UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA (UNESP)
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS
CAMPUS DE DRACENA

Thiago de Lima Martins

Formas de inoculação com *Azospirillum brasilense* associado à doses de N na cultura do sorgo consorciado ou não com capim-braquiária

Dracena
2026

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA (UNESP)

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS

CAMPUS DE DRACENA

Thiago de Lima Martins

Formas de inoculação com *Azospirillum brasilense* associado à doses de N na cultura do sorgo consorciado ou não com capim-braquiária

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas – Unesp, Campus de Dracena como parte das exigências para conclusão do curso.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Shintate Galindo

Dracena

2026

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JULIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS
UNESP – CÂMPUS DE DRACENA

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título: Formas de inoculação com *Azospirillum brasilense* associado à doses de N na cultura do sorgo consorciado ou não com capim-braquiária

Modalidade: Trabalho de Atividades de pesquisa

Autor: Thiago de Lima Martins

Orientador (a): Prof. Dr. Fernando Shintate Galindo

Número de Créditos: 12

Data da aprovação e correção de acordo com as sugestões da Banca: 29/05/2026

Prof. Dr. Fernando S. Galindo
UNESP/FCAT - DRACENA
(18) 98120-8054
fernando.galindo@unesp.br

Fernando Shintate Galindo	Evandro Pereira Prado	Ronaldo Cintra Lima

DEDICATÓRIA

Aos meus pais Adriana de Lima e Mauro Martins de Andrade e avós Lindinalva Quitéria de Lima e Vicente Ferreira Lima, que sempre me apoiaram no meu processo de formação acadêmica e pessoal, independentemente dos desafios enfrentados. Sou eternamente grato por todo esforço, empenho e cada sacrifício realizado para que eu pudesse alcançar meus objetivos.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus por nunca ter me desamparado, seja nos momentos de dificuldade ou de alegria. Sem a Sua presença em minha vida, certamente eu não teria conseguido chegar até aqui. Foi por meio da fé que encontrei clareza para definir meus objetivos e forças para seguir em frente, mesmo diante dos desafios.

Aos meus pais, Mauro e Adriana, e aos meus avós, Lindinalva e Vicente, minha eterna gratidão por todos os ensinamentos e por me mostrarem, com sabedoria, como a vida realmente é. Vocês nunca permitiram que eu desistisse e sempre se dedicaram para que eu pudesse trilhar o melhor caminho possível. A força, o caráter e a determinação de vocês são minha maior inspiração.

À minha namorada, Ana Clara, por estar sempre ao meu lado, oferecendo apoio incondicional e sendo um verdadeiro exemplo de companheirismo. Sua presença foi essencial em toda essa caminhada.

Ao meu professor e orientador, Prof. Dr. Fernando Shintate Galindo, deixo meu profundo agradecimento por toda a dedicação, pelos ensinamentos, conselhos e apoio ao longo da minha trajetória. Sou imensamente grato por sua contribuição na minha formação acadêmica e pessoal, e, sobretudo, pela amizade construída ao longo desse período.

Ao Grupo de Ensino, Pesquisa e Extensão em Sistemas Agrícolas Sustentáveis (GEPESAS), por me proporcionar a honra de fazer parte de uma equipe tão especial. Foi nesse ambiente que pude crescer, corrigir falhas e aprimorar minhas qualidades. Cada aprendizado, cada desafio e cada momento de convivência foram fundamentais para a minha formação.

À república K-baret, onde tive o privilégio de conhecer pessoas incríveis e viver momentos inesquecíveis. Mesmo diante das dificuldades, sempre encontramos forças para permanecer unidos e seguir em frente.

Por fim, agradeço a todos os meus amigos que estiveram ao meu lado, compartilhando momentos de alegria e me apoiando nas dificuldades. Levarei cada um de vocês comigo por toda a vida, com enorme carinho e gratidão.

“Entrega o teu caminho ao senhor; confia nele, e ele tudo fará” (Salmos 37:5)

RESUMO

Pesquisas recentes vêm demonstrando o potencial de utilização da bactéria *Azospirillum brasilense* com viés de promover o crescimento de plantas, principalmente por meio do maior crescimento radicular, além de uma pequena contribuição na aquisição de nutrientes e fixação biológica de nitrogênio (FBN). Em complemento, o consórcio sorgo-braquiária é uma tecnologia onde se cultivam as duas espécies conjuntamente, tendo como objetivo a produção de grãos e palha de sorgo e palha ou forragem de braquiária, com inegáveis benefícios para a sustentabilidade da produção, principalmente se considerada a imprevisibilidade climática, típica da atividade agrícola. O objetivo do presente trabalho foi avaliar formas de inoculação com *A. brasilense* na cultura do sorgo consorciado ou não com capim-braquiária. O projeto de pesquisa foi desenvolvido em condições de campo no município de Dracena – SP, em um Argissolo Vermelho distrófico típico de textura arenosa, na segunda safra de 2023 (março a agosto), em delineamento experimental em blocos casualizados com quatro repetições, disposto em esquema fatorial 8 × 2, contendo 16 tratamentos: 4 formas de inoculação com *A. brasilense* (controle – sem inoculação, inoculação nas sementes, no sulco de semeadura e em área total no início do desenvolvimento vegetativo do sorgo) associado à 75 ou 100% da dose de nitrogênio (N) recomendada em cobertura (75 ou 100 kg N ha^{-1}, aplicados na forma de ureia), com ou sem consórcio com capim-braquiária (Capim-Piatã). As avaliações foram realizadas em florescimento pleno (trocas gasosas, índice de clorofila foliar – ICF, massa seca e acúmulos de N em parte aérea e raiz) e em ocasião de colheita (componentes produtivos e produtividade de grãos, acúmulo de N na palhada e grãos) do sorgo. A produção de biomassa e produtividade do sorgo aumentou independentemente da forma de inoculação de *A. brasilense*, quando comparado aos tratamentos com ausência de inoculação, em função principalmente do benefício da inoculação nos parâmetros de trocas gasosas e fotossíntese, sendo estas a taxa fotossintética líquida (*A*), a transpiração (*E*), a concentração interna de CO_2 na câmara subestomática (*Ci*) e a condutância estomática (*Gs*). Em complemento, a inoculação com *A. brasilense* proporcionou maior acúmulo de N em palhada, raiz e grão, independentemente da forma de inoculação. No entanto, a inoculação com *A. brasilense* não permitiu redução da dose de N em cobertura em 25%, demonstrando que o sorgo é uma cultura responsiva à adubação nitrogenada. A modalidade de cultivo de sorgo consorciado com Capim-Piatã reduziu o desenvolvimento do sorgo, e proporcionou menor produtividade e produção de biomassa em relação ao sorgo solteiro.

Palavras-chave: *Sorghum bicolor* (L) Moench. Rizobactérias. Sistema sorgo-braquiária. Inoculação com microrganismos na agricultura tropical.

ABSTRACT

Recent studies have demonstrated the potential use of the bacterium *Azospirillum brasilense* to promote plant growth, mainly through enhanced root development, in addition to a modest contribution to nutrient uptake and biological nitrogen fixation (BNF). Furthermore, the sorghum–brachiaria intercropping system is a technology in which both species are cultivated simultaneously, aiming at the production of sorghum grain and straw, as well as brachiaria straw or forage. This system provides undeniable benefits for the sustainability of agricultural production, especially considering the climatic unpredictability typical of farming activities. The objective of the present study was to evaluate different inoculation methods with *A. brasilense* in sorghum grown either in monoculture or intercropped with brachiaria grass. The research was conducted under field conditions in the municipality of Dracena, São Paulo State, Brazil, on a dystrophic Red Argisol with sandy texture, during the second crop season of 2023 (March to August). The experimental design was a randomized complete block with four replications, arranged in an 8 × 2 factorial scheme, totaling 16 treatments. These consisted of four inoculation methods with *A. brasilense* (control—without inoculation, seed inoculation, in-furrow inoculation, and broadcast application at the early vegetative stage of sorghum), combined with 75% or 100% of the recommended nitrogen (N) topdressing rate (75 or 100 kg N ha^{-1}, applied as urea), with or without intercropping with brachiaria grass (Piatã grass). Evaluations were carried out at full flowering (gas exchange parameters, leaf chlorophyll index—LCI, dry mass, and N accumulation in shoots and roots) and at harvest (yield components, grain yield, and N accumulation in straw and grains). Sorghum biomass production and yield increased regardless of the inoculation method with *A. brasilense* when compared to non-inoculated treatments, mainly due to the positive effects of inoculation on gas exchange and photosynthetic parameters, including net photosynthetic rate (*A*), transpiration (*E*), internal CO_2 concentration in the substomatal chamber (*Ci*), and stomatal conductance (*Gs*). Additionally, inoculation with *A. brasilense* promoted greater N accumulation in straw, roots, and grains, regardless of the inoculation method. However, inoculation did not allow for a 25% reduction in N topdressing, indicating that sorghum is a crop responsive to nitrogen fertilization. The intercropping system with Piatã grass reduced sorghum development and resulted in lower biomass production and grain yield compared to monocropped sorghum.

Keywords: *Sorghum bicolor* (L.) Moench. Rhizobacteria. Sorghum–brachiaria system. Microbial inoculation in tropical agriculture.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Foto aérea retirada do Google Earth com a área experimental (localizada junto à Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas da UNESP Dracena - SP) em evidência. 29
Figura 2. Precipitação (Chuva), temperatura mínima (T Min.) e máxima (T Max) na área experimental durante a condução do experimento. Dracena - SP, 2023.....29
Figura 3. Sementes de capim braquiária. 30
Figura 4. Semeadura do capim braquiária.....31
Figura 5. Semeadura do sorgo granífero. 31
Figura 6. Inoculação via sulco na cultura do sorgo. 32
Figura 7. Emergência de plântulas de sorgo. 32
Figura 8. Inoculação em área total com A. brasilense no sorgo. 33
Figura 9. Avaliação das trocas gasosas com o equipamento IRGA. 35
Figura 10. Estufa de ventilação forçada e amostras coletadas. 36
Figura 11. Avaliações em ocasião de colheita. 37
Figura 12. Moinho tipo Wiley. 37
Figura 13. Foto comparativa entre cultivo de sorgo solteiro e consorciado em florescimento pleno. 39
Figura 14. Foto comparativa dos tratamentos de sorgo consorciado contendo 75% N. 40
Figura 15. Foto comparativa dos tratamentos de sorgo consorciado contendo 100 % N. 40
Figura 16. Foto comparativa dos tratamentos de sorgo solteiro contendo 75 % N. .41
Figura 17. Foto comparativa dos tratamentos de sorgo solteiro contendo 100 % N.41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Atributos químicos e granulométricos do solo nas camadas 0-0,20m e 0,20-0,40m antes do início do experimento. Dracena, SP. 28
Tabela 2. Índice de clorofila foliar, massa seca de parte aérea (MSPA), massa seca de raiz (MSRAIZ), fotossíntese líquida (*A*), transpiração (*E*), concentração interna de CO_2 na câmara subestomática (*Ci*) e condutância estomática (*GS*) em função de formas de inoculação associado à 100 ou 75% de N no sorgo granífero, consorciado ou não com capim-Piatã. Dracena – SP. 42
Tabela 3. Interação entre formas de inoculação associado à doses de N e consórcio ou não com capim-Piatã sobre fotossíntese líquida (*A*). Dracena – SP.....43
Tabela 4. Interação entre formas de inoculação associado à doses de N e consórcio ou não com capim-Piatã sobre a transpiração (*E*). Dracena – SP.....44
Tabela 5. Interação entre formas de inoculação associado à doses de N e consórcio ou não com capim-Piatã sobre a concentração interna de CO_2 na câmara subestomática (*Ci*). Dracena – SP. 45
Tabela 6. Interação entre formas de inoculação associado à doses de N e consórcio ou não com capim-Piatã sobre a condutância estomática (GS). Dracena – SP. 46
Tabela 7. Acúmulo de nitrogênio durante florescimento em parte aérea (NPA FLOR) e na raiz (NRAI) em função de formas de inoculação associado à 100 ou 75% de N no sorgo granífero, consorciado ou não com capim-Piatã. Dracena – SP.....47
Tabela 8. Altura de planta, diâmetro de colmo, panícula por metro, massa seca de palhada (MSPAL), peso de 100 grãos (100 GR) e produtividade em função de formas de inoculação associado à 100 ou 75% de N no sorgo granífero, consorciado ou não com capim-Piatã. Dracena – SP. 49
Tabela 9. Interação entre formas de inoculação associado à doses de N e consórcio ou não com capim-Piatã sobre a massa seca de palhada (MSPAL). Dracena – SP. 50
Tabela 10. Acúmulo de nitrogênio na palhada e acúmulo de nitrogênio em grãos em função de formas de inoculação associado à 100 ou 75% de N no sorgo granífero, consorciado ou não com capim-Piatã. Dracena – SP. 51
Tabela 11. Interação entre formas de inoculação associado à doses de N e consórcio ou não com capim-Piatã sobre o acúmulo de nitrogênio na palhada (NPAL). Dracena – SP. 52

Tabela 12. Interação entre formas de inoculação associado à doses de N e consórcio ou não com capim-Piatã sobre o acúmulo de nitrogênio em grãos (NGR). Dracena – SP. 53

