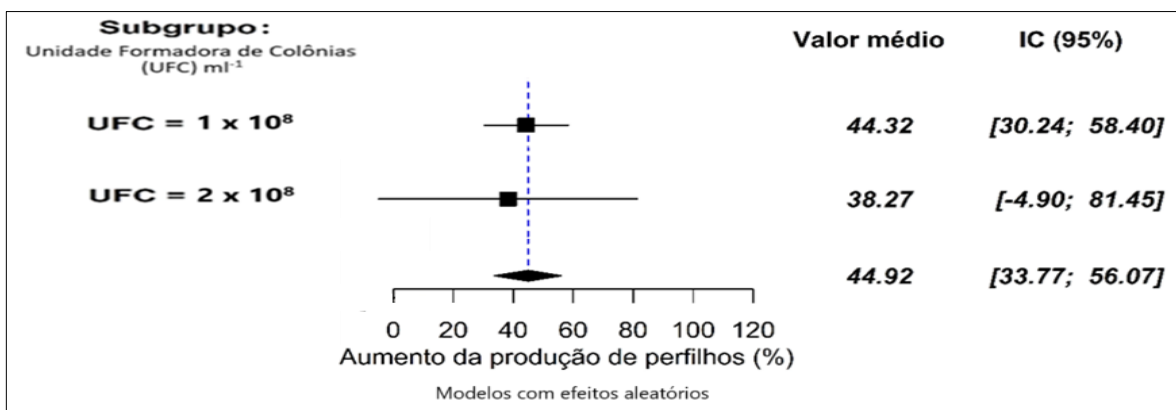


Gráfico 5- Efeito de diferentes concentrações de unidade formadora de colônias (UFC) ml⁻¹ no inoculante, sobre o incremento percentual da produção de número de perfilhos.

Tabela 5- Heterogeneidade dos efeitos de unidade formadora de colônias (UFC) ml⁻¹ no inoculante, sobre o incremento percentual da produção de número de perfilhos.

Subgrupo	Nun.	Modelo	Incremento de Perfilhos (%)				
			I ² (%)	χ ²	Rb (%)	IM (%)	IC de 95% (%)
<i>UFC</i>							
1 x 10 ⁸ UFC ml ⁻¹	24	Aleatório	94	X ² (23)=382 (p<0,01)	94	44	30 a 58
2 x 10 ⁸ UFC ml ⁻¹	4	Aleatório	91	X ² (3)=34 (p<0,01)	91	38	-5 a 82
Geral	32	Aleatório	93	X ² (31)=426 (p<0,01)	92	45	34 a 56

Num. - número de observações em todos os estudos; I² - Índice de Heterogeneidade; χ² - Estatística Qui-Quadrado; Rb - Proporção da Variância Explicada pelo Modelo; IM - Incremento Médio; IC - intervalo de confiança.

Na Tabela -5, em complementariedade ao Gráfico 5, é possível ver também, o aumento percentual no número de perfilhos em diferentes concentrações de unidade formadora de colônias (UFC) ml⁻¹ no inoculante.

No subgrupo com 1 x 10⁸ UFC ml⁻¹, o IM foi de 44%, com um IC de 30 a 58%, I² de 94% e Rb também de 94%. Já para o subgrupo com 2 x 10⁸ UFC ml⁻¹, o IM foi de 38% na produção, com IC variando de -5 a 82%, com I² de 91% e Rb também de 91%.

No geral, o IM foi de 45% na produção de número de perfilhos, com IC de 34 a 56 %, I² de 93% e Rb de 92.

