

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

Rodrigo Zuliani Furlan

**INFLUÊNCIA DA CO-INOCULAÇÃO DE MICRORGANISMOS
PROMOTORES DE CRESCIMENTO DE PLANTAS EM
CULTIVARES DE SOJA IRRIGADA E SEQUEIRO**

Dracena – São Paulo

2026

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

Rodrigo Zuliani Furlan

INFLUÊNCIA DA CO-INOCULAÇÃO DE MICRORGANISMOS
PROMOTORES DE CRESCIMENTO DE PLANTAS EM
CULTIVARES DE SOJA IRRIGADA E SEQUEIRO

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas - FCAT– Unesp, Câmpus de Dracena, como parte das exigências para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Ronaldo Cintra Lima
Coorientador: Prof. Dr. Rafael Simões Tomaz

Dracena – São Paulo

2026



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Câmpus de Dracena



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

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título: "INFLUÊNCIA DA CO-INOCULAÇÃO DE MICRORGANISMOS PROMOTORES DE CRESCIMENTO DE PLANTAS EM CULTIVARES DE SOJA IRRIGADA E SEQUEIRO"

Modalidade: Trabalho de Conclusão de Curso

Autor: Rodrigo Zuliani Furlan

Orientador (a): Prof. Dr. Ronaldo Cintra Lima

Co-orientador(es): Prof. Dr. Rafael Simões Tomaz

Número de Créditos: 12

Data da aprovação e correção de acordo com as sugestões da Banca: 26/05/2026

  
Prof. Dr. Ronaldo Cintra Lima Prof. Dr. Evandro Pereira Prado Prof. Dr. Samuel Ferrari

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha família, meu maior tesouro. Minha gratidão eterna à minha mãe, pela doação incondicional e por ser meu exemplo de resiliência. Ao meu pai, por ser o exemplo de força e a segurança necessária para trilhar meu caminho. À minha irmã, por dividir comigo os pesos e as alegrias, oferecendo sempre o apoio que meu coração precisava. Esta vitória é, acima de tudo, o fruto do amor de vocês.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas (FCAT/UNESP), Campus de Dracena, pela excelência no ensino e pela infraestrutura disponibilizada.

À Pró-Reitoria de Pesquisa (PROPe), pelo fomento e apoio institucional à pesquisa científica.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Ronaldo Cintra Lima, por todo o suporte, pelos ensinamentos distribuído ao longo da minha graduação.

Ao GEIA (Grupo de Estudo em Irrigação e Agrometeorologia), pela oportunidade de vivenciar a pesquisa na prática.

Aos meus amigos e colegas que estiveram presentes no desenvolvimento deste trabalho. Agradeço pela ajuda técnica nas coletas e análises, mas, principalmente, pelo companheirismo.

À minha família, minha eterna gratidão por serem minha base e minha força ao longo de toda esta jornada.

“Portanto, irmãos, sejam pacientes até a vinda do Senhor. Vejam como o agricultor aguarda que a terra produza a preciosa colheita e como espera com paciência até virem as chuvas do outono e da primavera.” (Tiago 5:7)

RESUMO

A soja (*Glycine max*) consolida-se como a principal cultura do agronegócio brasileiro, sendo essencial para a produção de proteína e óleo vegetal, além de desempenhar um papel estratégico na economia nacional. Contudo, sua produtividade em sistemas de plantio direto é frequentemente limitada por estresses abióticos, especialmente a irregularidade hídrica em solos de textura arenosa. Diante deste cenário, a utilização de microrganismos promotores de crescimento de plantas (MPCPs) surge como uma solução biotecnológica promissora para otimizar a fixação biológica de nitrogênio e melhorar a resiliência da cultura. O presente trabalho teve como objetivo avaliar a influência da co-inoculação com *Azospirillum brasilense*, *Bacillus aryabhattai* e *Trichoderma harzianum* no desempenho da soja cultivada sobre palhada de *Urochloa ruziziensis* e *Crotalaria spectabilis*, comparando os manejos de sequeiro e irrigado. A pesquisa foi conduzida na safra 2024/25 em Dracena-SP, sob um delineamento experimental que considerou a irrigação baseada na evapotranspiração de referência (ET_o) e o sistema de sequeiro. A metodologia envolveu o uso das cultivares AS 3790 i2X e SLI6804IPRO, com as co-inoculações aplicadas via pulverização no estágio fenológico V2. Os resultados obtidos demonstraram que a disponibilidade hídrica foi o fator determinante para os componentes de produção, visto que o sistema de sequeiro provocou uma redução drástica no Peso de Mil Grãos (PMG). Notou-se, porém, uma notável plasticidade fenotípica da soja, que compensou a redução do estande no sistema irrigado causada por altas temperaturas de solo (escaldadura) através de um maior número de vagens por planta. No que tange à eficiência biológica, a co-inoculação com *Bacillus aryabhattai* apresentou os resultados mais consistentes, favorecendo o vigor inicial e garantindo maior produtividade, chegando a atingir 4.752 kg ha⁻¹ sob irrigação. Por outro lado, a interação com *Trichoderma* e *Azospirillum* apresentou variações dependentes do genótipo, sugerindo que a escolha do microrganismo deve ser criteriosa. Conclui-se que a irrigação é indispensável para a estabilidade produtiva em regiões de solo arenoso, mas que o uso integrado de microrganismos específicos potencia o desenvolvimento radicular e a mitigação de estresses, sendo a co-inoculação com *Bacillus* a estratégia mais eficaz para maximizar o rendimento da soja nestas condições.

Palavras-chave: *Glycine max*. Estresse hídrico. Manejo de irrigação. Rizobactérias.

ABSTRACT

Soybean (*Glycine max*) is established as the main crop of Brazilian agribusiness, being essential for the production of protein and vegetable oil, in addition to playing a strategic role in the national economy. However, its productivity in no-tillage systems is often limited by abiotic stresses, especially water irregularity in sandy texture soils. Given this scenario, the use of plant growth-promoting microorganisms (PGPMs) emerges as a promising biotechnological solution to optimize biological nitrogen fixation and improve crop resilience. The objective of this study was to evaluate the influence of co-inoculation with *Azospirillum brasilense*, *Bacillus aryabhattai*, and *Trichoderma harzianum* on the performance of soybean grown over *Urochloa ruziziensis* and *Crotalaria spectabilis* mulch, comparing rainfed and irrigated management. The research was conducted in the 2024/25 harvest in Dracena-SP, under an experimental design that considered irrigation based on reference evapotranspiration (ET_o) and the rainfed system. The methodology involved the use of cultivars AS 3790 i2X and SLI6804IPRO, with co-inoculations applied via spraying at the V2 phenological stage. The results obtained demonstrated that water availability was the determining factor for production components, as the rainfed system caused a drastic reduction in thousand-grain weight (TGW). However, a notable phenotypic plasticity of the soybean was observed, which compensated for the reduction in plant population in the irrigated system — caused by high soil temperatures (scalding) — through a higher number of pods per plant. Regarding biological efficiency, co-inoculation with *Bacillus aryabhattai* showed the most consistent results, favoring initial vigor and ensuring higher field, reaching 4,752 kg ha⁻¹ under irrigation. On the other hand, the interaction with *Trichoderma* and *Azospirillum* showed variations depending on the genotype, suggesting that the choice of microorganism must be judicious. It is concluded that irrigation is indispensable for productive stability in sandy soil regions, but the integrated use of specific microorganisms enhances root development and stress mitigation, with co-inoculation with *Bacillus* being the most effective strategy to maximize soybean yield under these conditions.