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AIA	Ácido indol-3-acético
Al	Alumínio
ATP	Adenosina Trifosfato
Azo	*Azospirillum brasilense*
B	Boro
BPCPs	Bactérias promotoras de crescimento de plantas
C	Carbono
C.V	Coeficiente de variação (%)
Ca	Cálcio
cm	Centímetro
CO_2	Dióxido de carbono
Con	Consórcio
Ctl	Controle
Cu	Cobre
D.M. S	Diferença mínima significativa
DAE	Dias após emergência
dm^{-3}	Decímetro cúbico
EC 0	Emergência da plântula de sorgo
EC 1	Três folhas de sorgo completamente formadas
EC 6	Florescimento pleno do sorgo

EC 9	Maturidade fisiológica dos grãos de sorgo
FBN	Fixação biológica de nitrogênio
Fe	Ferro
g	Gramas
h	Horas
H_2O	Água
ha^{-1}	Hectare
ICF	Índice de clorofila foliar (SPAD)
Ino	Inoculação
IRGA	Analisador de gases a infravermelho
K	Potássio
kc	Coeficiente de cultura
kg	Quilograma
L	Litros
m	Metros
m^{-2} s^{-1}	Metros ao quadrado por segundos
mg	Miligrama
mL	Mililitros
Mmol	Milimol
Mn	Manganês
MSPA	Massa seca de palhada

MSRAIZ	Massa seca de raiz
N	Nitrogênio
NADH	Nicotinamida Adenina Dinucleotídeo + Hidrogênio
P	Fósforo
S	Enxofre
Sem.	Semeadura
SO^4	Sulfato
T max.	Temperatura máxima
T med.	Temperatura média
T min.	Temperatura mínima
t	Tonelada
UFC	Unidade formadora de Colônia
Zn	Zinco

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Fotossíntese líquida
Ci	Concentração interna de CO_2
E	Transpiração
Gs	Condutância estomática
µmol	Micromol

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 16

2 OBJETIVOS 19

2.1 OBJETIVOS GERAIS 19
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 19

3 REVISÃO DE LITERATURA 20

3.1 ORIGEM DO SORGO 20
3.2 IMPORTÂNCIA ECONÔMICA E SOCIAL DO SORGO 21
3.3 VANTAGENS DO CULTIVO DE SORGO 22
3.4 UTILIZAÇÃO DE PLANTAS EM CONSÓRCIO 23
3.5 BACTÉRIAS PROMOTORES DE CRESCIMENTO DE PLANTAS (BPCPS) 24
3.6 AZOSPIRILLUM BRASILENSE 24
3.7 MÉTODOS DE INOCULAÇÃO COM BPCPS 26

4 MATERIAL E MÉTODOS 28

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA 28
4.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS 29
4.3 SEMEADURA DO CAPIM-PIATÃ E SORGO 30
4.4 TRATOS CULTURAIS DO SORGO 33
4.4.1 Pacotes de aplicações realizados no sorgo: 33
4.5 AVALIAÇÕES REALIZADAS 34
4.5.1 Avaliações em ocasião de florescimento da cultura (E6) 34
4.5.2 Avaliações em ocasião de colheita 36
4.6 FORMA DE ANÁLISE DOS RESULTADOS 38

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO 39

6 CONCLUSÕES 55

7 REFERÊNCIAS 56

1 INTRODUÇÃO

Alimentar uma população crescente minimizando o impacto ambiental possivelmente será o desafio que vai balizar a agricultura moderna nas próximas décadas (Xia et al., 2016). Em contrapartida, condições ambientais adversas estão cada vez mais impactando a agricultura no mundo. A fim de se garantir segurança alimentar global, mecanismos para minimizar os efeitos indesejados das mudanças climáticas e estresse abiótico às plantas estão sendo investigados em diversas espécies cultivadas (Cerezini et al., 2019).

A prática da agricultura com plantas consorciadas, sucessão e rotação de culturas é uma das principais ferramentas para intensificar e diversificar de maneirar sustentável a produção agrícola (Tan, et al., 2020). No entanto, a escolha das culturas para compor os sistemas de produção voltados à região da Alta Paulista deve levar em consideração boa tolerância à elevadas temperaturas, déficit hídrico e flexibilidade para produção de grãos e/ou forragem conforme a necessidade de produção. Nesse contexto, as gramíneas do gênero Urochloa (Syn*. Brachiaria*) e a culturas do sorgo (*Sorghum bicolor* L.) ganham destaque.

A utilização de gramíneas forrageiras consorciadas com a cultura de 2ª safra tem por objetivo a produção de grãos e/ou forragem e palha da cultura em consórcio e palha ou pasto de braquiária, com inegáveis benefícios para o aumento da eficiência de utilização das áreas agrícolas e sustentabilidade da produção, principalmente se considerada a imprevisibilidade climática, típica da atividade agrícola (Momesso et al., 2021). Além disso, os resíduos de parte aérea produzidos pelo capim-braquiária podem beneficiar a cultura em sucessão pela liberação e ciclagem de nutrientes (Pariz et al., 2020).

O sorgo é o quinto cereal mais produzido no mundo, depois do milho, trigo (*Triticum aestivum* L.), arroz (*Oryza sativa* L.) e cevada (*Hordeum vulgare* L.), visando à produção de feno, silagem, grãos ou pasto (Przybylska-Balcerek et al., 2020). O cultivo de sorgo tem colaborado para oferta de múltiplos propósitos de uso como alimentação humana, animal e produção de bioenergia (Stamenković et al., 2020). Os efeitos benéficos de culturas em 2ª safra, podem ser potencializados quando as espécies são implantadas de forma consorciada, favorecendo o aumento da diversidade biológica do solo, ciclagem e manejo de nutrientes, e cobertura do solo,

tornando o sistema mais resiliente às intempéries climáticas e aumentando a capacidade produtiva das espécies que compõem a rotação.

Tecnologias de fácil aplicação, baixo custo e que permitam reduzir a aplicação de insumos externos sem afetar ou aumentando a produtividade agrícola são cada vez mais desejadas na agricultura mundial. Nesse contexto, a inoculação com bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCPs) ganham destaque. As BPCPs estimulam o crescimento de plantas por uma série de mecanismos. A resposta positiva à inoculação vem sendo descrita como a teoria dos mecanismos múltiplos, dependente da interação inoculante-planta-ambiente (Di Salvo et al., 2018).

O gênero *Azospirillum* compreende bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCPs) capazes de colonizar diversas espécies vegetais, promovendo crescimento e produtividade (Pedrosa et al., 2020). Seus benefícios estão relacionados à produção de fito-hormônios, à fixação biológica de nitrogênio, ao aumento da eficiência no uso de nutrientes e à mitigação de estresses ambientais (Hungria et al., 2010; Cassán e Diaz-Zorita, 2016; Galindo et al., 2020). Entretanto, embora a inoculação via sementes seja a forma mais utilizada, a interação entre inoculantes e defensivos químicos empregados no tratamento de sementes pode comprometer a eficiência dessa tecnologia (Santos et al., 2021).

O nitrogênio (N) desempenha papel indispensável no metabolismo vegetal, atuando na fotossíntese e compondo moléculas essenciais, como aminoácidos, proteínas, enzimas e compostos relacionados à transferência de energia, a exemplo do ATP e do NADH (Harper, 1994). Portanto, ao considerar o custo elevado para aquisição de fertilizantes e a importância da disponibilidade de N para as plantas, é fundamental a busca e adoção de estratégias com viés de reduzir parcialmente a adubação nitrogenada em culturas de interesse agronômico, principalmente em gramíneas.

Considerando os benefícios oriundos da inoculação com *A. brasilense*, acredita-se que aplicação de *A. brasilense* pode favorecer o crescimento, desenvolvimento e produtividade de grãos na cultura do sorgo granífero, além de possibilitar a redução parcial da adubação nitrogenada recomendada para cultura. Em

complemento o cultivo consorciado pode fornecer maior aporte de palhada ao sistema de produção, com baixo impacto sobre o cultivo do sorgo.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivos Gerais

O objetivo foi avaliar, em condições de campo, o acúmulo de N nas plantas, bem como produção de biomassa da cultura do sorgo granífero, consorciado ou não com capim-braquiária, em função de formas de inoculação com *A. brasilense*. Em complemento, a massa seca de parte aérea e raízes, índice de clorofila foliar (SPAD), e trocas gasosas foram determinados em ocasião de florescimento.

2.2 Objetivos Específicos

Avaliar e explorar os benefícios potenciais do *A. brasilense* na promoção do crescimento, desenvolvimento e produtividade do sorgo granífero consorciado ou não;

Avaliar a possível influência do consórcio no crescimento, desenvolvimento e principais componentes produtivos da cultura do sorgo.

Avaliar o efeito da inoculação com *A. brasilense* associado à redução da adubação nitrogenada recomendada para cultura do sorgo.

Analisar o desempenho da cultura do sorgo, otimizando o uso de nutrientes e a fisiologia, promovendo um ambiente favorável para o crescimento e desenvolvimento das plantas;

Fornecer informações para aprimorar as estratégias de manejo da cultura do sorgo granífero, visando aumentar a produtividade de forma rentável e sustentável.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Origem Do Sorgo

Os primeiros registros históricos referente ao cultivo de sorgo (*Sorghum bicolor* (L). Moench) remetem a cerca de 5000 anos no nordeste da África e sudoeste da Asia, de modo que o continente africano é considerado o seu principal centro de origem (Venkateswaran, et al., 2019). O sorgo moderno provavelmente originou-se da subespécie *Verticilliflorum*, de modo que após a domesticação surgiram diferentes tipos agroclimáticos sendo estes *Bicolor, Durra*, *Caudatum*, *Guinea* e *Kafir* (Smith, et al., 2019). Cada tipo agroclimático apresenta uma peculiaridade relacionada a sua morfologia, fisiologia e finalidade de cultivo, sendo amplamente utilizadas em programas de melhoramento genético.

A disseminação do sorgo no mundo ocorreu principalmente no século XIX, onde sementes foram trazidas para os Estados Unidos da América (EUA), Brasil e outros países em navios negreiros. Nos EUA a cultura do sorgo passou por diversos processos de melhoramento genético e adaptação às condições locais e posteriormente o seu cultivo se tornou mais viável para as condições e necessidades da época. No entanto, somente em 1874, obteve-se sucesso no cultivo de sorgo granífero nos EUA (Albuquerque, et al., 2021). Durante a década de 1950, o cultivo do sorgo foi amplamente impulsionado pelo surgimento de novos híbridos, que proporcionaram redução do porte, precocidade e até mesmo maiores produtividades (Laingen, 2015; Albuquerque, et al., 2021).

No Brasil, existem relatos do cultivo de sorgo na região nordeste durante o final do século XIX e início do século XX, principalmente para uso como forrageira, entretanto sua produção também foi destinada à produção de xaropes, vassouras e para produção de grãos, de modo que em 1918 o Ministério da Agricultura, Indústria e Comércio criou um boletim com recomendações para o cultivo do sorgo.

Devido a sua rusticidade e tolerância a situação de déficit hídrico, a cultura apresentou boa adaptabilidade a regiões de semiárido. No entanto, o seu cultivo era reduzido, uma vez que o cultivo do milho já era disseminado na região e era considerado um grão mais nobre e com maior aceitação (Morgado; Morgado, 2002).

O cultivo comercial de sorgo no Brasil teve seu início durante a década de 1970. Porém, apresentava poucas áreas de produção, somente durante a década de 1990 o cultivo de sorgo começou a ganhar mais espaço, visando o uso interno dos grãos para produção de rações para alimentação animal.

3.2 Importância Econômica E Social Do Sorgo

O sorgo é o quinto cereal mais cultivado no mundo, posteriormente ao trigo, arroz, milho e cevada, respectivamente. Atualmente, cerca de 40 milhões de hectares são destinados ao cultivo de sorgo no mundo, de modo que a produção global está próxima de 60 milhões de toneladas (FAOESTAT, 2024; Soare, et al., 2024). Os cinco maiores produtores de grãos de sorgo atualmente são os Estados Unidos da América, Nigéria, Brasil, Índia e México, respectivamente. O Brasil é responsável por produzir cerca de 4 milhões de toneladas e apresenta produtividade média de aproximadamente 3.000 kg ha^{-1} (IBGE, 2024), sendo que os estados com maiores produções são, Goiás, São Paulo e Minas Gerais.

Os usos dos grãos e da planta são os mais diversos e podem ser utilizados na alimentação humana, produção de combustíveis, produção de rações e forragem, e até mesmo na confecção de artesanato (Srinivasa Rao, 2014; Stamenković, et al., 2020; Fernandes, et al., 2020). Em países da região da África e Asia, o consumo dos grãos por humanos é cultural, e apresenta grande importância social. Já em países da América e Europa, seu uso é frequentemente associado a alimentação animal, principalmente através da produção de silagem, uma vez que o sorgo pode apresentar qualidade semelhante a silagem de milho, e produção de rações através dos grãos (Hossain, et al., 2022; Fernandes, et al., 2023)

Os grãos de sorgo são ricos em carboidratos e apresentam papel crucial no combate a fome mundial, principalmente em áreas de semiárido com condições climáticas adversas que inviabilizam o cultivo de outras culturas menos tolerantes (Kugedera, et al., 2022). Atualmente existem pesquisas em andamento que visam elevar os valores nutricionais e produtivos do sorgo granífero, através do processo de biofortificação, que basicamente se consiste em enriquecer o teor de proteína e

nutrientes através do processo de melhoramento genético (Henley, et al., 2010). Tal estratégia apresenta grande importância no combate à desnutrição humana.