4.2.2.3 – Subgrupo – “Estirpes” em incremento de número de perfilhos

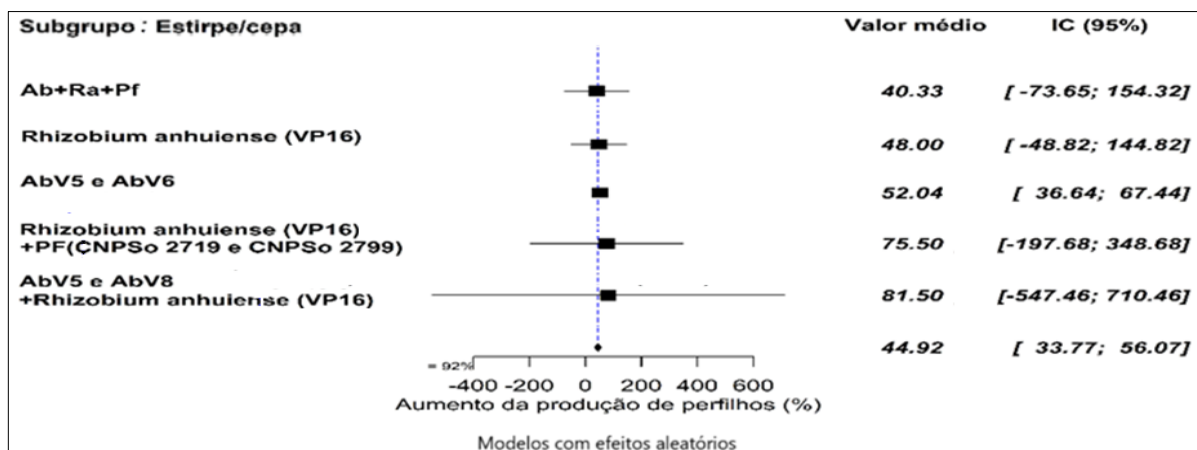


Gráfico 6- Efeito de diferentes estirpes de BPCV sobre o incremento percentual da produção de número de perfilhos.

Tabela 6- Heterogeneidade dos efeitos de diferentes estirpes de BPCV sobre o incremento percentual de número de perfilhos.

Subgrupo	Num.	Modelo	Incremento de Perfilhos (%)				
			I ² (%)	χ ²	Rb (%)	IM (%)	IC de 95% (%)
<i>Estirpe</i>							
Ab + Ra + Pf	3	Aleatório	97	X ² (2) = 64 (p < 0,01)	97	40	-74 a 154
Rhizobium anhuiensis (VP16)	3	Aleatório	96	X ² (2) = 46 (p < 0,01)	96	48	-49 a 145
Ab-V5 e Ab-V6	10	Aleatório	84	X ² (9) = 55 (p < 0,01)	82	52	37 a 67
Ra* (VP16) +PF (CNPSo 2719 e CNPSo 2799)	2	Aleatório	93	X ² (1) = 14 (p < 0,01)	93	76	-198 a 349
AbV5 e AbV8 + Ra* (VP16)	2	Aleatório	99	X ² (1) = 74 (p < 0,01)	99	82	-548 a 711
Geral	32	Aleatório	93	X ² (31) = 426 (p < 0,01)	92	45	34 a 56

Num. - número de observações em todos os estudos; I² - Índice de Heterogeneidade; χ² - Estatística Qui-Quadrado; Rb - Proporção da Variância Explicada pelo Modelo; IM - Incremento Médio; IC - intervalo de confiança. *Ra - *Rhizobium anhuiensis*; Pf - *Pseudomonas fluorescens*

Na Tabela -6, em complementariedade ao Gráfico 6, é possível ver também, o impacto de diferentes estirpes ou cepas de BPCV no incremento percentual do número de perfilho em braquiárias.

A combinação Ab + Ra + Pf, resultou em um IM de 40 % com um IC de -74 a 154%, I² de 97% e Rb também de 97%. A estirpe *Rhizobium anhuiensis* (VP16), promoveu IM de 48% com o intervalo de confiança de -49 a 145%, I² de 96% e Rb também de 96%. Enquanto a combinação das estirpes AbV5 e AbV6, resultou em um IM de 52% na produção de número de perfilho, com um IC variando entre 37 a 67%, I² de 84% e Rb de 82%.

Já a combinação de *Rhizobium anhuiensis* (VP16) + PF (CNPSo 2719 e CNPSo 2799), resultou em um IM de 76% de incremento de número de perfilhos, com IC de -198 a 349%, I² de 93% e Rb também de 93%. Enquanto a combinação AbV5 e AbV8 + *Rhizobium*

anhuiensis (VP16) resultou em um IM de 82%, com IC de -548 a 711%, I² de 99% e Rb também de 99%.

No geral foi apresentado um aumento médio de 45%, com um intervalo de confiança de 34 a 56 %, com I² de 93% e Rb 92%.

4.2.3 - Meta-análise para investigação da heterogeneidade causada por diferentes subgrupos sobre o incremento percentual da produção de raiz