Keywords: *Glycine max*. Water stress. Irrigation management. Rhizobacteria.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Comportamento edafoclimático da semeadura a colheita: precipitação pluvial (mm), evapotranspiração de referência - ETo (mm dia ⁻¹), temperatura do ar máxima e mínima (°C) e lâminas de irrigações realizadas (mm).	23
Figura 2. Plantas de cobertura 20 dias após a semeadura.	26
Figura 3. Semeadura da soja com a semeadora Tatú PST4 Flex.	27
Figura 4. Arquitetura da soja e soja no estágio R6 no ponto de colheita para as análises biométricas.....	29
Figura 5. Degrana da soja trilhadora de cereais BC30 “Luma”	30
Figura 6. Realização do teste de CUC da área irrigada.	31
Figura 7. Potencial matricial versus umidade gravimétrica e densidade do solo da área experimental para as diferentes camadas, Dracena, SP, Brasil, 2024.	31
Figura 8. Teste de comparação de média para a variável altura de plantas (cm).	34
Figura 9. Teste de comparação de média para a variável altura de inserção da 1ª vagem (cm).	35
Figura 10. Teste de comparação de média para a variável altura de inserção da 1ª vagem (cm).	36
Figura 11. Teste de comparação de média para a variável número de hastes laterais.....	37
Figura 12. Teste de comparação de média para a variável número total de vagens.	38
Figura 13. Teste de comparação de média para a variável Stand (pl/m).....	40
Figura 14. Teste de comparação de média para a variável Peso de mil grãos (g).....	42
Figura 15. Teste de comparação de média para a variável produtividade kg ha ⁻¹	43
Figura 16. Teste de comparação de média para a variável produtividade kg ha ⁻¹	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Caracterização de fertilidade do solo da área de pesquisa nas camadas de 0,00 - 0,20 m, da FCAT - Dracena, SP, 2024, após a aplicação de calcário. 26

Tabela 2. Análise de variância das variáveis, altura de plantas (cm), altura de inserção da 1ª vagem (cm), número de hastes laterais, número total de vagens, stand (PL/m), peso de mil grãos (g), produtividade (kg ha^{-1})..... 33

Tabela 3. Teste de comparação de média para as variáveis número total de vagens (NTV) e Stand (PI/m). 39

LISTAS DE ABREVIATURAS E SIGLAS

MPCPs	Microrganismos promotores de crescimento de plantas
SPD	Sistema de plantio direto
FBN	Fixação biológica de nitrogênio
ET _o	Evapotranspiração de referência
ET _c	Evapotranspiração da cultura
N ₂	Nitrogênio atmosférico
NH ₃	Amônia

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS	14
2.1 Objetivo Geral	14
2.2 Objetivos Específicos	14
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3.1 Origem da Soja e Importância Econômica	15
3.2 Manejo Hídrico	16
3.3 Microrganismos Promotores de Crescimento de Plantas	18
3.3.1 <i>Bradyrhizobium japonicum</i>	18
3.3.2 <i>Azospirillum brasilense</i>	19
3.3.3 <i>Bacillus aryabhattai</i>	20
3.3.4 <i>Trichoderma harzianum</i>	21
3.4 Cultivares	22
4 METODOLOGIA	23
4.1 Localização e Características da Área Experimental	23
4.2 Delineamento Experimental	24
4.2.1 Descrição das variedades	24
4.3 Implantação do Experimento a Campo	25
4.4 Manejo da Irrigação	30
4.5 Análise Estatística dos Dados	32
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
6 CONCLUSÕES	46
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47

1 INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L.) Merr.) ocupa posição estratégica na agricultura brasileira, tanto pelo elevado valor econômico quanto pelo papel central na produção de proteína e óleo vegetal destinados ao mercado interno e às exportações (Conab, 2024). A consolidação do país entre os principais produtores globais decorre de avanços em melhoramento genético, manejo de solo, mecanização e uso de tecnologias biológicas. Porém a sustentabilidade produtiva em diferentes regiões ainda é condicionada por fatores ambientais e de manejo (Hungria; Mendes; Mercante, 2013). Entre esses fatores, a disponibilidade hídrica e a qualidade do ambiente edáfico assumem destaque, sobretudo em áreas conduzidas sob Sistema de Plantio Direto (SPD), em que a manutenção da palhada, a mínima mobilização do solo e a rotação de culturas buscam melhorar atributos físicos, químicos e biológicos ao longo do tempo (Denardin *et al.*, 2008).

Do ponto de vista hídrico, a comparação entre sistemas de sequeiro e irrigado é especialmente relevante por refletir realidades produtivas distintas. Em sequeiro, a eficiência de uso da água e a capacidade da planta em manter processos fisiológicos sob estresse determinam grande parte do desempenho final. Microrganismos promotores podem contribuir nesse cenário ao aumentar a exploração do solo por raízes, modular respostas hormonais, melhorar a eficiência fotossintética e reduzir danos por estresse oxidativo, fatores que, em conjunto, ajudam a planta a atravessar períodos de baixa disponibilidade hídrica com menor impacto sobre componentes de rendimento (Kuswanto *et al.*, 2016; Ilyas *et al.*, 2019).

As tecnologias de inoculação e co-inoculação assumem importância crescente como alternativas para elevar a eficiência produtiva com menor dependência de insumos químicos e maior estabilidade em ambientes sujeitos a estresses. A inoculação com bactérias do gênero *Bradyrhizobium* é prática consolidada na cultura da soja, pois viabiliza a fixação biológica de nitrogênio (FBN), reduzindo a necessidade de fertilizantes nitrogenados e contribuindo para a sustentabilidade do sistema (Hungria; Nogueira; Araujo, 2013). Entretanto, o desempenho da FBN e o crescimento inicial das plantas podem variar conforme condições de solo, temperatura, umidade, disponibilidade de nutrientes

(especialmente fósforo e molibdênio), qualidade da semente, presença de palhada e histórico de manejo (Mendes *et al.*, 2016).

A co-inoculação consiste na aplicação conjunta de microrganismos com funções distintas e potencialmente sinérgicas. Entre os MPCP, destacam-se bactérias como *Azospirillum brasilense*, reconhecida pela capacidade de produzir fitormônios (como auxinas), estimular a formação de raízes laterais e aumentar a exploração do solo (Hungria *et al.*, 2013), espécies de *Bacillus*, associadas produção de metabólitos bioativos, promoção de crescimento e indução de tolerância a estresses (Chagas Junior *et al.*, 2022); e fungos como *Trichoderma*, com atuação tanto na promoção de desenvolvimento radicular quanto na supressão de patógenos, na indução de mecanismos de defesa e solubilização de fósforo (Machado *et al.*, 2012). A atuação desses microrganismos pode favorecer o estabelecimento inicial da soja, ampliar a área radicular efetiva, melhorar a absorção de água e nutrientes, contribuir para maior vigor e uniformidade do estande e, por consequência, refletir em ganhos de produtividade e qualidade fisiológica da lavoura (Zuffo *et al.*, 2015).

Para manter a competitividade e sustentar o crescimento vertical da produção diante das oscilações climáticas e da pressão de fitopatógenos, a escolha assertiva de cultivares adaptadas às especificidades de cada região tornou-se o fator decisivo para o sucesso e a rentabilidade das lavouras (Embrapa, 2020). O constante avanço no campo do melhoramento genético e da biotecnologia tem disponibilizado ao mercado materiais com teto produtivo elevado, ciclos mais precoces e resistências específicas a pragas, doenças e estresses abióticos, como a escassez hídrica (Sediyama *et al.*, 2013).