Tratando-se de qualidade nutricional, o sorgo apresenta boa quantidade de proteínas, amidos de digestão lenta, flavonoides bioativos exclusivos, vitaminas e pode atuar reduzindo os efeitos provenientes de inflamações, doenças cardíacas e radicais livres (Hossain, et al., 2022; Espitia-Hernández, et al., 2022). Os benefícios supramencionados aliados a tolerância a adversidades climáticas criam uma tendência de aumento do cultivo e procura pelos grãos.

3.3 Vantagens Do Cultivo De Sorgo

Frente as crescentes adversidades climáticas a cultura do sorgo tem sido uma excelente opção para situações em que o déficit hídrico e as condições de baixa fertilidade dos solos oferecem maiores riscos para outras culturas, como o milho. De acordo com Landau e Sans (2015), o consumo hídrico do sorgo varia entre 380 e 600 mm durante o ciclo da cultura. Desta forma, sua expansão é favorecida em regiões com chuvas irregulares e, inclusive propício para uso em sucessão às culturas de verão (Yahaya e Shimelis, 2022). Devido a esta capacidade, durante muitos anos o sorgo foi posicionado, erroneamente, em áreas marginais e de baixo investimento.

O cultivo do sorgo deve ser realizado de forma estratégica, principalmente quando se trata do cultivo em segunda safra, onde a restrição hídrica é o principal desafio. Em situações de semeadura tardia, durante a segunda safra, as vantagens da cultura se tornam ainda mais evidentes, uma vez que as incertezas quanto as condições climáticas são ainda maiores. (De Menezes, 2015).

Além das vantagens supramencionadas, o sorgo apresenta boa capacidade de produção de biomassa (superior a 8 t ha^{-1}), com relação C/N relativamente alta (37) e atua no processo de ciclagem de nutrientes (Calvo, et al., 2010). Deste modo, a palhada proveniente no sorgo pode promover ganhos expressivos na cultura subsequente (Sodré Filho, et al., 2021).

Tratando-se da implantação da cultura, a semeadura é realizada com espaçamentos entre 0,45m e 0,5m, o mesmo espaçamento comumente utilizado em

lavouras de soja, feijão e milho, o que possibilita adaptações na semeadora utilizada na cultura de primeira safra para o plantio do sorgo, reduzindo custos operacionais.

3.4 Utilização De Plantas Em Consórcio

A prática da agricultura com plantas consorciadas, sucessão e rotação de culturas é uma das principais ferramentas para intensificar e diversificar de maneira sustentável a produção agrícola (Martin-Guay et al., 2018; Tan et al., 2020).

A utilização de gramíneas forrageiras consorciadas com a cultura de 2ª safra tem por objetivo a produção de grãos e/ou forragem e palha da cultura em consórcio e palha ou pasto de braquiária, com inegáveis benefícios para o aumento da eficiência de utilização das áreas agrícolas e sustentabilidade da produção, principalmente se considerada a imprevisibilidade climática, típica da atividade agrícola (Momesso et al., 2021).

Gramíneas forrageiras como plantas de cobertura e palhada no solo beneficiam a conservação do solo, retenção e armazenamento de água, reduzindo a erosão e melhorando a qualidade do solo com benefícios nos atributos físicos, químicos e biológicos (Crusciol et al., 2020). Além dos efeitos positivos já mencionados abaixo da superfície do solo, os resíduos de parte aérea produzidos pelo capim-braquiária podem beneficiar a cultura em sucessão pela liberação e ciclagem de nutrientes (Pariz et al., 2020).

Entre as forrageiras utilizadas para os sistemas de consorciação de culturas em condições tropicais, destacam-se as gramíneas do gênero *Urochloa* (Syn. *Brachiaria*) (Crusciol et al. 2015; Mateus et al., 2016). As principais vantagens da utilização desse gênero no sistema de consorciação residem no fato dessas espécies apresentarem sistema radicular abundante, que contribui para a infiltração e manutenção de água, agregação, aeração e descompactação do solo (Rosolem et al., 2017), ciclagem de nutrientes, em especial C e N, biomassa microbiana, com reflexo na fertilidade do solo (Crusciol et al., 2015; Mateus et al., 2016). Além disso, essas forrageiras apresentam boa adaptação, tolerância e/ou resistência a fatores bióticos e apresentam alta produção de massa seca (Crusciol et al., 2015; Bossolani et al., 2020).

3.5 Bactérias Promotores De Crescimento De Plantas (BPCPs)

As BPCPs são de vida livre, residentes epifíticas ou endofíticas, não patogênicas, que atuam diretamente promovendo o crescimento ou indiretamente como agentes de controle biológico de doenças de plantas (Da Silva; Dourado, 2022).

As BPCPs estimulam o crescimento de plantas por uma série de mecanismos, como, por exemplo, a produção e secreção de fito-hormônios, como o ácido indol-3-acético (AIA), citocininas, giberelinas e etileno (Cassán e Diaz-Zorita, 2016) e outros reguladores de crescimento de plantas, como ácido absísico, óxido nítrico e poliaminas, como espermidina, espermina e putrescina (Cassán et al., 2020), o aumento na disponibilidade de nutrientes, solubilização do fosfato, a fixação biológica de nitrogênio (FBN), o aumento na eficiência de uso do N e outros nutrientes (Hungria et al., 2010; Galindo et al., 2020), o biocontrole de fitopatógenos e doenças e a proteção das plantas contra estresse salino e componentes tóxicos do solo (Cassán et al., 2020).

A resposta positiva à inoculação vem sendo descrita como a teoria dos mecanismos múltiplos, dependente da interação inoculante-planta-ambiente (Di Salvo et al., 2018). No que se refere à nutrição de plantas e qualidade agrícola, os principais microrganismos estudados na atualidade são as BPCPs, com destaque aos gêneros *Azospirillum*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Herbaspirillum* e *Burkholderia*.

A inoculação com BPCPs na cultura do sorgo é amplamente estudada com intuito de entender as interações entre diferentes microrganismos. No entanto, a bactéria *Azospirillum brasilense* mostra-se promissora na redução dos efeitos provenientes de adversidades climáticas, como longos períodos de estiagem (Santana, et al., 2020).

3.6 Azospirillum brasilense

O gênero *Azospirillum* é constituído por bactérias diazotróficas, gram-negativas, capazes de produzir fitormônios e induzir o crescimento vegetal, a faixa de temperatura ideal ao seu desenvolvimento está entre 28 e 41ºC e apresentam a

capacidade de colonizar a rizosfera da planta e espaços intercelulares das raízes (Hungria et al. 2010; Domingues, et al., 2020).

As BPCPs de vida livre do gênero *Azospirillum* são capazes de colonizar mais de 100 espécies de plantas em praticamente todo solo vivo no planeta Terra, propiciando maior crescimento, desenvolvimento e produção às culturas (Pedrosa et al., 2020), o que despertou interesse da comunidade técnico-científica. As estirpes de *A. brasilense* Ab-V5 e Ab-V6 são as oficialmente utilizadas nas formulações de inoculantes para milho e trigo no Brasil (Hungria et al. 2010).

Estudos recentes têm demonstrado que rizobactérias, como *A. brasilense* podem alterar a fisiologia da planta com reflexo direto na produção e distribuição de biomassa nas diferentes partes da planta (Araujo et al., 2021), principalmente o sistema radicular. Alterações no desenvolvimento do sistema radicular são importantes, pois podem influenciar na habilidade das plantas em explorar melhor o solo, e consequentemente aumentar a absorção e aproveitamento de água e nutrientes, refletindo em melhoria na eficiência de uso e recuperação de nutrientes aplicados via fertilizantes, promovendo assim maior crescimento e desenvolvimento das plantas (Araujo et al., 2021).

Além dos benefícios supramencionados a bactéria *A. brasilense*, apresenta a capacidade de realizar o processo de fixação biológica de nitrogênio (FBN). Através da FBN e do aumento da capacidade da planta em explorar o solo, promovido pela bactéria *A. brasilense*, alguns autores relatam que a inoculação proporciona redução parcial da adubação nitrogenada sem comprometer significativamente o desenvolvimento, crescimento e produtividade das culturas. Possibilitando reduções de cerca de 75% (300 kg N ha^{-1} ano^{-1}) em pastagens (Seeber, et al., 2025), 50% em arroz (50 kg N ha^{-1}) (Souza Sales, et al., 2021) e 50% (20 kg N ha^{-1}) para aveia preta (Correa Filho, et al., 2017). Em um estudo conduzido por Nakatani (2024) a inoculação com *A. brasilense* possibilitou a redução de 25% (50 kg N ha^{-1}) da adubação nitrogenada recomendada para a cultura do milho sem comprometer o desenvolvimento e produtividade.

Em um estudo conduzido por Mortate et al. (2020), foi possível realizar a redução de 25% da adubação nitrogenada recomendada para cultura do sorgo granífero, sem grandes prejuízos a produtividade da cultura. No entanto, um estudo conduzido por Fernandes (2020) a inoculação com *A. brasilense* não influenciou o crescimento e a produtividade da cultura. Por sua vez, Soares (2022) constatou que

a inoculação com *A. brasilense*, em condições de limitação hídrica pode contribuir para o crescimento e produtividade do sorgo consorciado com capim-paiaguás. Deste modo evidencia-se a importância da realização de estudos avaliando a inoculação de *A. brasilense* em diferentes localidades e condições climáticas.

3.7 Métodos De Inoculação Com BPCPs

O processo de inoculação com BPCPs é comumente realizado via semente, de modo que o inoculante é aplicado diretamente sobre a semente e logo em seguida passa por um processo de agitação com o intuito de homogeneizar a distribuição do produto sobre a fração de semente a ser inoculada. No entanto, outras formas de inoculação como, no sulco e em área total, são amplamente estudadas com o intuito de entender as interações entre os métodos de inoculação e seus efeitos sobre as plantas (Andrade, et al., 2019).

Apesar de ser o método mais utilizado, a inoculação via semente apresenta alguns pontos de atenção. Deste modo, ao utilizar desse método deve-se atentar a dosagem, homogeneização do produto, horário da inoculação e temperatura do ambiente (Hungria, et al., 2011). O tratamento químico da semente também é um ponto de atenção, uma vez que defensivos químicos utilizados no tratamento de sementes podem causar efeitos negativos sobre os inoculantes aplicados, principalmente se tratando de fungicidas (Fukami, et al., 2016; Santos et al., 2021).

Por sua vez, a inoculação em área total é realizada com o auxílio de pulverizadores agrícolas, no qual o produto deve ser aplicado de forma isolada, sem misturas de calda e com dosagem maior de inoculante, a fim de garantir que as bactérias consigam atingir o solo. Por sua vez, este método apresenta maior taxa de mortes de indivíduos, uma vez que grande parte pode ficar retido nas plantas e morrerem após cerca de 2 horas após a aplicação, a depender do clima e temperatura no momento da aplicação (Fukami, et al., 2016).

O método de inoculação via sulco também é uma estratégia adotada para evitar o contato entre os produtos utilizados no tratamento de semente e o inoculante. Neste método a inoculação é realizada simultaneamente ao processo de plantio, de modo que ao depositar a semente, um jato contendo o inoculante é direcionado para o local. Este método se mostra promissor, uma vez que permite distribuição homogênea do

inoculante, além de direcionar as bactérias diretamente ao solo, onde as condições são mais favoráveis à sobrevivência e ficam próximas à raiz da futura planta (Müller, et al., 2015).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização Da Área

O estudo foi realizado em condições de campo, em um Argissolo Vermelho distrófico típico de textura arenosa, localizado no município de Dracena – SP (Figura 1) na segunda safra de 2023 (março a agosto). A caracterização dos atributos químicos e físicos do solo foi realizada antes da implantação do experimento de acordo com Van Raij et al. (2001) e Teixeira, (2017) (Tabela 1). Os dados acerca das temperaturas máximas, mínimas e médias e precipitação durante a condução do experimento são apresentados na Figura 2.

Tabela 1. Atributos químicos e granulométricos do solo nas camadas 0-0,20m e 0,20-0,40m antes do início do experimento. Dracena, SP.

Atributos químicos do solo	Unidade	0-0,20m	0-0,40m
N total	g kg^{-1}	0,51	0,42
P (resina)	mg dm^{-3}	4	2
S (SO_4)	mg dm^{-3}	4	4
Matéria orgânica	g dm^{-3}	14	11
pH ($CaCl_2$)		5,1	4,4
K (resina)	$mmol_c$ dm^{-3}	3	1,2
Ca (resina)	$mmol_c$ dm^{-3}	11	8
Mg (resina)	$mmol_c$ dm^{-3}	7	3
H+Al	$mmol_c$ dm^{-3}	18	25
Al	$mmol_c$ dm^{-3}	1	6
B (água quente)	mg dm^{-3}	0,07	0,17
Cu (DTPA)	mg dm^{-3}	1,2	1,1
Fe (DTPA)	mg dm^{-3}	23	19
Mn (DTPA)	mg dm^{-3}	15,9	23,8
Zn (DTPA)	mg dm^{-3}	0,9	0,4
Capacidade de troca catiônica (pH 7.0)	$mmol_c$ dm^{-3}	39	37,2
Saturação por bases	%	54	33
Granulometria			
Argila	g kg^{-1}	91	125
Areia	g kg^{-1}	870	829
Silte	g kg^{-1}	39	46

Fonte: Elaborado pelo autor.