4.2.3.1 – Subgrupo: “Dosagem de N” em incremento de produção de raiz

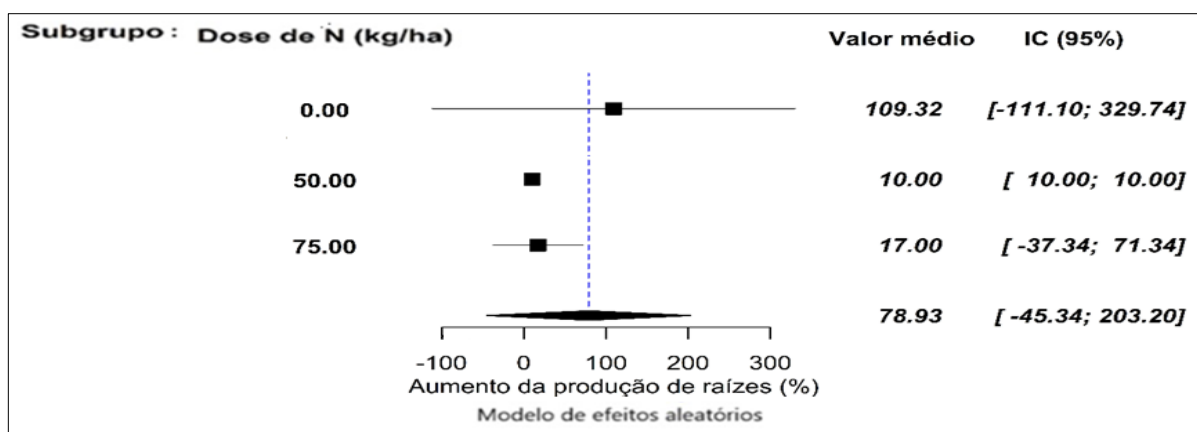


Gráfico 7- Efeito das dosagens de nitrogênio sobre o incremento percentual da produção de raiz.

Tabela 7- Heterogeneidade dos efeitos das dosagens de nitrogênio no incremento percentual da produção de raiz.

Subgrupo	Nun.	Modelo	Incremento de Raiz (%)				
			I ² (%)	χ ²	Rb (%)	IM (%)	IC de 95% (%)
Doses de N							
Kg/ha = 0,00	5	Aleatório	96	X²(4) = 105 (p < 0,01)	96	109	-111 a 330
Kg/ha = 50,00	2	Aleatório	0	X ² (1) = 0 (p = 1,00)	0	10	10 a 10
Kg/ha = 75,00	1	Aleatório	-	-	-	17	-37 a 71
Geral	8	Aleatório	94	X²(7) = 110 (p < 0,01)	85	79	45 a 203

Num. - número de observações em todos os estudos; I² - Índice de Heterogeneidade; χ² - Estatística Qui-Quadrado; Rb - Proporção da Variância Explicada pelo Modelo; IM - Incremento Médio; IC - intervalo de confiança.

Na Tabela -7, em complementariedade ao Gráfico 7, é possível ver também, aumento da produção de raiz em função de diferentes doses de N (kg ha⁻¹) aplicadas em associação com o inoculante de BPCV.

Para a dose de 0 kg ha⁻¹, o IM da produção de perfilho foi de 109% e IC de -111 a 330%, com I² de 96% e Rb de 96%. Na dose de 50 kg ha⁻¹, o IM foi de 10% em um IC de 10 a 10%, com I² de 0% e Rb também de 0%. Já para dose de 75 kg ha⁻¹ de N, o aumento médio na produção de raiz foi de 17%, com IC de -37% a 71%, mas sem heterogeneidade aplicável.

No geral o IM foi de 79%, IC de -45 a 203%, com I² de 94% e Rb de 85%.

4.2.3.2 – Subgrupo: “Unidade Formadora de Colônias – UFC” em incremento de produção de raiz

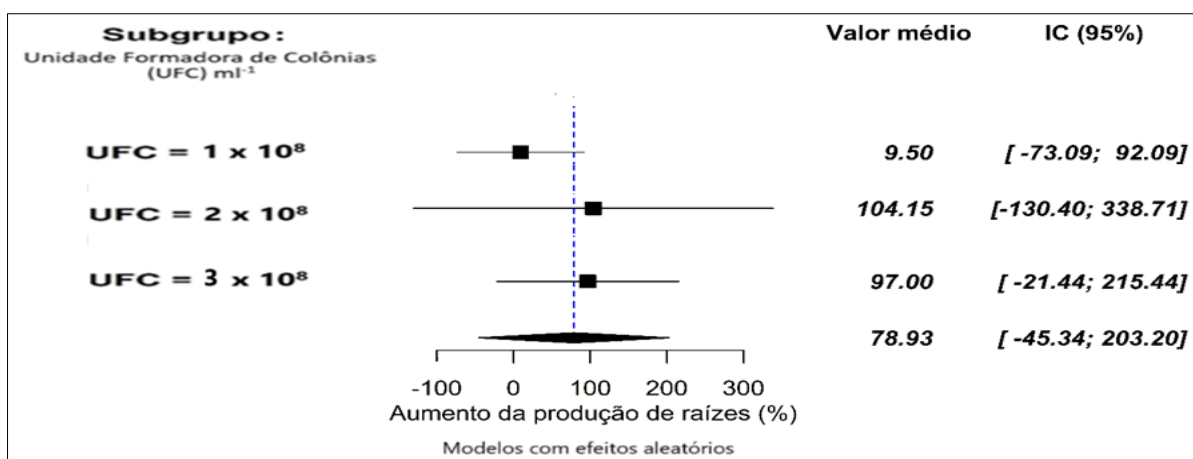


Gráfico 8- Efeito das diferentes concentrações de unidade formadora de colônias (UFC) ml⁻¹ no inoculante, sobre o incremento percentual da produção de raiz.