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar a influência da co-inoculação com *Azospirillum brasilense*, *Bacillus aryabhattai* e *Trichoderma harzianum*, sobre cultivares de soja

2.2 Objetivos Específicos

Examinar a influência da co-inoculação de diferentes microrganismos promotores de crescimento de plantas no comportamento fisiológico e morfológico da soja.

Comparar a eficiência da co-inoculação na cultura da soja em condições de sequeiro e sob irrigação, utilizando a evapotranspiração de referência (ET_o) como critério para o manejo da hídrico.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Origem da Soja e Importância Econômica

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma commodity agrícola de extrema importância mundial e peça fundamental na economia brasileira, sendo amplamente utilizada na nutrição animal e na alimentação humana. Desde a expansão de sua fronteira agrícola no País, a soja consolidou-se em diversos sistemas de produção por conter altos teores de proteína (cerca de 40%) e lipídios (cerca de 20%), além de minerais, fibras e compostos bioativos, em especial as isoflavonas, nutrientes e fitoquímicos auxiliares na prevenção de doenças cardiovasculares e na manutenção da saúde humana (Zakir; Freitas, 2021; Qin; Wang; Luo, 2022).

Do ponto de vista botânico, trata-se de uma espécie eudicotiledônea e autógama pertencente à família Fabaceae, com origem na China (Mundstock; Thomas, 2005). A planta possui pubescência em suas hastes, folhas e vagens, e possui germinação do tipo epígea. Seu hábito de crescimento é variável, podendo ser determinado, semideterminado ou indeterminado, sendo o indeterminado mais comum. A fenologia da cultura, conforme a clássica escala de Fehr e Caviness (1977), compreende as fases vegetativas (iniciando em VE até Vn) e reprodutivas (do florescimento R1 à maturação plena R8).

A cultura da soja está presente em quase todas as regiões do Brasil devido a um excelente trabalho de melhoramento genético e adaptação climática. Sob condições de clima tropical, o desenvolvimento de cultivares adaptadas ao baixo fotoperíodo promoveu a expansão para baixas latitudes, combinando manejo de solos do bioma Cerrado e condições climáticas que ocasionam o estabelecimento e o sucesso na produção agrícola em diferentes ecossistemas (Embrapa, 2020; Câmara, 2015).

O cultivo da soja tem ficado cada vez mais moderno, especialmente com a adoção do plantio direto e biotecnologias, em que os agricultores utilizam insumos modernos visando atingir o altíssimo potencial produtivo das novas cultivares. Portanto, tecnologias responsáveis pelo aumento de produtividade, como sementes transgênicas, Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN), bioestimulantes e estratégias de manejo integrado para o controle de pragas, doenças e nematóides são alvos de estudos atuais (Hungria *et al.*, 2013). Para que o cultivo da soja continue lucroso ao produtor, é preciso desenvolver e

aprimorar tecnologias capazes de otimizar insumos e melhorar os níveis de produtividade e sustentabilidade dos agricultores (Farias *et al.*, 2007).

De acordo com a Conab (2026), a soja é cultivada majoritariamente como safra principal (safra de verão), sendo semeada geralmente entre setembro e dezembro, respeitando o período do vazio sanitário de cada estado. Em safras recentes, como a de 2021/22 e 2023/24, constatou-se a influência de fenômenos climáticos extremos (El Niño e La Niña), causando estresses abióticos severos de seca e altas temperaturas, o que gerou decréscimo na produtividade em algumas regiões, em especial nos estados do Rio Grande do Sul e Paraná. Quando as condições hídricas se estabilizam, o rendimento retorna aos patamares de alta performance. O Brasil atualmente conta com aproximadamente 48 milhões de hectares plantados de soja (+ 2,3% da safra 24/25), com uma produtividade média de 3.675 kg ha⁻¹ (1,5%) e uma produção total estimada superior a 177 milhões de toneladas (+3,8%) (Conab, 2026). Com tais índices, nosso país se qualifica como o maior produtor e exportador mundial de soja (Embrapa, 2023). Dado à sua importância econômica, a cultura é o carro-chefe das grandes lavouras, atuando como cultura principal no verão, sendo comumente sucedida pelo milho segunda safrinha no Centro-Oeste ou por culturas de inverno, como o trigo, na região Sul (Embrapa, 2020).

3.2 Manejo Hídrico

A instabilidade das chuvas tem sido o maior desafio para a produtividade da soja, não se trata apenas do volume total de água, mas de como essa oferta se distribui ao longo do ciclo da cultura. Como bem pontuado por Gava (2014), o estresse hídrico afeta toda o funcionamento da planta, quando a água falta, a soja não apenas murcha, ela reduz sua área foliar como mecanismo de sobrevivência, o que acaba limitando a captura de luz e, conseqüentemente, a síntese de fotoassimilados, esse impasse no metabolismo é uma defesa natural, mas que cobra um preço alto na colheita.

Entender essa dinâmica exige um olhar atento ao balanço hídrico. No Sul do Brasil, por exemplo, Armoa Báez *et al.* (2020) demonstraram que a produtividade da soja é quase um reflexo direto da capacidade de armazenamento de água no solo. Quando o déficit hídrico dificultar, os componentes de rendimento, como o número de vagens e o peso de mil grãos,

são os primeiros a sofrer. O estudo desses autores deixa claro que, sem uma reposição hídrica estratégica, o produtor fica vulnerável às oscilações climáticas, já que a relação entre a deficiência hídrica acumulada e a perda de sacas por hectare é praticamente linear.

Por outro lado, a irrigação tecnológica não pode mais ser vista apenas como "molhar a terra". É aqui que entram as estratégias de manejo de déficit, discutidas a fundo por Gava *et al.* (2016) e Snyder (2016), onde a ideia central desses pesquisadores é que em cenários de escassez ou altos custos de energia, é possível aplicar menos água em fases menos sensíveis para poupar recursos. Eles argumentam que a soja tolera um certo grau de estresse na fase vegetativa, e esse estresse moderado pode até estimular o crescimento das raízes em busca de umidade profunda. No entanto, os autores ressaltam que, enquanto o estresse hídrico agressivo na fase vegetativa pode causar redução na altura de plantas e na área foliar, e nos estádios reprodutivos de floração (R1-R2) e enchimento de grãos (R5-R6), que esses danos são irreversíveis. Nestas fases, a deficiência de água no solo induz ao fechamento estomático e à redução da pressão de turgor, o que limita a fixação de carbono e acelera a senescência das folhas, resultando em uma redução direta no número de vagens por planta e no peso de mil grãos (Mertz-Henning *et al.*, 2018; Embrapa, 2020)

Um dos mecanismos mais eficientes para essa reposição é o manejo baseado na evapotranspiração de referência (ET_o). Esse método funciona como uma contabilidade hídrica, onde o objetivo é devolver ao sistema exatamente o que foi perdido para a atmosfera através da evaporação do solo e da transpiração da planta. Para chegar ao valor real de irrigação (ET_c), multiplica-se essa ET_o pelo coeficiente da cultura (K_c), que muda conforme a planta cresce. Segundo Allen *et al.* (1998), essa estratégia é fundamental para manter o balanço hídrico em equilíbrio, evitando tanto o desperdício de água quanto o estresse desnecessário em fases onde a planta não tolera falta de umidade.