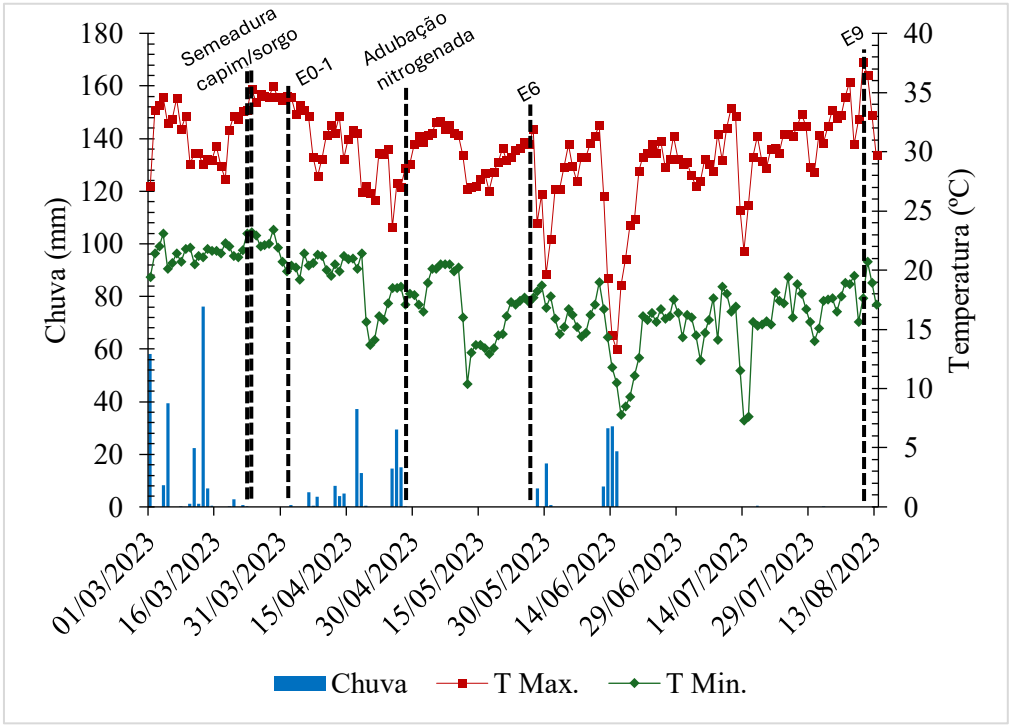
n = 20.

Figura 1. Foto aérea retirada do Google Earth com a área experimental (localizada junto à Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas da UNESP Dracena - SP) em evidência.



Fonte: Google Earth.

Figura 2. Precipitação (Chuva), temperatura mínima (T Min.) e máxima (T Max) na área experimental durante a condução do experimento. Dracena - SP, 2023.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2 Delineamento Experimental E Tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados com quatro repetições, em esquema fatorial 8 × 2, contendo 16 tratamentos: 4 formas de inoculação com *A. brasilense* (controle – sem inoculação, inoculação nas sementes,

no sulco de semeadura e em área total no início do desenvolvimento vegetativo do sorgo) associado à 75 ou 100% da dose de N em cobertura recomendada para a cultura do sorgo (75 ou 100 kg N ha^{-1} na forma de ureia – 46% de N), com ou sem consórcio com capim-braquiária (capim-piatã).

A inoculação com *A. brasilense* estirpes Ab-V5 e Ab-V6 (garantia de $2x10^{11}$ unidades formadoras de colônia - UFC mL^{-1} – produto comercial inoculante líquido Azotrop®) foi realizada seguindo adaptação das recomendações do fabricante: inoculação nas sementes 200 mL de inoculante para cada 160.000 sementes inoculadas, inoculação no sulco de plantio 300 mL de inoculante ha^{-1} e inoculação em área total 400 mL de inoculante ha^{-1}.

4.3 Semeadura Do Capim-Piatã E Sorgo

O capim-braquiária foi semeado em uma operação mecanizada separada no dia 23/03/2023. A densidade de sementes de capim utilizado foi de 8 kg ha^{-1}, utilizou-se profundidade de 5 a 6 cm, com o intuito de desacelerar o estabelecimento inicial do capim-piatã (Figura 3 e 4).

Figura 3. Sementes de capim braquiária.



Fonte: Autoria própria.

Figura 4. Semeadura do capim braquiária.



Fonte: Autoria própria.

A semeadura do sorgo foi direta, sendo semeado o híbrido FS 66SG, com profundidade entre 2 e 3 cm e população de plantas de 160.000 plantas ha^{-1} em espaçamento 0,45m, na entrelinha do capim-piatã. As sementes foram previamente tratadas com Tiametoxam, Metalaxil-M, Tiabendazol, Fludioxonil (CRUISER® e MAXIM Advanced®). A operação de semeadura do sorgo ocorreu dia 24/03/2023 (Figura 5 e 6). A inoculação no sulco ocorreu após a semeadura do sorgo, na linha de plantio, com auxílio de bomba costal, calibrada para vazão de 150 L ha^{-1}.

Figura 5. Semeadura do sorgo granífero.



Fonte: Autoria própria.

Figura 6. Inoculação via sulco na cultura do sorgo.



Fonte: Autoria própria.

A emergência das plântulas ocorreu 4 dias após a semeadura, iniciando no dia 28/03/2023 (Figura 7). As parcelas experimentais apresentaram 5 m de comprimento com 5 linhas. Sendo consideradas como área útil as linhas centrais e houve um espaço entre parcelas de 1,0 m. A inoculação em área total foi realizada em 02/04/2023 quando o sorgo estava em estádio E0-1, com 2 folhas, no período da manhã, com auxílio de bomba costal, calibrada para vazão de 150 L ha^{-1} (Figura 8).

Figura 7. Emergência de plântulas de sorgo.



Fonte: Autoria própria.

Figura 8. Inoculação em área total com *A. brasilense* no sorgo.



Fonte: Autoria própria.

4.4 Tratos Culturais Do Sorgo

Plantas daninhas foram controladas ao longo do ciclo utilizando-se controle pós-emergente através da aplicação de herbicidas. Insetos-praga e doenças foram controladas utilizando-se recomendações técnicas para a cultura do sorgo, específica para região de Dracena – SP. Aos 31 dias após emergência (DAE) (29/04/2023), foi realizada a adubação nitrogenada de cobertura, respeitando a dose de N em cada tratamento 75 ou 100 kg ha^{-1}, com a fonte ureia (46% de N), à lanço em superfície, na entrelinha do sorgo.

Foram realizadas 3 irrigações suplementares, sendo estas, dia 24/03/2023 em ocasião de semeadura; dia 07/05/2023 uma semana após adubação nitrogenada; e no dia 02/06/2023 na semana do florescimento, devido à alta demanda hídrica neste período, e devido à falta de chuva. O sistema de irrigação utilizado foi por aspersão.

4.4.1 Pacotes de aplicações realizados no sorgo:

24/04/2023 – Inseticida Metomil na dose de bula (0,6L ha^{-1}).
05/04/2023 – Herbicida 2,4 D (0,5L ha^{-1}) + 0,5% de óleo vegetal.
18/05/2023 – Inseticida Metomil na dose de bula (0,6L ha^{-1}).
02/05/2023 – Inseticida tiametoxam + lambda-cialotrina na dose de bula (200ml ha^{-1}).

02/06/2023 – Inseticida Metomil na dose de bula (0,6L ha^{-1}) e piraclostrobina + epoxiconazol (0,6 L ha^{-1}) e óleo vegetal 0,5%.

4.5 Avaliações Realizadas

As avaliações realizadas foram divididas em dois estádios fenológicos da cultura, sendo estes: florescimento pleno do sorgo (E6) e em ocasião de colheita (E9).

4.5.1 Avaliações em ocasião de florescimento da cultura (E6)

As avaliações em florescimento pleno da cultura do sorgo (estádio 6) (Vanderlip e Reeves, 1972), ocorram dia 27/05/2023, no qual foi realizada análise do índice de clorofila foliar (SPAD) (época da diagnose nutricional da cultura), de maneira indireta e não destrutiva, utilizando-se um clorofilômetro portátil SPAD-502 (Minolta corp; Spectrum Technologies, Plainfield, III). Foram realizadas dez leituras aleatórias na folha +4 (quarta folha com a bainha visível do ápice para base da planta, folha diagnose nutricional da cultura), de cada parcela experimental, seguindo recomendação de Cantarella et al. (2022).

As trocas gasosas foram avaliadas com o IRGA - analisador de gases a infravermelho (LI- 6400XT; LI-COR Inc., Lincoln, NE, EUA). As leituras foram realizadas no período da manhã (9 as 11h), na folha +4 (diagnose nutricional), do ápice para base da planta, de cada parcela experimental, utilizando-se radiação constante (1800 μmol m^{-2} s^{-1}), concentração de CO_2 do ar em 380 μmol mol^{-1} e temperatura da folha em 25ºC (adaptado de Sakai et al., 2019). Através deste foi possível quantificar a taxa fotossintética líquida (*A*), a transpiração (*E*), a concentração interna de CO_2 na câmara subestomática (*Ci*) e a condutância estomática (*Gs*) (figura 9).

Figura 9. Avaliação das trocas gasosas com o equipamento IRGA.



Fonte: Autoria própria.

Ainda no florescimento, realizou-se a coleta de 5 plantas por parcela para avaliação da biomassa de parte aérea e raízes e quantificação dos acúmulos de N em raiz e parte aérea. Sendo abertas trincheiras de cerca de 0,50 m de profundidade, tomando-se o máximo cuidado para retirada de raízes das plantas. Após a coleta, as amostras (separadamente, parte aérea, e raízes) foram acondicionadas em sacos de papel.

As amostras de raízes foram devidamente lavadas em água corrente e por fim imersas em água deionizada, e então armazenadas em novos sacos de papel após retirada do excesso de umidade. As amostras foram mantidas em estufa de ventilação forçada na temperatura de 65 ºC até massa constante (figura 10), posteriormente foram pesadas em balança analítica para obtenção da biomassa de parte aérea e raízes. A concentração de N total em parte aérea e raiz foi determinada pela digestão sulfúrica em bloco digestor (digestão aberta) e destilação semi-micro Kjeldahl (Nelson e Sommers, 1980). O acúmulo de N total em cada tecido supracitado (em kg ha^{-1}) foi calculado com base na concentração de N no tecido em questão (em g kg^{-1}) e a biomassa produzida (em kg ha^{-1}).

Figura 10. Estufa de ventilação forçada e amostras coletadas.



Fonte: Autoria própria.

4.5.2 Avaliações em ocasião de colheita

A colheita foi realizada no dia 12/08/2023, 137 DAE, nesta ocasião as seguintes avaliações de componentes produtivos foram realizadas: i) altura de plantas e diâmetro de colmo, a altura de plantas foi definida como sendo à distância (cm) do nível do solo ao ápice da panícula, utilizando-se uma régua graduada; e o diâmetro do colmo (mm) no segundo internódio, utilizando-se paquímetro manual, em cinco plantas por parcela; ii) massa de 100 grãos, determinada em balança de precisão 0,01 g, à 13% (base úmida) em 3 lotes por tratamento; iii) biomassa de parte aérea (todo caule, folhas e pendão, sem considerar os grãos) produzida, coletando-se cinco plantas por parcela (figura 11); Após finalizadas as coletas à campo, as amostras de parte aérea foram então mantidas em estufa de ventilação forçada na temperatura de 65 ºC até massa constante e depois pesadas em balança de precisão e iv) produtividade de grãos determinada pela coleta da área útil da parcela (linhas centrais). Após a trilha mecânica, os grãos foram quantificados e os dados transformados em kg ha^{-1} e seus valores corrigidos à 13% de umidade (base úmida).

Figura 11. Avaliações em ocasião de colheita.



Fonte: Autoria própria.

As amostras de biomassa de parte aérea e grãos foram então moídas em moinho tipo Wiley com peneira com crivos de 1 mm para análise química (figura 12). A concentração de N total e acúmulos de N em parte aérea e grãos foi determinada conforme metodologia supramencionada para parte aérea no florescimento e raiz.

Figura 12. Moinho tipo Wiley.



Fonte: Autoria própria.