Tabela 8- Heterogeneidade dos efeitos das diferentes concentrações de unidade formadora de colônias (UFC) ml⁻¹ no inoculante, sobre o incremento percentual da produção de raiz.

Subgrupo	Nun.	Modelo	Incremento de Raiz (%)				
			I ² (%)	χ ²	Rb (%)	IM (%)	IC de 95% (%)
UFC							
1 x 10 ⁸ UFC ml-1	2	Aleatório	0	X ² (1) = 0,1 (p = 0,75)	0	9,5	-73 a 92
2 x 10 ⁸ UFC ml-1	5	Aleatório	96	X ² (4) = 97 (p < 0,01)	96	104	-130 a 339
3 x 10 ¹⁰ UFC ml-1	1	Aleatório	-	-	-	97	-21 a 215
Geral	8	Aleatório	94	X²(7)=110 (p < 0,01)	85	79	45 a 203

Num. - número de observações em todos os estudos; **I²** - Índice de Heterogeneidade; **χ²** - Estatística Qui-Quadrado; **Rb** - Proporção da Variância Explicada pelo Modelo; **IM** - Incremento Médio; **IC** - intervalo de confiança.

Na Tabela -8, em complementariedade ao Gráfico 8, é possível ver também, aumento percentual no número de perfilhos em diferentes concentrações de unidade formadora de colônias (UFC) ml⁻¹ no inoculante.

No subgrupo com concentração de 2 x 10⁸ UFC ml⁻¹, o IM foi de 104% na produção, com IC variando de -130 a 339%, com I² de 96% e Rb de 96%. Para o subgrupo com concentração de 1 x 10⁸ UFC ml⁻¹, o IM foi de 9,5%, com um IC de -73 a 92%, I² de 0% e Rb

também de 0%. Já para o subgrupo com concentração de 3×10^{10} UFC ml⁻¹, o IM foi de 97%, com um IC de -21 a 215%, contudo sem heterogeneidade aplicável.

No geral, o IM foi de 79% na produção de raiz, com um IC de -45 a 203%, com I² de 94% e Rb de 85%.

4.2.3.3 – Subgrupo – “Estirpes” em incremento de produção de raiz

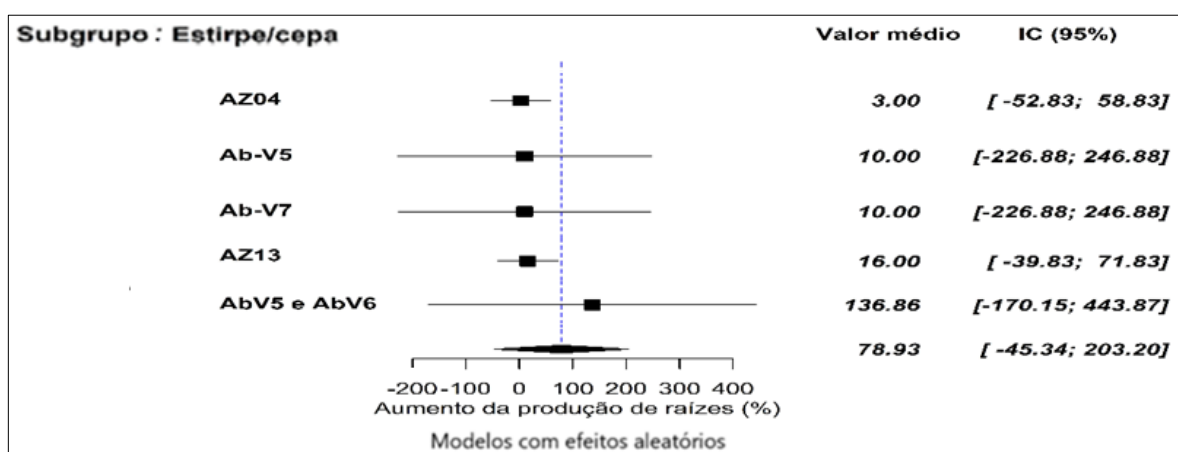


Gráfico 9- Efeito das diferentes estirpes de BPCV sobre o incremento percentual da produção de raiz.

Tabela 9- Heterogeneidade das diferentes estirpes de BPCV sobre o incremento percentual da produção de raiz.