3.3 Microrganismos Promotores de Crescimento de Plantas

3.3.1 *Bradyrhizobium japonicum*

Bradyrhizobium japonicum é uma bactéria Gram-negativa que, no laboratório, se destaca por ter um crescimento lento. Quando essas bactérias estão livres no solo, elas sobrevivem de forma saprofítica, mas acabam sofrendo bastante com os estresses do ambiente, como altas temperaturas e períodos de seca, por conta dessa perda natural de população no solo, a inoculação anual das sementes virou uma prática quase que obrigatória nas lavouras (HUNGRIA; Vargas, 2000; Somasegaran; Hoben, 1994). A interação biológica começa de fato quando a semente de soja germina: as raízes liberam compostos chamados isoflavonoides, que funcionam como um sinal químico no solo, o *Bradyrhizobium* reconhece esse sinal, ativa seus genes de nodulação e começa a infectar os pelos radiculares da planta (Moreira; Siqueira, 2006). A partir daí, formam-se os nódulos, que operam como verdadeiras fábricas de nitrogênio. Lá dentro, o complexo enzimático nitrogenase pega o gás nitrogênio (N_2) da atmosfera e o converte em amônia (NH_3), como essa enzima é extremamente sensível ao oxigênio, a planta produz a leghemoglobina, aquela substância que deixa o interior do nódulo avermelhado e que controla a entrada de oxigênio na medida exata para não estragar o processo de fixação (Giller, 2001; Hungria *et al.*, 2006).

Mas a pesquisa não parou na inoculação simples, a evolução natural desse manejo foi a co-inoculação, que junta o *Bradyrhizobium* com MPCPs. O trabalho de Ribeiro *et al.* (2020) ilustra muito bem essa dinâmica ao avaliar o uso conjunto de *Bradyrhizobium japonicum* e *Azospirillum brasilense*, a ideia não é que uma bactéria concorra com a outra, mas que trabalhem simultaneamente. Essa aplicação extra de hormônios faz com que o sistema radicular da soja cresça de forma muito mais agressiva. Com um volume bem maior de raízes e de pelos radiculares, a planta tem uma maior área radicular para o *Bradyrhizobium* colonizar, multiplicando a formação dos nódulos de maneira muito mais eficiente (Cassán *et al.*, 2009).

Todo esse estímulo biológico muda completamente a estrutura da lavoura logo no início do ciclo, e é justamente essa a constatação de Carvalho (2023), que demonstra como a presença de MPCPs aumenta o arranque e o vigor inicial das plantas de soja, o arranjo da planta fica visivelmente superior, tanto na arquitetura do sistema radicular quanto no acúmulo de biomassa da parte aérea, permitindo

que a cultura explore um volume muito maior de solo em busca de água e nutrientes. Biasotto (2025), comprova que a influência da inoculação resulta em ganhos reais e consistentes na produtividade final da cultura.

3.3.2 *Azospirillum brasilense*

A bactéria do gênero *Azospirillum*, vive de forma livre na rizosfera ou atua como endofítico facultativo, ou seja, ele coloniza a superfície e o interior das raízes sem formar estruturas visíveis como os nódulos (Döbereiner; Pedrosa, 1987). A princípio, o grande apelo agrônomo do *A. brasilense* era a sua habilidade de realizar a Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN) em níveis microaerofílicos, ajudando a suprir parte da demanda das gramíneas. No entanto, com o avanço das pesquisas, descobriu-se que a verdadeira função dessa bactéria vai muito além do fornecimento de nitrogênio, ela atua como uma verdadeira biofábrica de fitormônios, produzindo em larga escala substâncias como giberelinas, citocininas e, principalmente, o ácido indolacético (AIA), é essa aplicação hormonal que altera completamente a arquitetura da planta, a liberação de AIA estimula um crescimento muito mais agressivo das raízes secundárias e uma superprodução de pelos radiculares. Isso maximiza a interceptação e a eficiência de absorção de água e de macronutrientes de baixa mobilidade, como o fósforo (P) e o potássio (K), garantindo um estabelecimento de estande mais uniforme e um arranque inicial vigoroso. (Bashan; De-Bashan, 2010)

Foi justamente ao entender esse mecanismo de forte estímulo radicular que a pesquisa agrícola deu um verdadeiro avanço e começou a testar o *Azospirillum* fora do seu habitat tradicional, levando-o para a cultura da soja. Daí foi pensado, se o *Azospirillum* faz a raiz crescer mais e produzir uma quantidade maior de pelos radiculares, ele está basicamente criando muito mais área radicular para o *Bradyrhizobium* assimilar a planta. Essa sinergia foi demonstrada por Bárbaro *et al.* (2009), que, ao avaliarem a produtividade da soja, notaram que a inoculação padrão já entregava resultados excelentes, mas a co-inoculação conseguia elevar ainda mais o teto produtivo da cultura.

Esse comportamento entre os microrganismos foi investigado a fundo por Battisti e Simonetti (2014), que observaram de perto a dinâmica da soja submetida à aplicação conjunta de *Bradyrhizobium japonicum* e *Azospirillum brasilense*, o que se percebe na prática do campo é que a semente não só germina com mais

vigor, como estrutura uma base radicular que deixa a planta muito mais preparada para enfrentar estresses abióticos, como os temidos veranicos que costumam castigar as safras brasileiras. Uma raiz mais profunda garante que a soja continue se hidratando mesmo quando a camada superficial do solo já secou. Braccini *et al.* (2016) trazem uma discussão extremamente relevante sobre os modos de aplicação desses microrganismos e como eles interagem com a adubação nitrogenada, o estudo evidencia que a co-inoculação potencializa tanto o processo de nodulação que acaba por otimizar a nutrição da planta, anulando a necessidade de adubação nitrogenada complementar.

3.3.3 *Bacillus aryabhattai*

O uso do *Bacillus aryabhattai* (reclassificado como *Priestia aryabhattai*) tem se mostrado uma ótima estratégia para o aumento da produtividade e sustentabilidade agrícola. Esta bactéria, aeróbica, gram-positiva e formadora de esporos, foi isolada pela primeira vez em 2009, no Brasil, foi identificada na rizosfera do mandacaru, o que sugere sua resiliência em ambientes sob estresse (Veloso, 2022). Conforme destacado por Biasotto (2025) e Carvalho (2023), a bactéria atua como um MPCP por meio de bactéria que promove o crescimento vegetal através da síntese de fitormônios, como o ácido indol-3-acético (AIA), giberelinas, citocininas, ácido abscísico e ácido jasmônico, que estimulam o desenvolvimento do sistema radicular e o alongamento celular.

Por outro lado, contribui para o biocontrole de pragas e doenças, agindo contra nematoides, como o *Meloidogyne javanica*, por meio da produção de enzimas que degradam a parede celular dos ovos. Outro benefício é o aumento da tolerância ao déficit hídrico, pois a bactéria produz exopolissacarídeos que auxiliam na hidratação das raízes e na manutenção do conteúdo relativo de água da planta em condições de seca (Veloso, 2022). Em termos de desempenho fisiológico, Biasotto (2025) observou que a inoculação com este microrganismo eleva o Índice de Clorofila Foliar (ICF) e a taxa de fotossíntese líquida, resultando em um maior acúmulo de massa seca tanto na parte aérea quanto nas raízes durante o florescimento pleno (estádio R2).

No campo, a aplicação desta tecnologia ocorre predominantemente via co-inoculação, técnica que combina o *B. aryabhattai* com a inoculação tradicional de *Bradyrhizobium japonicum*. Contudo, Carvalho (2023) ressalta a necessidade

de cautela ao combinar múltiplos microrganismos de gêneros distintos, pois a junção excessiva pode causar antagonismo e competição por recursos, neutralizando os benefícios esperados para a cultura.