4.6 Forma De Análise Dos Resultados

Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA, teste F), para avaliação dos efeitos dos fatores nas variáveis respostas estudadas. O efeito dos tratamentos, quando significativo ($p \leq 0,05$), foi analisado por teste de médias (teste de Scott-Knott para as inoculações e Tukey para o consórcio) utilizando o pacote ExpDes do software R (R Development Core Team, 2016).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

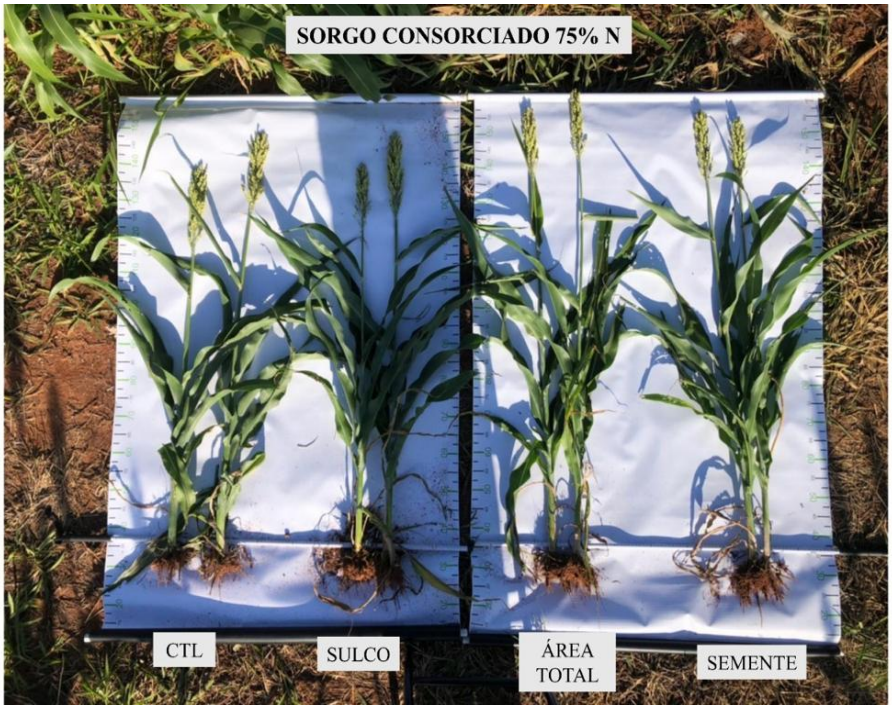
Os resultados obtidos nas avaliações de índice de clorofila foliar (ICF SPAD), massa seca de parte aérea (MSPA) e massa seca de raiz (MSRAIZ) demonstram que o controle (ausência de inoculação), em ambas as doses de N, apresentou resultados inferiores quando comparado aos demais tratamentos. Deste modo, evidencia-se a eficiência da inoculação com *A. brasilense* sobre os parâmetros vegetativos do sorgo granífero (Tabela 2). O cultivo de sorgo solteiro proporcionou maior MSPA e MSRAIZ, quando comparado ao cultivo em consórcio com capim. As Figuras 13, 14, 15, 16 e 17, apresentam o comparativo visual entre os diferentes métodos de consórcio, inoculações e doses de N utilizadas. O índice de clorofila foliar não diferiu entre os métodos de cultivo. Os parâmetros supracitados, não apresentaram interação entre a forma de inoculação e consorciação com capim-braquiária (Tabela 2).

Figura 13. Foto comparativa entre cultivo de sorgo solteiro e consorciado em florescimento pleno.



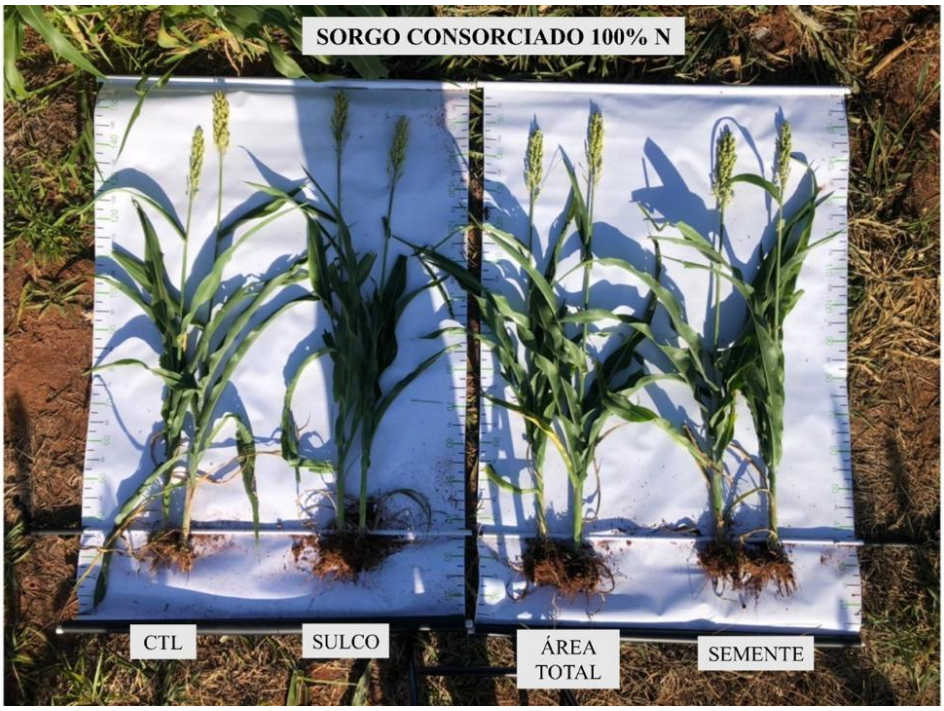
Fonte: Autoria própria.

Figura 14. Foto comparativa dos tratamentos de sorgo consorciado contendo 75% N.



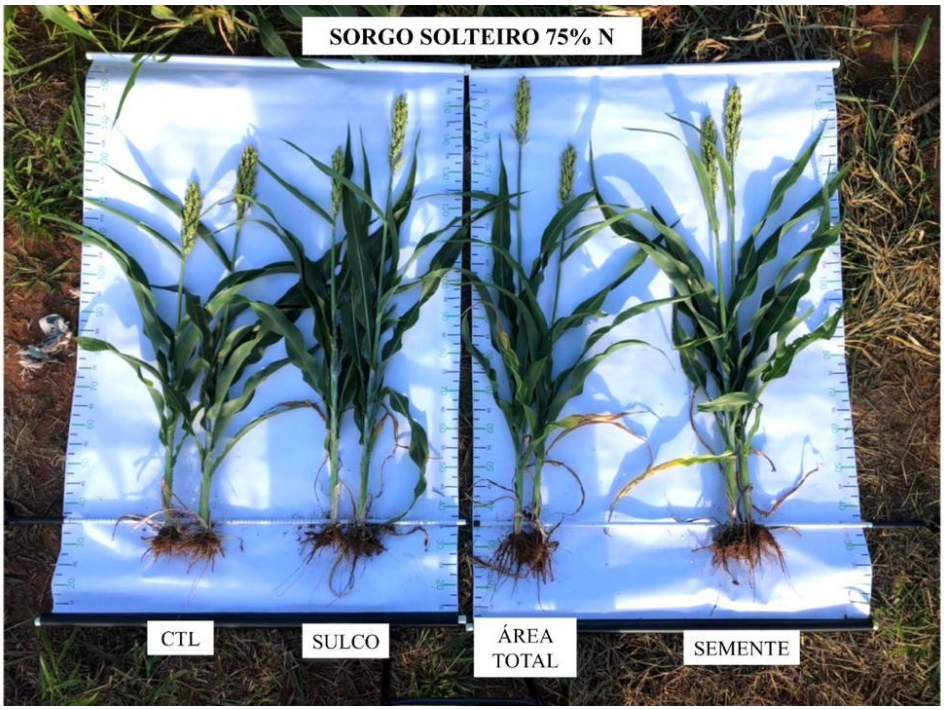
Fonte: Autoria própria.

Figura 15. Foto comparativa dos tratamentos de sorgo consorciado contendo 100 % N.



Fonte: Autoria própria.

Figura 16. Foto comparativa dos tratamentos de sorgo solteiro contendo 75 % N.



Fonte: Autoria própria.

Figura 17. Foto comparativa dos tratamentos de sorgo solteiro contendo 100 % N.



Fonte: Autoria própria.

Tabela 2. Índice de clorofila foliar, massa seca de parte aérea (MSPA), massa seca de raiz (MSRAIZ), fotossíntese líquida (*A*), transpiração (*E*), concentração interna de CO_2 na câmara subestomática (*Ci*) e condutância estomática (*GS*) em função de formas de inoculação associado à 100 ou 75% de N no sorgo granífero, consorciado ou não com capim-Piatã. Dracena – SP.

Tratamentos	ICF (SPAD)	MSPA (kg ha^{-1})	MSRAIZ (kg ha^{-1})	*A* (µmol CO_2 m^{-2} s^{-1})	*E* (mmol H_2O m^{-2} s^{-1})	*CI* (µmol CO_2 mol air^{-1})	*GS* (mol H_2O m^{-2} s^{-1})
CTL 75	41,8b	4311b	1172b	18,1	3,02	234	0,32
CTL 100	43,1b	4637b	1210b	19,0	3,12	213	0,33
SUL 75	45,1a	5126a	1422a	20,5	3,13	186	0,35
SUL 100	45,7a	5541a	1363a	20,9	3,14	199	0,37
AT 75	46,0a	5733a	1505a	23,9	3,31	172	0,43
AT 100	46,2a	5956a	1581a	24,6	3,48	172	0,41
SEM 75	44,7a	5674a	1452a	22,9	3,42	179	0,42
SEM 100	45,7a	5585a	1400a	22,7	3,24	188	0,40
Erro padrão	0,48	220,09	63,02	0,51	0,03	3,44	0,01
Consórcio							
Sem	44,7a	5830a	1733a	23,1	3,21	204	0,38
Com	44.8a	4811b	1044b	20,1	3,26	182	0,38
D.M.S. (5%)	0,69	313,45	89,75	0,73	0,05	4,90	0,01
C.V. (%)	3,06	11,70	12,84	6,78	2,94	5,05	5,52
Média Geral	44,8	5320	1388	21,6	3,23	193	0,37
Valores P							
Ino	0,0001	0,0001	0,0004	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Con	0,7498	0,0001	0,0001	0,0001	0,0567	0,0001	0,1275
Ino x Con	0,6696	0,8557	0,8531	0,0219	0,0001	0,0001	0,0019

Fonte: Autoria própria.

CTL = controle, sem inoculação; SUL = inoculação no sulco; AT = inoculação em área total; SEM = inoculação nas sementes; D.M.S. = diferença mínima significativa; C.V. = Coeficiente de variação. Médias seguidas de letra diferente, na coluna, diferem entre si pelo teste de Scott-Knott para as inoculações e doses de N e Tukey para o consórcio, respectivamente (P<0,05).

Na modalidade de cultivo de sorgo solteiro, a aplicação de *A. brasilense* em área total proporcionou maior fotossíntese líquida (*A*) comparativamente aos demais tratamentos (Tabela 3). O tratamento controle 100 e 75 kg N ha^{-1} e aplicação via sulco 75 kg N ha^{-1} apresentaram menores médias dentre os demais tratamentos. Na presença do consórcio com capim-piatã a aplicação de *A. brasilense* em área total e semente associado à ambas as doses e aplicação via sulco associado à 75 kg N ha^{-1}, apresentaram maior fotossíntese líquida. De modo geral a modalidade de cultivo de sorgo solteiro, proporcionou maior taxa de fotossíntese líquida quando comparado ao sorgo consorciado, porém não houve diferença em CTL 75 e 100 e SUL 75 (Tabela 3).

Tabela 3. Interação entre formas de inoculação associado à doses de N e consórcio ou não com capim-Piatã sobre fotossíntese líquida (*A*). Dracena – SP.

A (μmol CO_2 m^{-2} s^{-1})		
Trat/consórcio	Sem	Com
CTL 75	18,8cA	17,5bA
CTL 100	19,7cA	18,3bA
SUL 75	20,9cA	20,2aA
SUL 100	23,5bA	18,3bB
AT 75	26,2aA	21,5aB
AT 100	26,6aA	22,5aB
SEM 75	24,8bA	21,0aB
SEM 100	24,0bA	21,3aB
Erro padrão	0,73	
D.M.S. (5%)	2,08	

Fonte: Autoria própria.

CTL = controle, sem inoculação; SUL = inoculação no sulco; AT = inoculação em área total; SEM = inoculação nas sementes; D.M.S. = diferença mínima significativa; Médias seguidas de letra minúsculas diferentes na coluna diferem entre si pelo teste de Scott-Knott para as inoculações e doses de N dentro dos tratamento consorciados ou não; Médias seguidas de letra maiúsculas diferentes na linha diferem entre si pelo teste de Tukey para o consórcio dentro das inoculações e doses de N, respectivamente ($P<0,05$).

O sorgo na ausência de consórcio, apresentou maior transpiração (*E*) com aplicação em área total 100 e semente 75. A aplicação de *A. brasilense* em área total associado à 75 kg N ha^{-1} proporcionou maior *E*, quando comparado aos tratamentos, controle e sulco associado à 100 e 75 kg N ha^{-1} e semente 100 kg N ha^{-1}. O consórcio com capim-Piatã ocasionou maior transpiração nos tratamentos área total e semente 100 kg N ha^{-1}, sendo o tratamento controle 75 kg N ha^{-1} a menor média de transpiração quando comparado aos demais tratamentos. O consórcio sorgo-capim apresentou maior transpiração para os tratamentos CTL 100, SUL 100 e 75 e SEM 100, em relação ao sorgo solteiro, não diferindo nos tratamentos CTL 75 e AT 75, e apresentando menor transpiração para o tratamento SEM 75, comparado à ausência de consórcio (Tabela 4).

Tabela 4. Interação entre formas de inoculação associado à doses de N e consórcio ou não com capim-Piatã sobre a transpiração (*E*). Dracena – SP.