Subgrupo	Nun.	Modelo	Incremento de Raiz (%)				
			I ² (%)	χ ²	Rb (%)	IM (%)	IC de 95% (%)
<u>Estirpe</u>							
AZO4	1	Aleatório	-	-	-	3	-53 a 59
Ab-V5	1	Aleatório	-	-	-	10	-227 a 247
Ab-V7	1	Aleatório	-	-	-	10	-227 a 247
AZ13	1	Aleatório	-	-	-	16	-40 a 72
Ab-V5 e Ab-V6	4	Aleatório	97	X²(3) = 96 (p < 0,01)	96	137	-170 a 444
Geral	8	Aleatório	95	X²(7)=110 (p < 0,01)	85	79	45 a 203

Num. - número de observações em todos os estudos; **I²** - Índice de Heterogeneidade; **χ²** - Estatística Qui-Quadrado; **Rb** - Proporção da Variância Explicada pelo Modelo; **IM** - Incremento Médio; **IC** - intervalo de confiança.

Na Tabela -9, em complementariedade ao Gráfico 9, é possível ver também, o impacto de diferentes estirpes de BPCV no incremento percentual de produção de raiz em braquiárias.

Somente a combinação das estirpes AbV5 e AbV6, resultou em um IM de 137% na produção de número de perfilho, com um IC variando entre -170 a 444%, I² de 97% e Rb de 96%. Todas as demais, não houve heterogeneidade aplicável e/ou cálculo de aumento médio

de produção de raiz. No geral, tem-se um IM de 79% na produção de raiz, com um IC de -45 a 203%, com I^2 de 94% e Rb de 85%.

Vale a ressalva de que a demasiada amplitude dos intervalos de confiança que evidenciam as grandes variações no incremento de biomassa, número de perfilhos e sistema radicular, são decorrentes de diferenças entre os estudos analisados, os quais foram realizados em diferentes locais, diferentes situações e, portanto, em condições experimentais e metodológicas distintas.

Tabela 10- Consolidado dos melhores resultados de incrementos médios percentuais de biomassa, número de perfilhos e raiz.

Fatores	Biomassa		Nº de Perfilhos		Raiz	
	Subgrupo	IM %	Subgrupo	IM %	Subgrupo	IM %
Nitrogênio associado	100kg ha ⁻¹	94	50kg ha ⁻¹	63	Sem N associado	109
	Sem N associado	89	100kg ha ⁻¹	44	75kg ha ⁻¹	17 *
	Média Geral	75	Média Geral	45	Média Geral	79
Unidade formadora de colônias UFC	1 x 10 ⁸ UFC ml ⁻¹	111	1 x 10 ⁸ UFC ml ⁻¹	44	2 x 10 ⁸ UFC ml ⁻¹	104
	2 x 10 ⁸ UFC ml ⁻¹	43	2 x 10 ⁸ UFC ml ⁻¹	38	1 x 10 ⁸ UFC ml ⁻¹	10
	Média Geral	75	Média Geral	45	Média Geral	79
Estirpe	AbV5 e AbV8 + Ra(VP16)	226	AbV5 e AbV8 + Ra(VP16)	82	Ab-V5 e Ab-V6	136
	Ab-V5 e Ab-V6	59	Ab-V5 e Ab-V6	52	-	-
	Média Geral	75	Média Geral	45	Média Geral	79

*Sem heterogeneidade aplicável; Ra - Rhizobium anhuiense; Pf - Pseudomonas fluorescens; Ab - Azospirillum brasilense;

4.3 - Discussão

A análise realizada destacou aspectos fundamentais sobre os estudos relacionados à inoculação do capim-Marandu com bactérias promotoras de crescimento vegetal (BPCV), especialmente com o uso de *Azospirillum*, que se configura como o microrganismo central desses trabalhos. A meta-análise conduzida revelou informações importantes sobre a eficiência do uso desses inoculantes, considerando variáveis como produção de biomassa, número de perfilhos e desenvolvimento radicular.

Ao avaliar as diferentes dosagens de nitrogênio associadas à inoculação, observou-se que a dosagem ideal para produção de biomassa é de 100 kg ha⁻¹; acima desse limite, as doses não resultaram em ganhos adicionais. Em média, houve um incremento de até 75% na

produção de biomassa (Gráfico 1 e Tabela 1). Para a produção de perfilhos, a dose ideal foi de 50 kg ha⁻¹, enquanto doses maiores, como 100 kg ha⁻¹, resultaram em reduções na produção; sugerindo possível incompatibilidade entre o inoculante de BPCV e doses mais elevadas. A média geral do incremento foi de até 45% no número de perfilhos (Gráfico 4 e Tabela 4). Quanto à produção de raiz, as dosagens de nitrogênio não apresentaram significância estatística (Gráfico 7 e Tabela 7).