3.3.4 *Trichoderma harzianum*

O uso de fungos do gênero *Trichoderma* no cenário agrícola brasileiro deixou de ser uma alternativa secundária para se tornar um pilar do manejo integrado, processo consolidado por décadas de pesquisa. Estudos pioneiros, como os de Homechin (1987), já detalhavam o potencial de isolados nativos de *Trichoderma harzianum* especificamente para a cultura da soja. A eficiência desse microrganismo reside na sua agressividade competitiva e na rapidez com que coloniza a rizosfera, superando patógenos de solo pelo espaço e por nutrientes. Segundo De Souza Sales *et al.* (2023), essa técnica é estratégica por garantir que o biocontrolador acompanhe o desenvolvimento inicial da plântula, preservando o vigor e a sanidade das sementes desde a germinação.

No que diz respeito ao controle direto de doenças, o micoparasitismo é o mecanismo mais importante do *Trichoderma harzianum*, nesse processo, o agente reconhece o alvo, aderindo às suas hifas para iniciar a quebra da parede celular por meio da liberação massiva de enzimas hidrolíticas. De acordo com Chet (1987), a ação coordenada de quitinases e glucanases é o que permite ao *Trichoderma* hidrolisar os polímeros estruturais do patógeno, levando à desintegração do seu conteúdo citoplasmático. Silva *et al.* (2017) confirmaram essa eficácia através de análises ultraestruturais, demonstrando que a aplicação do fungo impede a germinação de escleródios de *Sclerotinia sclerotiorum* (mofo-branco). Vale ressaltar que esse antagonismo é potencializado pelo manejo do sistema; Görgen *et al.* (2009) observaram que a manutenção da palhada no solo protege o biocontrolador, criando um microambiente favorável à sua persistência e aumentando o controle de patógenos sob condições reais de campo.

Além da supressão de doenças, o *Trichoderma harzianum* atua como um bioestimulante que modifica a fisiologia da soja, onde, Harman *et al.* (2004) destacam que o fungo facilita a solubilização de minerais como fósforo e ferro, muitas vezes retidos no solo em formas indisponíveis. Essa simbiose expande a arquitetura radicular, melhorando a absorção de água e nutrientes e otimizando a eficiência fotossintética da cultura. Somado a isso, ocorre a Indução de

Resistência Sistêmica, onde a simples presença do fungo nas raízes "alerta" o sistema imunológico da planta. Shores, Harman e Mastouri (2010) explicam que essa sinalização bioquímica prepara a soja para responder com mais rapidez ao ataque de patógenos foliares, mediante a produção antecipada de fitoalexinas e proteínas de defesa.

A viabilidade desse manejo biológico é reforçada por sua compatibilidade com outros insumos essenciais, como a FBN, Benítez *et al.* (2004) indicam que o *Trichoderma harzianum* apresenta sinergia com bactérias do gênero *Bradyrhizobium*, protegendo os nódulos radiculares contra infecções sem prejudicar a nodulação. No entanto, Hoitink, Madden e Dorrance (2006) advertem que o sucesso dessa tecnologia depende dos teores adequados de matéria orgânica, que são indispensáveis para manter a população do fungo ativa.

3.4 Cultivares

O processo de modernização e expansão da soja está intrinsecamente atrelado à evolução genética das cultivares, um fator que permitiu a quebra da barreira do fotoperíodo e viabilizou o cultivo do grão em baixas latitudes. Historicamente, o desenvolvimento de materiais com o chamado "período juvenil longo" foi o marco inicial para a consolidação da cultura no Cerrado, mas o cenário atual exige respostas a desafios ainda mais complexos. De acordo com Sedyama, Silva e Borém (2013), o melhoramento genético contemporâneo não busca apenas o incremento isolado do teto produtivo, mas sim a estabilidade fenotípica diante de adversidades bióticas e abióticas.

As cultivares modernas, em sua maioria, apresentam hábito de crescimento indeterminado e ciclos significativamente mais precoces se comparadas aos materiais utilizados em décadas passadas. Procópio *et al.* (2013) salientam que essas características conferem maior plasticidade fenotípica à cultura, uma vez que a planta continua a crescer e a emitir nós no hasteamento principal mesmo após o início do florescimento, mitigando eventuais perdas causadas por veranicos curtos no início do ciclo. Conforme apontado por Balbinot Junior *et al.* (2018), genótipos indeterminados demandam um ajuste rigoroso na densidade de semeadura e no arranjo espacial, visto que o adensamento excessivo pode induzir ao acamamento, reduzir a eficiência fotossintética do baixeiro e criar um microclima favorável a fitopatógenos.

4 METODOLOGIA

4.1 Localização e Características da Área Experimental

A pesquisa foi realizada durante a safra de 2024/25 em área experimental localizada nas coordenadas 51° 33' W de longitude e 21° 27' S de latitude, com altitude de 390 m. O solo da região é classificado como ARGISSOLO VERMELHO Distrófico típico de textura arenosa (Santos, 2018). Historicamente, as médias anuais apresentam temperatura de 23,97 °C, umidade relativa de 64,23% e precipitação pluvial de 1261 mm. Segundo a classificação de Köppen, o clima local é o Aw (tropical com estação seca), caracterizado por verões quentes e chuvosos, de outubro a março, e invernos secos e amenos, de abril a setembro (Ferreira, 2021). Os dados meteorológicos de precipitação, temperatura e umidade relativa do ar, foram obtidos por meio da estação Campbell Scientific CR10X, instalada na FCAT/UNESP, Campus de Dracena (Figura 1).

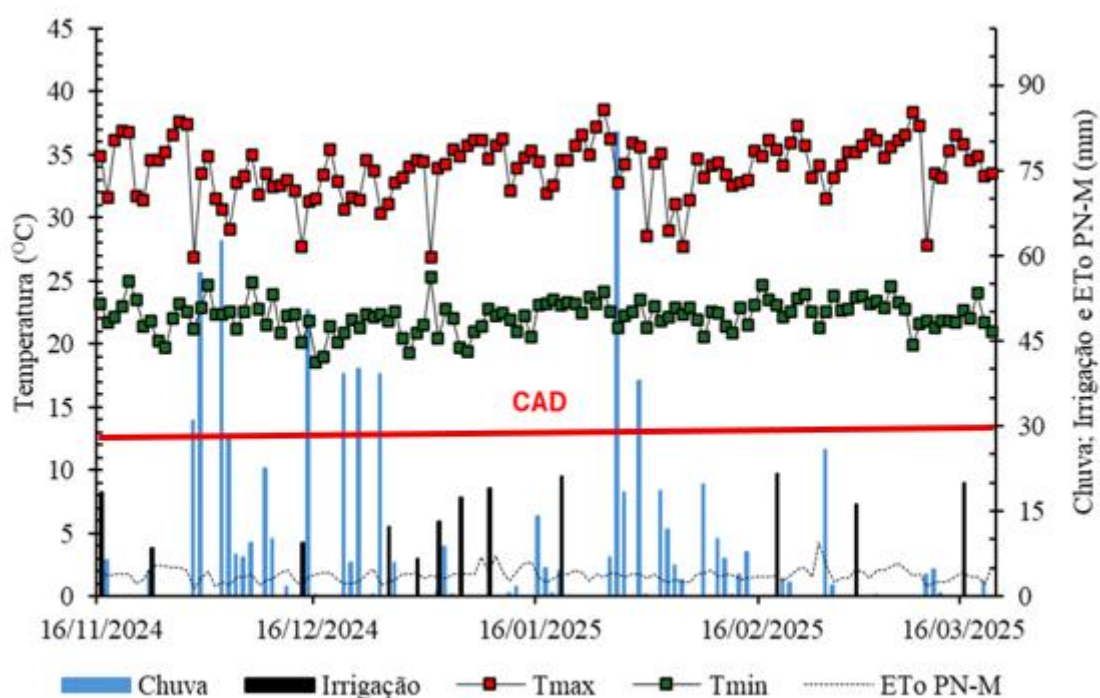


Figura 1. Comportamento edafoclimático da semeadura a colheita: precipitação pluvial (mm), evapotranspiração de referência - ETo (mm dia⁻¹), temperatura do ar máxima e mínima (°C) e lâminas de irrigações realizadas (mm).