E (mmol H_2O m^{-2} s^{-1})		
Trat/consórcio	Sem	Com
CTL 75	3,01cA	3,04cA
CTL 100	3,03cB	3,20bA
SUL 75	3,03cB	3,24bA
SUL 100	3,07cB	3,22bA
AT 75	3,34bA	3,27bA
AT 100	3,53aA	3,42aA
SEM 75	3,56aA	3,29bB
SEM 100	3,10cB	3,38aA
Erro padrão	0,05	
D.M.S. (5%)	0,14	

Fonte: Autoria própria.

CTL = controle, sem inoculação; SUL = inoculação no sulco; AT = inoculação em área total; SEM = inoculação nas sementes; D.M.S. = diferença mínima significativa; Médias seguidas de letra minúsculas diferentes na coluna diferem entre si pelo teste de Scott-Knott para as inoculações e doses de N dentro dos tratamento consorciados ou não; Médias seguidas de letra maiúsculas diferentes na linha diferem entre si pelo teste de Tukey para o consórcio dentro das inoculações e doses de N, respectivamente ($P<0,05$).

O tratamento CTL 75 apresentou maior concentração interna de CO_2 na câmara subestomática (*Ci*) em relação aos demais tratamentos, em ambas as modalidades de cultivo (sorgo consorciado ou não). O tratamento controle 100 kg N ha^{-1} na ausência de consórcio, por sua vez, apresentou maior *Ci* em relação os tratamentos com aplicação via sulco, área total e via semente, de modo que o tratamento SUL 100 e SEM 100 conferiram menor *Ci* em relação aos demais tratamentos. Em contrapartida, para o cultivo de sorgo consorciado, o tratamento CTL 100 e SUL 75 e 100 conferiram maior *Ci*, comparativamente à aplicação de *A. brasilense* em área total e via sulco. O cultivo de sorgo solteiro proporcionou maior *Ci* para os tratamentos controle 100 ou 75 kg N ha^{-1}, sulco, área total e semente associados a dosagem de 100 kg N ha^{-1}, quando comparado ao cultivo consorciado com capim-Piatã, não diferindo dos demais tratamentos (Tabela 5).

Tabela 5. Interação entre formas de inoculação associado à doses de N e consórcio ou não com capim-Piatã sobre a concentração interna de CO_2 na câmara subestomática (*Ci*). Dracena – SP.

CI (µmol CO_2 mol air^{-1})		
Trat/consórcio	Sem	Com
CTL 75	260aA	209aB
CTL 100	240bA	187bB
SUL 75	185dA	188bA
SUL 100	210cA	188bB
AT 75	175dA	170cA
AT 100	182dA	163cB
SEM 75	181dA	177cA
SEM 100	199cA	177cB
Erro padrão	4,87	
D.M.S. (5%)	13,88	

Fonte: Autoria própria.

CTL = controle, sem inoculação; SUL = inoculação no sulco; AT = inoculação em área total; SEM = inoculação nas sementes; D.M.S. = diferença mínima significativa; Médias seguidas de letra minúsculas diferentes na coluna diferem entre si pelo teste de Scott-Knott para as inoculações e doses de N dentro dos tratamento consorciados ou não; Médias seguidas de letra maiúsculas diferentes na linha diferem entre si pelo teste de Tukey para o consórcio dentro das inoculações e doses de N, respectivamente ($P<0,05$).

Na modalidade de cultivo de sorgo consorciado com braquiária, os tratamentos contendo aplicação em área total e via semente associado às doses de 100 ou 75 kg N ha^{-1} e via sulco 100 kg N ha^{-1}, resultaram em maior condutância estomática (*GS*), comparativamente aos demais tratamentos, sendo que a aplicação via sulco com 75 kg N ha^{-1} apresentou maior *GS* quando comparado ao tratamento controle em ambas as doses de N. Os dados supracitados se assemelham para o cultivo de sorgo solteiro, no qual a aplicação de inoculante via semente e em área total associado à ambas as doses conferiram maior *GS* em relação aos demais tratamentos. Na presença de consórcio, o tratamento CTL 100 apresentou menor *GS* comparativamente a ausência de consórcio, em contrapartida a aplicação via sulco associada a 100 kg N ha^{-1} apresentou maior média em relação ao cultivo de sorgo solteiro (Tabela 6).

Tabela 6. Interação entre formas de inoculação associado à doses de N e consórcio ou não com capim-Piatã sobre a condutância estomática (*GS*). Dracena – SP.

GS (mol H_2O m^{-2} s^{-1})		
Trat/consórcio	Sem	Com
CTL 75	0,34bA	0,32cA
CTL 100	0,35bA	0,31cB
SUL 75	0,36bA	0,34bA
SUL 100	0,34bB	0,40aA
AT 75	0,43aA	0,42aA
AT 100	0,42aA	0,40aA
SEM 75	0,42aA	0,41aA
SEM 100	0,40aA	0,40aA
Erro padrão	0.01	
D.M.S. (5%)	0.03	

Fonte: Autoria própria.

CTL = controle, sem inoculação; SUL = inoculação no sulco; AT = inoculação em área total; SEM = inoculação nas sementes; D.M.S. = diferença mínima significativa; Médias seguidas de letra minúsculas diferentes na coluna diferem entre si pelo teste de Scott-Knott para as inoculações e doses de N dentro dos tratamento consorciados ou não; Médias seguidas de letra maiúsculas diferentes na linha diferem entre si pelo teste de Tukey para o consórcio dentro das inoculações e doses de N, respectivamente ($P<0,05$).

Tratando-se dos parâmetros de trocas gasosas, existe uma correlação entre os dados obtidos para transpiração (*E*) e condutância estomática, pois a transpiração se trata da perda de água via estômato, enquanto a condutância estomática (*Gs*) refere-se a abertura dos estômatos, possibilitando as trocas gasosas, deste modo, quanto maior a transpiração, maior deve ser a condutância estomática. A mesma correlação pode ser vista quando analisamos *A* e ICF (SPAD), quando há maior atividade da fotossíntese, a demanda por CO_2 e água é alta, deste modo a condutância estomática e transpiração apresentam maiores médias, sendo que o oposto é visto na concentração interna de CO_2 na câmara subestomática. A abertura estomática é essencial para absorção de CO_2 pelas folhas, elemento essencial à fotossíntese, produção de carboidratos, e consequentemente ao desenvolvimento da planta (Barboza; Teixeira Filho, 2017).

Os valores obtidos em massa seca de raiz e parte aérea, índice de clorofila foliar (SPAD), fotossíntese líquida, transpiração, concentração interna de CO_2 na câmara subestomática e condutância estomática, demonstram que tratamentos contendo inoculação de *A. brasilense* apresentaram melhor desempenho quando comparado ao tratamento controle. Deste modo, reforça-se a eficiência da bactéria *A. brasilense* em promover o desenvolvimento vegetativo do sorgo, podendo incrementar na produtividade de grãos da cultura.

Os maiores acúmulos de N em parte aérea (em florescimento) foram constatados nos tratamentos com inoculação em área total e semente em ambas as doses e inoculação via sulco com 100 kg de N ha^{-1}, sendo que o tratamento CTL 75 apresentou menor acúmulo quando comparado aos demais tratamentos. O acúmulo de nitrogênio na raiz apresentou maior média no tratamento AT 100 quando comparado aos demais tratamentos, sendo que os tratamentos CTL 100 e 75, SUL 75 e SEM 75, resultaram em menor acúmulo de nitrogênio na raiz. Não houve interação entre as formas de inoculação associado a doses de nitrogênio e o consórcio no acúmulo de nitrogênio em parte aérea e acúmulo de nitrogênio na raiz em ocasião de florescimento (Tabela 7).

Tabela 7. Acúmulo de nitrogênio durante florescimento em parte aérea (NPA FLOR) e na raiz (NRAI) em função de formas de inoculação associado à 100 ou 75% de N no sorgo granífero, consorciado ou não com capim-Piatã. Dracena – SP.

Tratamentos	NPA FLOR (kg ha^{-1})	NRAI (kg ha^{-1})
CTL 75	56,4c	12,0c
CTL 100	67,9b	13,2c
SUL 75	66,6b	12,8c
SUL 100	78,9a	14,0b
AT 75	75,1a	14,3b
AT 100	85,6a	16,3a
SEM 75	73,8a	12,8c
SEM 100	78,5a	14,3b
Erro padrão	3,06	0,38
Consórcio		
Sem	81,3a	18,4a
Com	64,4b	9,02b
D.M.S. (5%)	4,36	0,54
C.V. (%)	11,87	7,78
Média Geral	72,85	13,72
Valores P		
Trat	0,0000	0,0000
Con	0,0000	0,0000
Trat x Con	0,4002	0,1516

Fonte: Autoria própria.

CTL = controle, sem inoculação; SUL = inoculação no sulco; AT = inoculação em área total; SEM = inoculação nas sementes; D.M.S. = diferença mínima significativa; C.V. = Coeficiente de variação. Médias seguidas de letra diferente, na coluna, diferem entre si pelo teste de Scott-Knott para as inoculações e doses de N e Tukey para o consórcio, respectivamente ($P<0,05$).

O N é considerado elemento essencial ao desenvolvimento das plantas, atuando sobre a fotossíntese, composição de aminoácidos e diversos compostos como ATP, NADH, proteínas e diversas enzimas (Harper, 1994). Considerando que o início do florescimento e enchimento de grão é um dos pontos de maior demanda nutricional do sorgo (Franco, 2011), é fundamental que a planta consiga maximizar

sua absorção de nutrientes e através disso, possivelmente incrementar a produtividade da cultura e mitigar custos com fertilizantes.

Os resultados obtidos em florescimento pleno da cultura contribuíram diretamente com o desenvolvimento da cultura em ocasião de colheita, o que pode decorrer em função da inter-relação entre o desenvolvimento vegetativo, reprodutivo e maturação da planta. Uma planta bem nutrida e com bom desenvolvimento vegetativo tende a proporcionar maior desenvolvimento durante o estádio reprodutivo e enchimento de grãos (Yue, et al., 2022).

Assim como nas avaliações em ocasião de florescimento pleno os tratamentos contendo inoculações destacaram-se durante as avaliações em ocasião de colheita. No entanto, não houve diferença estatística, entre as inoculações e controle, para altura de planta e panículas por metro. O diâmetro de colmo foi positivamente influenciado pela inoculação em área total em ambas as doses de nitrogênio e pelo tratamento SEM 100 (Tabela 8). O cultivo de sorgo consorciado apresentou maior altura de plantas e menor diâmetro de colmo, sendo que efeitos semelhantes foram registrados por Melo et al. (2021). Possivelmente este efeito pode ser decorrente da competição interespecífica por luz, o que gera o processo de estiolamento (Maynard; Bassuk, 1987).

O cultivo de sorgo solteiro, proporcionou maior média para panícula por metro, peso de 100 grãos e produtividade. Não houve interação entre o consórcio e as formas de inoculação para altura de plantas, diâmetro de colmo, panícula por metro, peso de 100 grãos e produtividade (Tabela 8).

O peso de 100 grãos apresentou maiores médias para os tratamentos contendo inoculações associadas a dose de 100 kg N ha^{-1}, sendo as menores médias provenientes dos tratamentos CTL e SUL 75. A produtividade apresentou comportamento semelhante, de modo que os tratamentos AT 100 e SUL 100 proporcionaram maior produtividade (Tabela 8).

Tabela 8. Altura de planta, diâmetro de colmo, panícula por metro, massa seca de palhada (MSPAL), peso de 100 grãos (100 GR) e produtividade em função de formas de inoculação associado à 100 ou 75% de N no sorgo granífero, consorciado ou não com capim-Piatã. Dracena – SP.

Tratamentos	ALT (cm)	DIAM COL (mm)	PAN MET	MSPAL (kg ha^{-1})	100 GR (g)	PROD (kg ha^{-1})
CTL 75	114a	16,3c	9,33a	3200	2,37d	3307d
CTL 100	117a	16,9c	9,67a	3496	2,56c	3710c
SUL 75	116a	16,9c	9,33a	3674	2,52c	3606c
SUL 100	121a	17,6b	10,0a	3911	2,79a	4056a
AT 75	113a	18,4a	10,0a	3689	2,67b	3644c
AT 100	115a	19,5a	10,0a	4000	2,90a	4119a
SEM 75	119a	17,6b	9,50a	3556	2,68b	3804b
SEM 100	118a	18,9a	9,67a	3733	2,77a	3876b
Erro padrão	1,84	0,33	0,26	50,8	0,05	78,05
Consórcio						
Sem	114b	18,04a	10,0a	3915	2,80a	4024a
Com	118a	17,47b	9,37b	3400	2,51b	3507b
D.M.S. (5%)	2,61	0,48	0,37	72,34	0,07	111,16
C.V. (%)	4,46	5,32	7,52	3,93	5,17	5,86
Média Geral	116	17,8	9,69	3657	2,66	3765
Valores P						
Trat	0,0594	0,0000	0,2957	0,0000	0,0000	0,0000
Con	0,0030	0,0190	0,0013	0,0000	0,0000	0,0000
Trat x Con	0,0857	0,9416	0,1946	0,0011	0,4178	0,4350

Fonte: Autoria própria.

CTL = controle, sem inoculação; SUL = inoculação no sulco; AT = inoculação em área total; SEM = inoculação nas sementes; D.M.S. = diferença mínima significativa; C.V. = Coeficiente de variação. Médias seguidas de letra diferente, na coluna, diferem entre si pelo teste de Scott-Knott para as inoculações e doses de N e Tukey para o consórcio, respectivamente ($P<0,05$).