No que se refere à concentração de unidade formadora de colônias (UFC), a inoculação na concentração de 1 × 10⁸ UFC ml⁻¹ promoveu incrementos de até 44% no número de perfilhos (Gráfico 5; Tabelas 5 e 10) e notáveis 111% de incremento médio (IM) na biomassa (Gráfico 2 e Tabelas 2 e 10), sugerindo provável influência do aumento no número de perfilhos. Já para o incremento de raiz, a concentração mais eficaz foi de 2 × 10⁸ UFC ml⁻¹, promovendo um IM de 104% na produção de raiz, bem superior ao promovido pela concentração de 1 × 10⁸ UFC ml⁻¹, que foi de apenas 9,5% (Gráfico 8 e Tabelas 8 e 10). Isso nos chama a atenção, face a reconhecida importância de se ter o estabelecimento do melhor sistema radicular possível, para garantia da produtividade e sustentabilidade das pastagens tropicais.

Dentre as estirpes analisadas, considerando apenas as do gênero *Azospirillum*, a combinação de *A. brasilense* AbV5 e AbV6 se destacou. Conforme os estudos levantados, essa combinação pode aumentar a produção de biomassa da forrageira em até 59% (Gráfico 3; Tabelas 3 e 10), o número de perfilhos em até 52% (Gráfico 6; Tabelas 6 e 10) e a produção de raízes em até 137% (Gráfico 9; Tabelas 9 e 10).

Portanto, a utilização de inoculantes de *Azospirillum* em capim-Marandu, demonstra ser promissor para melhorar seu desempenho agrônômico. Uma formatação tecnológica com definição de doses, estirpes e formas de aplicação mais adequadas se destaca como um ponto central para maximizar os resultados.

5 – CONCLUSÃO

O *Azospirillum* potencializa o aproveitamento do nitrogênio de forma sinérgica, promovendo um incremento de até 45% no perfilhamento e pode aumentar a produção de biomassa em até 75% e a produção de raízes em até 79%, dependendo da dose de nitrogênio aplicada.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, R. G.; CASTRO TEIXEIRA, A. H.; LEIVAS, J. F.; DA SILVA, G. B. S.; NOGUEIRA, S. F.; CASTRO VICTORIA, D.; VICENTE, L. E.; BOLFE, É. L. **Indicativo de pastagens plantadas em processo de degradação no bioma Cerrado**. In: BRAZILIAN SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING, 2015. Anais [...]. 2015. p. 1585-1592.

ARAÚJO, A. R. de; MACEDO, M. C. M.; FERREIRA, A. D.; MARTINS, J. L. F.; MEDEIROS, C. N. F. **Produção de massa seca e raiz de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu inoculada com diferentes estirpes de *Azospirillum* sp.** In: EMBRAPA GADO DE CORTE, 2017. Anais [...]. 2017.

BASHAN, Y.; HOLGUIN, G.; DE-BASHAN, L. E. ***Azospirillum*-plant relationships: physiological, molecular, agricultural, and environmental advances (1997-2003)**. Canadian Journal of Microbiology, v. 50, n. 8, p. 521-577, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1139/w04-035>.

BATISTA, S. R. **Inoculação e coinoculação de bactérias promotoras de crescimento em plantas em *Urochloa brizantha***. 2023. 55 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura no Trópico Úmido) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Programa de Pós-Graduação em Agricultura no Trópico Úmido, Manaus, AM, 2023.

CARVALHO, M. A. et al. **Diversificação de pastagens: alternativa simples e de baixo custo para a intensificação dos sistemas de produção pecuário**. Planaltina, DF: EMBRAPA, 2021. (Comunicado técnico, 188).

CARVALHO, P. C. F. et al. **Forage allowance and performance of beef cattle grazing *Brachiaria brizantha* cv. Marandu in a rotational stocking**. Revista Brasileira de Zootecnia, v. 38, n. 9, 2009.

CASSÁN, F. et al. **Everything you must know about *Azospirillum* and its impact on agriculture and beyond**. Biology and Fertility of Soils, v. 56, p. 461-479, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00374-020-01463-y>.

CERRI, C. E. P. et al. **Estoques de carbono e fluxo de gases do efeito estufa em agrossistemas no Brasil**. Tópicos em Ciência do Solo, v. 9, p. 1-47, 2015.

CUNHA, M. K.; MORENO, L. S. B.; OLIVEIRA, H. J. B. **Manejo da adubação fosfatada e nitrogenada em pastagens de capim Mombaça**. Palmas: Embrapa Pesca e Aquicultura, 2022. 8 p. (Comunicado técnico, 8).