Fonte: Estação Meteorológica Automática, Campbell Modelo CR10X - UNESP FCAT Campus de Dracena – SP.

4.2 Delineamento Experimental

O trabalho de pesquisa foi instalado sob delineamento de parcela subdividida em esquema fatorial 4 x 2 x 2, com quatro repetições, tratamento (A) constituído pelo uso da inoculação com microrganismos promotores de crescimento de plantas (MPCPs), sendo: 1) Inoculação convencional *Bradyrhizobium japonicum* “Brady.” (estirpe SEMIA 5079, 6×10^9 UFC/mL); 2) co-inoculação de *Bradyrhizobium japonicum* + *Azospirillum brasilense* “Brady. + Azos.” (estirpe Ab-V6 e Ab-V6, 2×10^8 UFC/mL); 3) co-inoculação de *Bradyrhizobium japonicum* + *Bacillus aryabattai* “Brady. + Bacill.” (cepa CMAA 1363, 1×10^8 UFC/mL); 4) co-inoculação de *Bradyrhizobium japonicum* + *Trichoderma harzianum* “Brady. + Trich.” (isolado IBLF006, 1×10^8 UFC/g). A inoculação de *Bradyrhizobium japonicum* foi realizada via semente e as co-inoculações foram realizadas aos dez dias após emergência da cultura (Estádio V2) no dia 11/12/2024, em área total, na dose de 500 mL ha⁻¹, tratamento (B) composto por 2 cultivares de soja adaptadas a região SLI6804IPRO e AS 3790 i2X, tratamento (C) manejo hídrico sequeiro e irrigação via atmosfera pela evapotranspiração ETo, corrigido pelo coeficiente da cultura (Kc) nas suas respectivas fases fenológicas. Os tratamentos foram composto por 7 linhas com espaçamento de 0,45m entre linhas e 4m de comprimento, dessas foram avaliadas 3 linhas centrais com 3 m cada com descarte de 0,5 m em ambas as extremidades e 4 repetições.

4.2.1 Descrição das variedades

A cultivar de soja AS 3790 i2X, desenvolvida pela Agroeste, destaca-se pelo alto teto produtivo e estabilidade em variados ambientes de cultivo. Equipada com a tecnologia Intacta 2 Xtend® (i2X), a variedade oferece tolerância aos herbicidas glifosato e dicamba, permitindo um manejo eficiente de plantas daninhas de folha larga, além de conferir ampla proteção contra as principais lagartas (Agroeste, 2024). Morfologicamente, a planta possui hábito de crescimento indeterminado, boa capacidade de ramificação e alta resistência ao acamamento, característica essencial para otimizar a colheita mecanizada. Segundo as especificações da Agroeste (2024), a cultivar apresenta ciclo médio a tardio, com Grupo de Maturação de 7.9, e desenvolvimento que varia de 110 a

125 dias, dependendo da época de semeadura. No aspecto fitossanitário, a AS 3790 i2X é resistente à pústula bacteriana e à mancha olho-de-rã.

A cultivar de soja SLI6804IPRO, desenvolvida pela Semeali Sementes, é um material genético que se destaca pelo elevado potencial produtivo e pela excelente estabilidade em variados ambientes de produção. De acordo com as especificações técnicas da Semeali (2024), essa variedade é dotada da tecnologia Intacta RR2 PRO® (IPRO), que assegura tolerância ao herbicida glifosato e fornece supressão e controle contra as principais espécies de lagartas desfolhadoras da cultura. Morfologicamente, a planta apresenta hábito de crescimento indeterminado, arquitetura com estatura média, alto índice de ramificação e notável resistência ao acamamento, o que favorece as operações de colheita. Seu Grupo de Maturação é classificado na faixa de 6.8 a 7.4, variando conforme a região de plantio. Outro diferencial significativo da cultivar é a sua sanidade radicular, apresentando resistência ao cancro da haste e ao nematoide de cisto da soja. Sua adaptação agrônômica abrange áreas estratégicas, com recomendação de plantio para regiões produtoras de São Paulo, Paraná, Minas Gerais, Goiás e Mato Grosso do Sul.

4.3 Implantação do Experimento a Campo

No mês maio de 2024, foi realizada coleta e a análise química do solo, logo após a área recebeu aplicação de calcário com operações mecanizadas e aplicada a dose $1,8 \text{ t ha}^{-1}$ de calcário dolomítico PRNT de 85%, para incorporação fez se uma aração profunda com arado de aiveca a fim de elevar o V% a 70%, finalizando o preparo do solo com uma operação de grade niveladora para receber a semeadura do mix *Urochloa ruziziensis* 6 kg ha^{-1} + *Crotalária Spectabilis* 5 kg ha^{-1} (figura 2.) em linha onde utilizou a semeadora de 7 linhas PST 4 em 03/06/2024.



Figura 2. Plantas de cobertura 20 dias após a semeadura.

Fonte: Dados do próprio autor.

No dia 08 de novembro de 2024 foi realizada a dessecação das plantas de cobertura *Urochloa ruziziensis* + *Crotalaria spectabilis* com aplicação do herbicida ROUNDUP WG (i.a. Glifosato 792,5 g Kg⁻¹) nas doses 2,5 Kg ha⁻¹ e 2,4 D (2,4 D 806 g/L e Equivalente ácido de 2,4 D, 670 g/ L) na dose de 1,1 L ha⁻¹.

Tabela 1. Caracterização de fertilidade do solo da área de pesquisa nas camadas de 0,00 - 0,20 m, da FCAT - Dracena, SP, 2024, após a aplicação de calcário.

pH	MO	P	K	Ca	Mg	Al	H+A	SB	CTC	V
	(g dm ⁻³)	(mg dm ⁻³)	----- (mmolc dm ⁻³) -----					-----		(%)
5,6	11	31	2,9	25	13	0	9	40,9	49,9	82

Métodos de extração: P, Ca, Mg e K em resina.

Fonte: Dados do próprio autor

A soja foi semeada em 21 de novembro de 2024 utilizando a semeadora da PST 4 Tatú, modulada para SPD com 7 linhas disposta de disco de corte, sulcador com distribuição de adubo e distribuição de semente á vácuo com disco defasado/desencontrado no espaçamento de 0,45m entre linhas (figura 3). Para

a implantação do experimento foram utilizadas 13 sementes por metro de para todas as cultivares com adubação de base 08-28-16 + Zn com a dose de 350 Kg ha⁻¹.



Figura 3. Semeadura da soja com a semeadora Tatú PST4 Flex.

Fonte: Dados do próprio autor.