Na modalidade de cultivo de sorgo consorciado com capim piatã, os tratamentos contendo inoculações associadas a 100 kg N ha^{-1} proporcionaram maiores médias para massa seca de palhada. No entanto, quando comparado ao cultivo de sorgo solteiro, o consórcio prejudicou o desenvolvimento de palhada. No cultivo de sorgo solteiro aos tratamentos AT 100 e SUL 100 apresentaram maior aporte de palhada, quando comparado aos demais tratamentos, sendo que com exceção do tratamento AT 75, as demais inoculações se mostram superiores ao tratamento controle (Tabela 9).

Tabela 9. Interação entre formas de inoculação associado à doses de N e consórcio ou não com capim-Piatã sobre a massa seca de palhada (MSPAL). Dracena – SP.

	MSPAL (kg ha^{-1})	
Trat/consórcio	Sem	Com
CTL 75	3319dA	3081cB
CTL 100	3585cA	3407bA
SUL 75	3970bA	3378bB
SUL 100	4267aA	3556aB
AT 75	4059bA	3319bB
AT 100	4326aA	3674aB
SEM 75	3793cA	3319bB
SEM 100	4000bA	3467aB
Erro padrão	71,83	
D.M.S. (5%)	204,60	

Fonte: Autoria própria.

CTL = controle, sem inoculação; SUL = inoculação no sulco; AT = inoculação em área total; SEM = inoculação nas sementes; D.M.S. = diferença mínima significativa; Médias seguidas de letra minúsculas diferentes na coluna diferem entre si pelo teste de Scott-Knott para as inoculações e doses de N dentro dos tratamento consorciados ou não; Médias seguidas de letra maiúsculas diferentes na linha diferem entre si pelo teste de Tukey para o consórcio dentro das inoculações e doses de N, respectivamente ($P<0,05$).

O acúmulo de N na palhada e grãos apresentou interação formas de inoculação associadas à doses de N e consórcio ou não com capim-Piatã (Tabela 10).

Tabela 10. Acúmulo de nitrogênio na palhada e acúmulo de nitrogênio em grãos em função de formas de inoculação associado à 100 ou 75% de N no sorgo granífero, consorciado ou não com capim-Piatã. Dracena – SP.

Tratamentos	NPAL (kg ha^{-1})	NGR (kg ha^{-1})
CTL 75	23,1	49,1
CTL 100	29,0	56,3
SUL 75	28,4	52,4
SUL 100	34,0	62,4
AT 75	29,4	56,8
AT 100	35,8	64,8
SEM 75	28,4	54,1
SEM 100	32,2	59,2
Erro padrão	0,77	1,28
Consórcio		
Sem	33,0	62,9
Com	27,1	50,9
D.M.S. (5%)	1,10	1,83
C.V. (%)	7,29	6,37
Média Geral	30,0	56,9
Valores P		
Trat	0,0000	0,0000
Con	0,0000	0,0000
Trat x Con	0,0014	0,0246

Fonte: Autoria própria.

CTL = controle, sem inoculação; SUL = inoculação no sulco; AT = inoculação em área total; SEM = inoculação nas sementes; D.M.S. = diferença mínima significativa; C.V. = Coeficiente de variação. Médias seguidas de letra diferente, na coluna, diferem entre si pelo teste de Scott-Knott para as inoculações e doses de N e Tukey para o consórcio, respectivamente ($P<0,05$).

O tratamento AT 100 apresentou maior acúmulo de nitrogênio na palhada no cultivo de sorgo solteiro, quando comparado ao tratamento SUL 100, por sua vez, os tratamentos SEM 100 e AT 75 proporcionaram médias inferiores ao tratamento SUL 100, porém superiores aos demais tratamentos, o tratamento CTL 75 apresentou a menor média para a variável analisada. De modo semelhante, no cultivo de sorgo consorciado o tratamento AT 100, destacou-se com o maior acúmulo, não diferindo da inoculação via sulco e semente associado à 100 kg de N ha^{-1}, sendo que a não inoculação associada a 75 kg de N ha^{-1} resultou no menor acúmulo de N em palhada. A consórcio impactou negativamente o acúmulo de nitrogênio na palhada (Tabela 11).

Tabela 11. Interação entre formas de inoculação associado à doses de N e consórcio ou não com capim-Piatã sobre o acúmulo de nitrogênio na palhada (NPAL). Dracena – SP.

NPAL (kg ha^{-1})		
Trat/consórcio	Sem	Com
CTL 75	24,5eA	21,8cA
CTL 100	30,8dA	27,3bB
SUL 75	30,2dA	26,6bB
SUL 100	37,9bA	30,1aB
AT 75	34,2cA	24,5bB
AT 100	41,3aA	30,3aB
SEM 75	30,4dA	26,4bB
SEM 100	34,6cA	29,8aB
Erro padrão	1,10	
D.M.S. (5%)	3,12	

Fonte: Autoria própria.

CTL = controle, sem inoculação; SUL = inoculação no sulco; AT = inoculação em área total; SEM = inoculação nas sementes; D.M.S. = diferença mínima significativa; Médias seguidas de letra minúsculas diferentes na coluna diferem entre si pelo teste de Scott-Knott para as inoculações e doses de N dentro dos tratamento consorciados ou não; Médias seguidas de letra maiúsculas diferentes na linha diferem entre si pelo teste de Tukey para o consórcio dentro das inoculações e doses de N, respectivamente ($P<0,05$).

O maior acúmulo de N na palhada obtido no tratamento AT 100 pode ser atribuído à maior disponibilidade de nitrogênio associada aos efeitos da inoculação com *A. brasilense* sobre o sistema radicular. O aumento do volume e do comprimento das raízes, amplia a exploração do solo e a absorção de água e nutrientes, o que pode resultar em maior acúmulo de N na biomassa vegetal (Marques et al., 2024; Fernandes et al., 2023).

A presença de nitrogênio na palhada associada a quantidade de palhada por hectare pode ser um indicativo do desenvolvimento da cultura, uma vez que há maior acúmulos do nutriente em palhada, possivelmente a planta foi bem nutrida durante os estádios anteriores, resultando em maior produção de biomassa.

No cultivo de sorgo solteiro os tratamentos AT 100 e SUL 100 proporcionaram maior acúmulo de nitrogênio no grão, seguidos por SEM 100 e AT 75 os quais apresentaram maior acúmulo quando comparado aos demais tratamentos, sendo que o tratamento CTL 75 resultou no menor acúmulo de nitrogênio. Na modalidade sorgo consorciado, os tratamentos contendo 100 kg de N ha^{-1} proporcionaram maior acúmulo de N quando comparado aos tratamentos com redução de 25 kg N ha^{-1}. De modo geral, o cultivo de sorgo consorciado reduziu o acúmulo de nitrogênio no grão de sorgo, comparativamente ao cultivo de sorgo solteiro (Tabela 12).

Tabela 12. Interação entre formas de inoculação associado à doses de N e consórcio ou não com capim-Piatã sobre o acúmulo de nitrogênio em grãos (NGR). Dracena – SP.

NGR (kg ha^{-1})		
Trat/consórcio	Sem	Com
CTL 75	51,5dA	46,7bA
CTL 100	61,0cA	51,6aB
SUL 75	58,2cA	46,5bB
SUL 100	69,0aA	55,9aB
AT 75	66,1bA	47,6bB
AT 100	72,8aA	56,9aB
SEM 75	60,1cA	48,1bB
SEM 100	64,9bA	53,6aB
Erro padrão	1,81	
D.M.S. (5%)	5,16	

Fonte: Autoria própria.

CTL = controle, sem inoculação; SUL = inoculação no sulco; AT = inoculação em área total; SEM = inoculação nas sementes; D.M.S. = diferença mínima significativa; Médias seguidas de letra minúsculas diferentes na coluna diferem entre si pelo teste de Scott-Knott para as inoculações e doses de N dentro dos tratamento consorciados ou não; Médias seguidas de letra maiúsculas diferentes na linha diferem entre si pelo teste de Tukey para o consórcio dentro das inoculações e doses de N, respectivamente ($P<0,05$).

A inoculação da bactéria *A. brasilense*, independentemente da forma de inoculação, promoveu maior desenvolvimento vegetativo, produtividade e acúmulo de N em tecidos na cultura do sorgo, quando comparado aos tratamentos controle. Tal efeito pode ser decorrente dos benefícios proporcionados pela inoculação de bactérias do gênero *Azospirillum*, uma vez que este microrganismo é amplamente conhecido e empregado em sistemas produtivos, por sua capacidade de promover o desenvolvimento de raízes e parte aérea, tais benefícios são alcançados através da produção e secreção de fito-hormônios, como o ácido indol-3-acético (AIA), citocininas, giberelinas e etileno (Cassán e Diaz-Zorita, 2016), aumento na disponibilidade de nutrientes, solubilização do fosfato, a fixação biológica de nitrogênio (FBN), o aumento na eficiência de uso do N e outros nutrientes (Hungria et al., 2010; Galindo et al., 2020).

Apesar de não haver diferença entre as formas de inoculação, a inoculação em área total mostrou bom desempenho para os parâmetros avaliados, mesmo com teoricamente maior mortalidade de microrganismos, haja visto que seu desempenho foi similar aos demais tratamentos.

Apesar da inoculação de *A. brasilense* via sementes ser ainda a forma de aplicação mais utilizada, é crescente a preocupação acerca da interação negativa entre defensivos químicos utilizados no tratamento de sementes e os inoculantes aplicados (Santos et al., 2021). A temperatura do ar também é um ponto crucial, uma

vez que pode a bactéria pode sofrer influência negativa das condições climáticas (Hungria, 2011). Portanto aumentar a dosagem de inoculante e optar por semear em horários de temperatura amena, pode ser uma forma de aumentar a viabilidade e sobrevivência dos indivíduos, para inoculação via semente e via sulco de plantio.

A redução de 25% da dose de N impactou negativamente o desenvolvimento de biomassa e produtividade da cultura do sorgo, sendo que as maiores médias de produtividade são provenientes dos tratamentos contendo a inoculação de *A. brasilense* e 100 kg N ha^{-1}. No entanto, considerando-se os custos de aquisição e aplicação do fertilizante e o valor da saca de sorgo, a redução de 25% da dosagem recomendada pode se tornar uma opção economicamente viável, sendo necessários novos estudos.

Apesar do cultivo consorciado não ter beneficiado o crescimento e a produtividade da cultura do sorgo, o maior aporte de biomassa proveniente deste método de cultivo pode elevar a atividade microbiológica do solo, atuar na ciclagem e disponibilidade de nutrientes e consequentemente beneficiar o crescimento e desenvolvimento de culturas subsequentes, evidenciando que a implementação do consorcio pode trazer diversos benefícios a longo prazo para o sistema de produção (Abreu, et al., 2025; Canisares et al., 2021a; Canisares et al., 2021b). Além disso, após a colheita do sorgo o capim recebe condições para retomar o seu desenvolvimento, possibilitando o pastejo animal e formando uma cobertura de qualidade para o solo (Abreu, et al., 2025).

6 CONCLUSÕES

A produção de biomassa e produtividade do sorgo aumentou independentemente da forma de inoculação de *A. brasilense*, quando comparado aos tratamentos com ausência de inoculação, principalmente em função dos benefícios verificados no crescimento de raiz e parte aérea por meio dos benefícios nos parâmetros de trocas gasosas e fotossíntese. Em complemento, a inoculação com *A. brasilense* proporcionou maior acúmulo de N em palhada, raiz e grãos. No entanto, a inoculação com *A. brasilense* não permitiu redução da dose de N em cobertura em 25%, demonstrando que o sorgo é uma cultura responsiva à adubação nitrogenada.

Com relação ao consórcio entre a cultura do sorgo e o capim-Piatã, a modalidade de cultivo de sorgo consorciado reduziu o crescimento do sorgo, e proporcionou menor produtividade e produção de biomassa em relação ao sorgo solteiro.

7 REFERÊNCIAS

ABREU, Lucas da Silva et al. Os benefícios e aplicações dos sistemas de consórcio para a agricultura sustentável. **Emirates Journal of Food and Agriculture** , v. 37, p. 1-12, 2025.

ALBUQUERQUE, Carlos Juliano Brant; DE MENEZES, Cícero Beserra; DE FREITAS, Rogério Soares. Origem, evolução e domesticação do sorgo. 2021.

ANDRADE, Agner de Freitas et al. Azospirillum brasilense inoculation methods in corn and sorghum. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 49, p. e53027, 2019.

ARAUJO, Fabio Fernando et al. Bacillus subtilis changes the root architecture of soybean grown on nutrient-poor substrate. **Rhizosphere**, v. 18, p. 100348, 2021.

BARBOZA, Gustavo Cavalari; TEIXEIRA FILHO, José. Transpiração foliar e condutância estomática da cana-de-açúcar em função do clima e disponibilidade de água. **Irriga**, v. 22, n. 4, p. 675-689, 2017.

BOSSOLANI, João William et al. Soybean in crop rotation with maize and palisade grass intercropping enhances the long-term effects of surface liming in no-till system. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 21, n. 1, p. 119-130, 2021.