DÖBEREINER, J. **Biological nitrogen fixation in tropical grasses**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1997.

DOBBELAERE, S.; VANDERLEY, J.; OKON, Y. **Plant Growth-Promoting Effects of Diazotrophs in the Rhizosphere**. Critical Reviews in Plant Sciences, v. 22, n. 2, p. 107-149,

2003. DOI: <https://doi.org/10.1080/713610853>.

DUARTE, C. F. D. **Bactérias promotoras do crescimento vegetal e nitrogênio no estabelecimento e no desenvolvimento de *Urochloa* spp.** 2018. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Estadual de Maringá, Paraná, 2018.

EGGER, M. et al. **Bias in meta-analysis detected by a simple, graphical test.** *BMJ*, v. 315, n. 7109, p. 629-634, 1997.

FERNANDES, C. et al. ***Azospirillum* spp. in grasses and forages.** *Revista Científica*, v. 11, n. 1, p. 223-240, 2020.

FONSECA, D. M.; MARTUSCELLO, J. A. (Ed.). **Plantas forrageiras.** Viçosa, MG: Ed. UFV, 2010. 537 p.

FUKAMI, J.; CERRI, P. C.; HUNGRIA, M. **Benefícios do *Azospirillum* que vão além: crescimento de plantas e tolerância a estresses abióticos e bióticos.** Londrina: Embrapa Soja, Universidade Estadual de Londrina, 2018.

GOMES, L. B. E. et al. **Promoção de crescimento em diferentes espécies de *Urochloa* inoculadas com *Azospirillum baldaniorum*.** *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 58, e03079, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2023.v58.03079>.

GUERRERO-MOLINA, M. F.; LOVAIASA, N. C.; SALAZAR, S. M.; MARTINEZ-ZAMORA, M. G.; DIAZ-RICCI, J. C.; PEDRAZA, R. O. **Physiological, structural and molecular traits activated in strawberry plants after inoculation with the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum brasilense* REC3.** *Plant Biology*, v. 17, n. 3, p. 766-773, 2015.

GUIMARÃES, S. L. et al. **Produção de capim-Marandu inoculado com *Azospirillum* spp.** *Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer*, v. 7, n. 13, p. 816-825, 2011.

HANISCH, A. L.; BALBINOT, A.; VOGT, G. A. **Desempenho produtivo de *Urochloa brizantha* cv. Marandu em função da inoculação com *Azospirillum* e doses de nitrogênio.** *Revista Agro@mbiente On-line*, v. 11, n. 3, p. 200-208, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v11i3.3916>. Acesso em: 5 nov. 2024.

HEINRICHS, R. et al. ***Azospirillum* inoculation of ‘Marandu’ palisade grass seeds: effects on forage production and nutritional status.** *Semina: Ciências Agrárias, Londrina*, v. 41, n. 2, p. 465-478, mar./abr. 2020.

HIGGINS, J. P. T.; THOMPSON, S.; DEEKS, J.; ALTMAN, D. **Statistical heterogeneity in systematic reviews of clinical trials: a critical appraisal of guidelines and practice.** *Journal of Health Services Research and Policy*, v. 7, p. 51-61, 2008.

HUNGRIA, M. **Inoculação com *Azospirillum brasilense*: inovação em rendimento a baixo custo.** Londrina: Embrapa Soja, 2011. 36 p. (Documentos Embrapa Soja, n. 325).

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A.; ARAÚJO, R. S. **Fixação biológica de nitrogênio em gramíneas tropicais: uma alternativa sustentável para a agricultura tropical.** Londrina: Embrapa Soja, 2013.

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M.; ARAÚJO, R. **Inoculação de *Brachiaria* spp. com a bactéria promotora do crescimento vegetal *Azospirillum brasilense*: um componente ecologicamente correto na recuperação de pastagens degradadas nos trópicos.** Agricultura, Ecossistemas e Meio Ambiente, v. 221, p. 125-131, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.AGEE.2016.01.024>.

LEITE, R. et al. **Aumento da produtividade, redução do uso de fertilizantes nitrogenados e mitigação do estresse hídrico por meio da inoculação do capim-Marandu (*Urochloa brizantha*) com *Azospirillum brasilense*.** Ciência de Culturas e Pastagens, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1071/CP18105>.

MENEZES, F. M. et al. **Produção de forragem de *Brachiaria* com inoculação de *Azospirillum brasilense*.** In: SIMPÓSIO DE TCC, 3., 2020. Anais [...].

MODESTO, V. C. **Desempenho técnico e econômico da cultura do milho e da pastagem de capim-Marandu após o consórcio em função da inoculação com *Azospirillum brasilense*.** 2017. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Faculdade de Engenharia, Campus de Ilha Solteira, 2017.