Momentos antes da semeadura as sementes de foram submetidas a um tratamento com inseticida Standak® Top (p.c.) (i.a Fipronil 250 g L⁻¹; Piraclostrobina 25 g L⁻¹; Tiofanato-metílico 225 g L⁻¹) na dosagem de 200 mL por 100 Kg de sementes, inoculante Masterfix (*Bradyrhizobium japonicum*) com dosagem recomendada pelo fabricante de 100 mL para 50 Kg de sementes. Após a finalização da semeadura foi montado o sistema de irrigação por aspersão e a área experimental foi irrigada por 6 horas para fornecer umidade suficiente para germinação. O tratamento das co-inoculações com *A. brasilense*, *B. aryabhattai* e *T. harzianum* ocorreram via pulverização em área total no estágio fenológico V2 da soja com o 2 trifólios completamente desenvolvidos (Fehr; Caviness, 1977). A aplicação foi feita no final da tarde para os microrganismos não serem submetidos a altas temperaturas e depois foi aplicado uma lâmina de irrigação.

Os tratos culturais foram feitos de forma mecanizadas para o controle de pragas, doenças e plantas daninhas durante as etapas da condução do experimento a campo, onde foi utilizado o conjunto trator Vamet 785 4x2 de rodagem fina e o pulverizador agrícola hidráulico da marca Jacto, de barras com tanque de 600 L. Sempre antes de qualquer operação fitossanitária para o controle de pragas e doenças houve maior atenção no estágio reprodutivo de enchimento de grãos, com realização do monitoramento semanal com amostragens, onde utilizou o manejo de batidas de pano para mensurar a infestação e identificação de lagartas e percevejos.

Em 05 de janeiro de 2025 fez aplicação do herbicida ROUNDUP WG (i.a. Glifosato 792,5 g Kg⁻¹) na dose 1,5 Kg ha⁻¹ para o controle de plantas daninhas. Em 28 de fevereiro/2025 foi realizada a aplicação do inseticida Engeo Pleno (i.a. Tiametoxam 141 g L⁻¹; Lambda-cialotrina 106 g L⁻¹) a uma dosagem de 180 mL ha⁻¹ com intuito e foco de controlar percevejos e lagartas, e o fungicida Opera (i.a. Piraclostrobina 133 g/L e i.a. Epoxiconazol 50 g/L) com a dose de 600 mL ha⁻¹ com objetivo preventivo/protetivo contra ferrugem asiática da soja.

Em 15 de março de 2025 foram realizadas aplicações de herbicida e inseticida, o produto utilizado para controlar as plantas daninhas foi o ROUNDUP WG (i.a. Glifosato 792,5 g Kg⁻¹) na dose de 1,5 Kg ha⁻¹ volume de calda de 240 L ha⁻¹ em área total. O inseticida utilizado foi o Actara (i.a Tiametoxam 75% do produto) na dosagem de 100 g por ha⁻¹.

No dia 29 de março de 2025, foi desmontado e retirado o sistema de irrigação e em seguida a área foi dessecada utilizando o produto Reglone (i.a.Diquate 200 g/L) , para uniformizar a maturação e a cultivar precoce não possuir vantagem. Todas as aplicações utilizaram o volume de 240 L ha⁻¹.

No dia 6 de abril de 2025, foram coletadas cinco plantas da área útil de cada parcela no momento da colheita. A altura de plantas (HP) foi mensurada com auxílio de trena, do colo até a extremidade da haste principal, enquanto a altura inserção da primeira vagem (H1^aV) foi medida do colo até o ponto de surgimento da primeira vagem. O número de hastes laterais (NHL) foi obtido pela contagem total das ramificações laterais de cada planta. Para determinar o número total de vagens (NTV) foi contado todas as vagens da planta.

A produtividade de grãos foi determinada a partir das plantas da área útil (4,05 m²), colhidas em três linhas de três metros na mesma data. Nessa etapa, as

plantas foram arrancadas e contabilizadas para a obtenção do Stand, sendo em seguida enfeixadas e submetidas à secagem em estufa agrícola. Após atingirem o ponto ideal, foram processadas em uma trilhadora mecânica BC30 “Luma” (figura 5.), com posterior pesagem dos grãos e conversão dos dados a 13% de umidade. Por fim, foram retiradas amostras de cada unidade experimental para a determinação da média do Peso de Mil Grãos (PMS), e assim foi calculada a produtividade (kg ha^{-1})



Figura 4. Arquitetura da soja e soja no estágio R6 no ponto de colheita para as análises biométricas.

Fonte: Dados do próprio autor.



Figura 5. Degrana da soja trilhadora de cereais BC30 “Luma”.

Fonte: Dados do próprio autor.

4.4 Manejo da Irrigação

Utilizou-se um sistema de irrigação por aspersão convencional com eficiência de 80%, equipado com aspersores Agropolo (modelo NY25 e bocais de 2,8 x 2,5 mm). A estrutura foi composta por duas linhas paralelas de tubos, cada uma com três aspersores espaçados em 12 metros, visando uma uniformidade de aplicação mínima de 80% a uma taxa de 4,9 mm h⁻¹ sob pressão de trabalho de 3,0 bar. Para evitar a deriva da lâmina aplicada sobre a área de sequeiro, manteve-se um isolamento de 20 metros entre os manejos. A uniformidade e a intensidade da lâmina horária foram determinadas por meio do teste de Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), conforme Christiansen (1942); a avaliação, realizada em 06 de dezembro de 2024, constatou uma uniformidade de 85% (Figura 6).



Figura 6. Realização do teste de CUC da área irrigada.

Fonte: Kazuo (2025)

Para o controle hídrico no sistema solo-planta-atmosfera, utilizou-se a evapotranspiração de referência (ET_o) estimada pelo método de Penman-Monteith (Allen *et al.*, 1998), multiplicada pelo coeficiente de cultura (K_c) correspondente a cada fase fenológica. Os dados meteorológicos foram obtidos por uma estação Campbell Scientific CR10X, instalada a 400 m da área de pesquisa. O manejo da irrigação baseou-se nos parâmetros de esgotamento e reposição de água no solo a partir da Capacidade de Água Disponível (CAD), calculada conforme a curva característica de umidade do solo (potencial matricial), apresentada na Figura 7.

Profundidade (m)	Potencial matricial									Ds g cm ⁻³
	Centímetros de coluna de água (cca)									
	-0	-10	-40	-100	-300	-500	-1000	-5000	-15000	
	Umidade gravimétrica (g g ⁻¹)									
0,00-0,15	0,3087	0,2895	0,1850	0,1305	0,1042	0,0912	0,0757	0,0622	0,0420	1,54
0,16-0,30	0,2807	0,2626	0,1694	0,1174	0,0912	0,0775	0,0626	0,0539	0,0422	1,57
0,31-0,45	0,2457	0,2266	0,1458	0,1148	0,0907	0,0733	0,0593	0,0520	0,0427	1,65

Figura 7. Potencial matricial versus umidade gravimétrica e densidade do solo da área experimental para as diferentes camadas, Dracena, SP, Brasil, 2024.

Fonte: Laboratório de Solos e Qualidade de Água, Esalq, Piracicaba, SP. Ds: Densidade aparente do solo.

K_c = coeficiente da cultura da soja (conforme proposto por Doorenbos e Kassam, 1979).

Eficiência = Eficiência do sistema de irrigação por aspersão média de 0,80.

A capacidade de armazenamento de água disponível (CAD) atingisse o nível crítico dado por uma fração de esgotamento de água no solo (f) da sua CAD, calculada por meio da expressão:

$$\text{CAD} = (\theta_{cc} - \theta_{pmp}) \times d \times f \times Z$$

Em que:

CAD = Capacidade de Armazenamento Disponível (mm) crítica ou lâmina de água armazenada no solo que será usada como suprimento para a cultura da soja (mm);

θ_{cc} e θ_{pmp} = umidade volumétrica do solo na Capacidade de Campo e Ponto de Murcha Permanente ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$), ajustado segundo Genuchten (1980)

d = Densidade do solo (g cm^{-3});

f = coeficiente de esgotamento de água no solo de 0,7, ou seja, significa que pode ser consumida até 70% da Capacidade de Água Disponível “CAD” no solo ou déficit hídrico tolerável, conforme Doorembus e Kassam (1979).