CALVO, Cássio Loureiro; FOLONI, José Salvador Simoneti; BRANCALIÃO, Sandro Roberto. Produtividade de fitomassa e relação C/N de monocultivos e consórcios de guandu-anão, milheto e sorgo em três épocas de corte. **Bragantia**, v. 69, n. 1, p. 77-86, 2010.

CANISARES, Lucas P. et al. Legacy effects of intercropping and nitrogen fertilization on soil N cycling, nitrous oxide emissions, and the soil microbial community in tropical maize production. **Frontiers in Soil Science**, v. 1, p. 746433, 2021a.

CANISARES, Lucas Pecci et al. Maize-Brachiaria intercropping: A strategy to supply recycled N to maize and reduce soil N2O emissions?. **Agriculture, ecosystems & environment**, v. 319, p. 107491, 2021b.

CANTARELLA, H.; ZAMBROSI, F.C.B.; QUAGGIO, J.A.; DUARTE, A.P. Cereais. In:CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; MATTOS, J.R.D.; BOARETTO, R.M.; VAN RAIJ,B. Boletim 100: Recomendações técnicas de adubação e calagem para o estado de São Paulo. 3. ed. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas. p. 213-238, 2022.(Boletim Técnico 100).

CASSÁN, Fabricio et al. Everything you must know about Azospirillum and its impact on agriculture and beyond. **Biology and fertility of soils**, v. 56, n. 4, p. 461-479, 2020.

CASSÁN, Fabricio; DIAZ-ZORITA, Martín. Azospirillum sp. in current agriculture: From the laboratory to the field. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 103, p. 117-130, 2016.

CEREZINI, Paula et al. Physiological and N2-fixation-related traits for tolerance to drought in soybean progenies. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 54, p. e00839, 2019.

CORREA FILHO, Douglas Vilas Boas et al. Crescimento e desenvolvimento de aveia preta em resposta à inoculação com Azospirillum brasilense e adubação nitrogenada. In: **Colloquium Agrariae. ISSN: 1809-8215**. 2017. p. 01-08.

CRUSCIOL, Carlos AC et al. Improving soil fertility and crop yield in a tropical region with palisadegrass cover crops. **Agronomy Journal**, v. 107, n. 6, p. 2271-2280, 2015.

CRUSCIOL, Carlos AC et al. Nitrogen-fertilized systems of maize intercropped with tropical grasses for enhanced yields and estimated land use and meat production. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 4, p. 544853, 2020.

DA SILVA, Andresa Paula; DOURADO, Manuella Nóbrega. Mecanismos de promoção de crescimento vegetal por bactérias endofíticas. **Iniciação Científica Cesumar**, v. 24, n. 1, p. 1-11, 2022.

DE MENEZES, C. B. Sorgo granífero: estenda sua safrinha com segurança. 2015.

DI SALVO, Luciana P. et al. Microorganisms reveal what plants do not: wheat growth and rhizosphere microbial communities after Azospirillum brasilense inoculation and nitrogen fertilization under field conditions. **Plant and Soil**, v. 424, n. 1, p. 405-417, 2018.

DOMINGUES DUARTE, Camila Fernandes et al. Azospirillum spp. en gramíneas y forrajeras. Revisión. **Revista mexicana de ciencias pecuarias**, v. 11, n. 1, p. 223-240, 2020.

ESPITIA-HERNÁNDEZ, Pilar et al. Sorghum (Sorghum bicolor L.) as a potential source of bioactive substances and their biological properties. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 62, n. 8, p. 2269-2280, 2022.

FERNANDES SOUZA, Jucinéia et al. Yield and nutritional value of silage of different sorghum hybrids inoculated with Azospirillum brasilense. **Journal of Applied Animal Research**, v. 51, n. 1, p. 424-433, 2023.

FERNANDES, Adalton Mazetti et al. Growth and nitrogen uptake by potato and cassava crops can be improved by Azospirillum brasilense inoculation and nitrogen fertilization. **Horticulturae**, v. 9, n. 3, p. 301, 2023.

FERNANDES, Patrick Bezerra et al. Aspectos relacionados ao potencial forrageiro do sorgo: revisão. **Pubvet**, v. 14, p. 119, 2020.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). FAOSTAT: Crops and livestock products. Rome: FAO, 2024. Disponível em: https://www.fao.org/faostat/. Acesso em: 11 mar. 2026.

FRANCO, Antônio Augusto Nogueira. Marcha de absorção e acúmulo de nutrientes na cultura do sorgo. 2011.

FUKAMI, Josiane et al. Accessing inoculation methods of maize and wheat with Azospirillum brasilense. **AMB express**, v. 6, n. 1, p. 3, 2016.

GALINDO, Fernando Shintate et al. Inoculation of Azospirillum brasilense associated with silicon as a liming source to improve nitrogen fertilization in wheat crops. **Scientific reports**, v. 10, n. 1, p. 6160, 2020.

HARPER, J. E. Nitrogen metabolism. **Physiology and determination of crop yield**, p. 285-302, 1994.

HENLEY, E. C.; TAYLOR, J. R. N.; OBUKOSIA, S. D. The importance of dietary protein in human health: Combating protein deficiency in sub-Saharan Africa through transgenic biofortified sorghum. **Advances in food and nutrition research**, v. 60, p. 21-52, 2010.

HOSSAIN, Md Saddam et al. Sorghum: A prospective crop for climatic vulnerability, food and nutritional security. **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 8, p. 100300, 2022.

HUNGRIA, Mariangela et al. Inoculação com Azospirillum brasilense: inovação em rendimento a baixo custo. 2011.

HUNGRIA, Mariangela et al. Inoculation with selected strains of Azospirillum brasilense and A. lipoferum improves yields of maize and wheat in Brazil. **Plant and soil**, v. 331, n. 1, p. 413-425, 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Sorgo. Rio de Janeiro: IBGE, 2024. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/sorgo/br. Acesso em: 11 mar. 2026.

KUGEDERA, A. T. et al. Potential of field edge rainwater harvesting, biomass transfer and integrated nutrient management in improving sorghum productivity in semi-arid regions: a review. **Agroforestry Systems**, v. 96, n. 5, p. 909-924, 2022.

LAINGEN, Chris. A spatiotemporal analysis of sorghum in the United States. **Papers in Applied Geography**, v. 1, n. 4, p. 307-311, 2015.

LANDAU, E. C.; SANS, L. M. A. Clima. In: EMBRAPA MILHO E SORGO. Cultivo do sorgo. 9. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2015. (Sistema de Produção, 2).

MARQUES, Daniele Maria et al. Azospirillum brasilense inoculation improves the morphophysiological aspects of maize in soils with high and low nitrogen contents: maize inoculated with A. brasilense under nitrogen variation. **International Journal of Maize & Sorghum**, v. 22, 2023.

MARTIN-GUAY, Marc-Olivier et al. The new green revolution: sustainable intensification of agriculture by intercropping. **Science of the total environment**, v. 615, p. 767-772, 2018.

MATEUS, G. P. et al. Sidedress nitrogen application rates to sorghum intercropped with tropical perennial grasses. **Agronomy Journal**, v. 108, n. 1, p. 433-447, 2016.

MAYNARD, Brian K.; BASSUK, Nina L. Stockplant etiolation and blanching of woody plants prior to cutting propagation. **J. Amer. Soc. Hort. Sci**, v. 112, n. 2, p. 273-276, 1987.

MELO, CÉLIA DAS EIRAS LUDOVINA DGEDGE et al. SOWING ARRANGEMENTS OF SORGHUM WITH BRACHIARIA FOR FORAGE PRODUCTION AND SOIL COVER**. International Journal of Maize & Sorghum**, v. 20, 2021.

MOMESSO, Letusa et al. Early nitrogen supply as an alternative management for a cover crop-maize sequence under a no-till system. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 121, n. 1, p. 1-14, 2021.

MORGADO, L. B.; MORGADO, C. L. B. Cultura do sorgo. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2002.

MORTATE, Roberto Kennedy et al. Resposta de sorgo inoculado com Azospirillum brasilense a doses de nitrogênio em cobertura. **Revista Ciência Agrícola**, v. 18, n. 1, p. 65-72, 2020.

MÜLLER, Tânia Maria et al. Combination of inoculation methods of Azospirilum brasilense with broadcasting of nitrogen fertilizer increases corn yield. **Ciência Rural**, v. 46, n. 2, p. 210-215, 2015.

NAKATANI, André Shigueyoshi et al. Eficiência de diferentes bioformulações à base de Azospirillum brasilense na cultura do milho associada a redução na adubação nitrogenada. **Revista Delos**, v. 17, n. 60, p. e2100-e2100, 2024.

NELSON, Darrell W.; SOMMERS, Lee E. Total nitrogen analysis of soil and plant tissues. **Journal of the Association of Official Analytical Chemists**, v. 63, n. 4, p. 770-778, 1980.

PARIZ, Cristiano Magalhães et al. An innovative corn to silage-grass-legume intercropping system with oversown black oat and soybean to silage in succession for the improvement of nutrient cycling. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 4, p. 544996, 2020.

PEDROSA, F. O. et al. The ammonium excreting Azospirillum brasilense strain HM053: a new alternative inoculant for maize. **Plant and Soil**, v. 451, n. 1, p. 45-56, 2020.

PRZYBYLSKA-BALCEREK, Anna; FRANKOWSKI, Jakub; STUPER-SZABLEWSKA, Kinga. The influence of weather conditions on bioactive compound content in sorghum grain. **European Food Research and Technology**, v. 246, n. 1, p. 13-22, 2020.

R CORE TEAM et al. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. http://www. R-project. org/, 2016.

ROSOLEM, Ciro A. et al. Enhanced plant rooting and crop system management for improved N use efficiency. **Advances in agronomy**, v. 146, p. 205-239, 2017.

SAKAI, Hidemitsu et al. Yield responses to elevated CO2 concentration among Japanese rice cultivars released since 1882. **Plant Production Science**, v. 22, n. 3, p. 352-366, 2019.

SANTANA, Sheilla Rios Assis et al. Inoculation of plant growth-promoting bacteria attenuates the negative effects of drought on sorghum. **Archives of microbiology**, v. 202, n. 5, p. 1015-1024, 2020.

SANTOS, Mariana Sanches et al. The challenge of combining high yields with environmentally friendly bioproducts: A review on the compatibility of pesticides with microbial inoculants. **Agronomy**, v. 11, n. 5, p. 870, 2021.

SEEBER, Gabrielle Vieira et al. Azospirillum brasilense e Bacillus spp associados à redução de adubação nitrogenada na produção de forragem de azevém e Tifton 85. **Research, Society and Development**, v. 14, n. 9, p. e6614949540-e6614949540, 2025.

SMITH, Oliver et al. A domestication history of dynamic adaptation and genomic deterioration in Sorghum. **Nature plants**, v. 5, n. 4, p. 369-379, 2019.

SOARE, Elena et al. Research on worldwide sorghum production and trade for the period 2017-2022. **Scientific Papers. Series" Management, Economic Engineering in Agriculture and rural development**, v. 24, n. 4, p. 753-758, 2024.

SOARES, Deyvison de Asevedo et al. Inoculation with Azospirillum combined with nitrogen fertilization in sorghum intercropped with Urochloa in off-season. **Revista Ceres**, v. 69, n. 2, p. 227-235, 2022.

SODRÉ FILHO, Joilson et al. Intercropping sorghum and grasses during off-season in Brazilian Cerrado. **Scientia Agricola**, v. 79, p. e20200284, 2022.

SOUZA SALES, Letícia Zylmennith et al. Inoculação com Azospirillum brasilense e redução da adubação nitrogenada em arroz de terras altas. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 7, p. e9110716345-e9110716345, 2021.

SRINIVASA RAO, P. et al. Sorghum production for diversified uses. 2014.

STAMENKOVIĆ, Olivera S. et al. Production of biofuels from sorghum. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 124, p. 109769, 2020.

TAN, Meixiu et al. Dynamic process-based modelling of crop growth and competitive water extraction in relay strip intercropping: Model development and application to wheat-maize intercropping. **Field Crops Research**, v. 246, p. 107613, 2020.

TEIXEIRA, Paulo César et al. Manual de métodos de análise de solo. 2017.

VAN RAIJ, B.; ANDRADE, J. C. de; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. (ed.). Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas: Instituto Agronômico, 2001. 285 p. ISBN 85-85564-05-9.

VANDERLIP, R. L.; REEVES, H. E. Growth stages of sorghum [Sorghum bicolor,(L.) Moench.] 1. **Agronomy journal**, v. 64, n. 1, p. 13-16, 1972.

VENKATESWARAN, Kamala; ELANGOVAN, M.; SIVARAJ, Natarajan. Origin, domestication and diffusion of Sorghum bicolor. In: **Breeding Sorghum for diverse end uses**. Woodhead Publishing, 2019. p. 15-31.

XIA, Longlong et al. Can knowledge-based N management produce more staple grain with lower greenhouse gas emission and reactive nitrogen pollution? A meta-analysis. **Global change biology**, v. 23, n. 5, p. 1917-1925, 2017.

YAHAYA, Muhammad Ahmad; SHIMELIS, Hussein. Drought stress in sorghum: Mitigation strategies, breeding methods and technologies—A review. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 208, n. 2, p. 127-142, 2022.

YUE, Kai et al. Nitrogen supply affects yield and grain filling of maize by regulating starch metabolizing enzyme activities and endogenous hormone contents. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, p. 798119, 2022.