MOREIRA, B. R. A. et al. ***Azospirillum brasilense* can impressively improve growth and development of *Urochloa brizantha* under irrigation.** Agriculture, v. 10, n. 6, p. 1-7, 2020.

ONGARATTO, F. et al. **Intensive production and management of Marandu palisade grass (*Urochloa brizantha* ‘Marandu’) accelerates leaf turnover but does not change herbage mass.** Agronomy, v. 11, n. 9, p. 1846, 2021.

OLIVEIRA, W. S. et al. **Uso de inoculante comercial à base de *Azospirillum brasilense* (NOCTIN AZO) como promotor de crescimento em gramíneas.** In: REDE DE LABORATÓRIOS PARA RECOMENDAÇÃO, PADRONIZAÇÃO E DIFUSÃO DE TECNOLOGIA DE INOCULANTES MICROBIANOS DE INTERESSE AGRÍCOLA, 13., 2006, Londrina. Anais... Londrina: Embrapa Soja, 2006.

PARREIRA, L. H. M. et al. **Efeito da bactéria *Azospirillum brasilense* na adubação química e orgânica em pastagens constituídas de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu.** Enciclopédia Biosfera, v. 11, n. 21, p. 838-850, 2015.

PEDREIRA, B. C. et al. **Tiller density and tillering on *Brachiaria brizantha* cv. Marandu pastures inoculated with *Azospirillum brasilense*.** Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia, v. 69, n. 4, p. 1039–1046, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-4162-9034>.

PINC, M. M. et al. **Crescimento e nutrição de *Urochloa brizantha* cv. Marandu inoculada com bactérias promotoras de crescimento vegetal e sob diferentes doses de nitrogênio.** Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento, v. 9, n. 10, p. e7309108925, 2020. DOI: 10.33448/rsd-v9i10.8925. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/8925>. Acesso em: 5 jul. 2024.

PORTO, E. M. V. et al. **Microrganismos promotores de crescimento de plantas como mitigadores do estresse hídrico em pastagens: uma revisão narrativa.** Research, Society and Development, v. 11, n. 11, e514111134029, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i11.34029>.

RODRIGUES, A. C. et al. ***Azospirillum* sp. as a Challenge for Agriculture.** In: MAHESHWARI, D. K. (ed). Bacterial Metabolites in Sustainable Agroecosystem. Springer, 2015. DOI: 10.1007/978-3-319-24654-3.

RODRIGUES, L. N. F.; NAKAO, A. H. **Avaliação da produção de forrageiras em área de sequeiro após o consórcio de milho com e sem inoculação de *Azospirillum brasilense*.** Revista Funec Científica - Multidisciplinar, v. 9, n. 11, 2020. DOI: <https://doi.org/10.24980/rfcm.v9i11.3603>.

SANTOS, M. S.; NOGUEIRA, M. A.; HUNGRIA, M. **Outstanding impact of *Azospirillum brasilense* strains Ab-V5 and Ab-V6 on the Brazilian agriculture: Lessons that farmers are receptive to adopt new microbial inoculants.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 45, 2021. DOI: <https://doi.org/10.36783/18069657rbc20200128>.

SHOCKNESS, L. S. F. **Contribuição das bactérias diazotróficas no crescimento de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu.** 2016. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2016.

SILVA, L. L. G. G. da et al. ***Brachiaria brizantha* cv. Marandu em sistema silvipastoril.** Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2008. (Embrapa Agrobiologia. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 33).

SILVA, J. L. et al. **Massa de forragem e características estruturais e bromatológicas de cultivares de *Brachiaria* e *Panicum*.** Ciência Animal Brasileira, v. 17, p. 342-348, 2016.

STEENHOUDT, O.; VANDERLEYDEN, J. ***Azospirillum*, a free-living nitrogen fixing bacterium closely associated with grasses: genetic, biochemical and ecological aspects.** FEMS Microbiology Reviews, v. 24, n. 4, p. 487-506, 2000.

TERRA, L. E. M. **Modificações fisiológicas e produtivas do capim-Marandu proporcionadas por bactérias promotoras do crescimento vegetal.** 2020. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros, 2020.

TOLEDO, C. N. et al. **Compostos alelopáticos em *Brachiaria* spp. e sua interação com bactérias diazotróficas associativas.** Nucleus Animalium, v. 11, n. 2, 2019.

ZEFFA, D. M. et al. *Azospirillum* **brasiliense** promove aumentos no crescimento e na eficiência de uso de nitrogênio de genótipos de milho. PLoS ONE, v. 14, n. 4, e0215332, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0215332>. Acesso em: 14 out. 2024.