Z = profundidade efetiva do sistema radicular (mm) da soja de 0,25 m.

4.5 Análise Estatística dos Dados

As características que apresentaram significância na análise de variância foram submetidas ao teste de Tukey para a comparação de médias. Toda a análise estatística foi realizada no software livre R (R Core Team, 2020).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A lâmina de irrigação, analisada como fator isolado, demonstrou efeito significativo para a altura da planta, altura de inserção da 1ª vagem, número total de vagens, peso de mil grãos e produtividade. De forma semelhante, o fator Variedade apresentou significância para todos os parâmetros, com exceção para Stand. Já o uso de Microrganismos influenciou de forma significativa a altura de inserção da 1ª vagem, o número total de vagens e o Stand, embora não tenha apresentado efeito isolado sobre a produtividade final.

Tão importante quanto os efeitos principais, foram verificadas interações significativas entre os fatores. A interação Lâmina de irrigação x Variedade foi significativa para altura de plantas e peso de mil grãos. A interação entre Variedade x Microrganismos foi significativa apenas para o número total de vagens.

Destaca-se, contudo, a interação Lâmina de irrigação x Microrganismos, que se mostrou significativa para altura de inserção da 1ª vagem, Stand e peso de mil grãos e altamente significativa para a Produtividade. A interação tripla (Lâmina x Variedade x Microrganismos) não foi significativa para nenhuma das variáveis.

Tabela 2. Análise de variância das variáveis, altura de plantas (cm), altura de inserção da 1ª vagem (cm), número de hastes laterais, número total de vagens, stand (PL/m), peso de mil grãos (g), produtividade (kg ha⁻¹).

FV	Gl	QM						
		HP (cm)	H1ªV (cm)	NHL	NTV	Stand (PL/m)	PMG (g)	Prod (kg ha ⁻¹)
Lâmina (L)	1	5292.6***	18.7	3.1	3175.3*	14.1***	15935.9***	2086267.3*
Variedade (V)	1	10774.4***	34.5**	36**	12532.8***	10.24**	4301.7***	1960280.0*
Microrganismos (M)	3	71.3	30.1**	5.1	2442.9*	5.7**	334.4	704929.8
Bloco	3	78.1	3.12	2.4	199.2	0.6	17.6	291413.7
L x V	1	861.4***	11.4	0	1020.8	0.6	1084.9**	408466.6
L x M	3	29.4	52.2**	4.1	317.4	0.64	431.3	2787953.8***
V x M	3	441.5	9.8	2.9	2218.1*	3.6*	47.1	611995.5
L x V x M	3	65.8	7.6	8.4	707.1	0.3	139.6	200156.7
Resíduo	45	2561.3	4.6	4.1	578.7	0.9	119.3	334348.3
CV (%)		7.57	17.1	31.71	19.36	17.84	7.47	14.69

* p < 0,05; ** p < 0,01; *** p < 0,001.

Fonte: Dados do próprio autor.

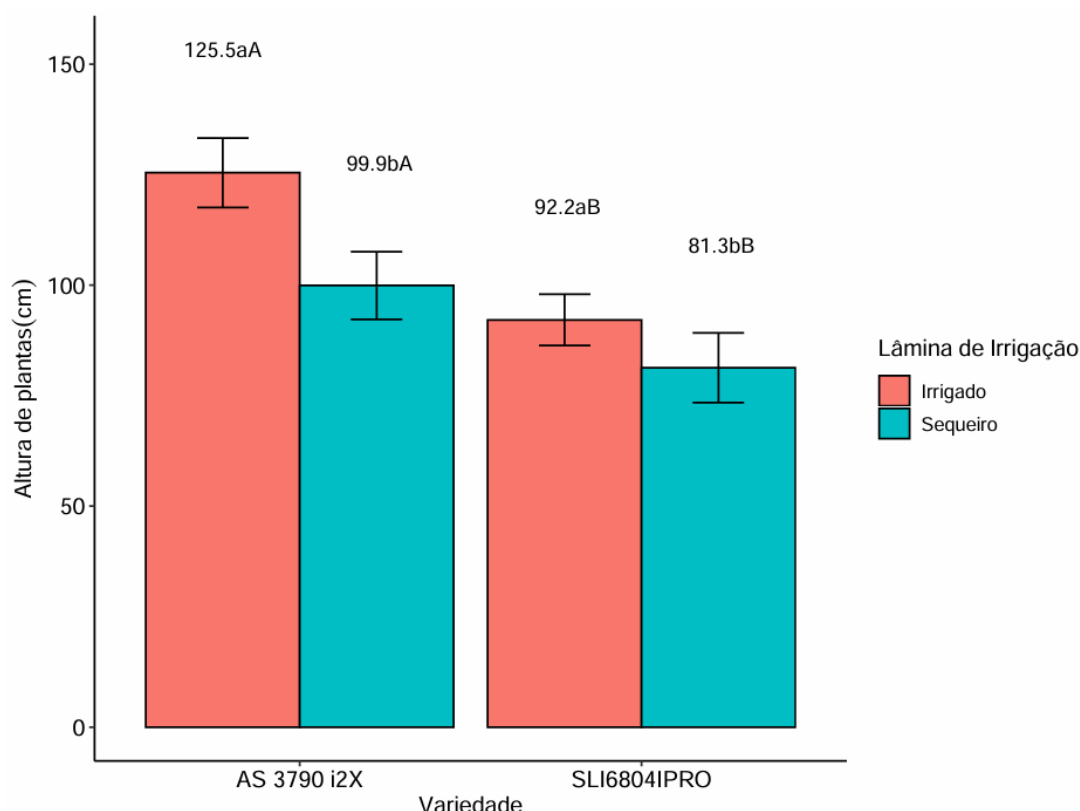


Figura 8. Teste de comparação de média para a variável altura de plantas (cm). Letras maiúsculas comparam médias entre colunas e letras minúsculas comparam médias dentro do mesmo tratamento.

Na análise da variável altura de plantas (Figura 8.), é observado que o cultivo em sequeiro limitou o crescimento vegetativo em ambas as cultivares. Na AS 3790 i2X, a altura média sofreu uma redução de 125,5 cm no ambiente irrigado para 99,9 cm no sistema de sequeiro, e para a cultivar SLI6804IPRO foi observado um comportamento semelhante, que teve sua altura reduzida de 92,2 cm para 81,3 cm quando submetida ao sequeiro. Estes resultados são semelhantes com a literatura, que firma de que a disponibilidade hídrica adequada é um fator determinante para o desenvolvimento vegetativo pleno das plantas, refletindo-se na manutenção do turgor, no alongamento celular e no consequente aumento da estatura (Taiz *et al.*, 2017; Farias; Nepomuceno; Neumaier, 2007).

Por outro lado, a comparação entre as cultivares dentro dos manejos hídricos demonstrou que o porte da planta é uma característica provinda do material genético. A cultivar AS 3790 i2X apresentou porte estatisticamente superior à SLI6804IPRO nos dois cenários avaliados. A diferença marcante entre

as cultivares evidencia a forte interação genótipo-ambiente e a influência da arquitetura inerente a cada cultivar (Zanon *et al.*, 2018)

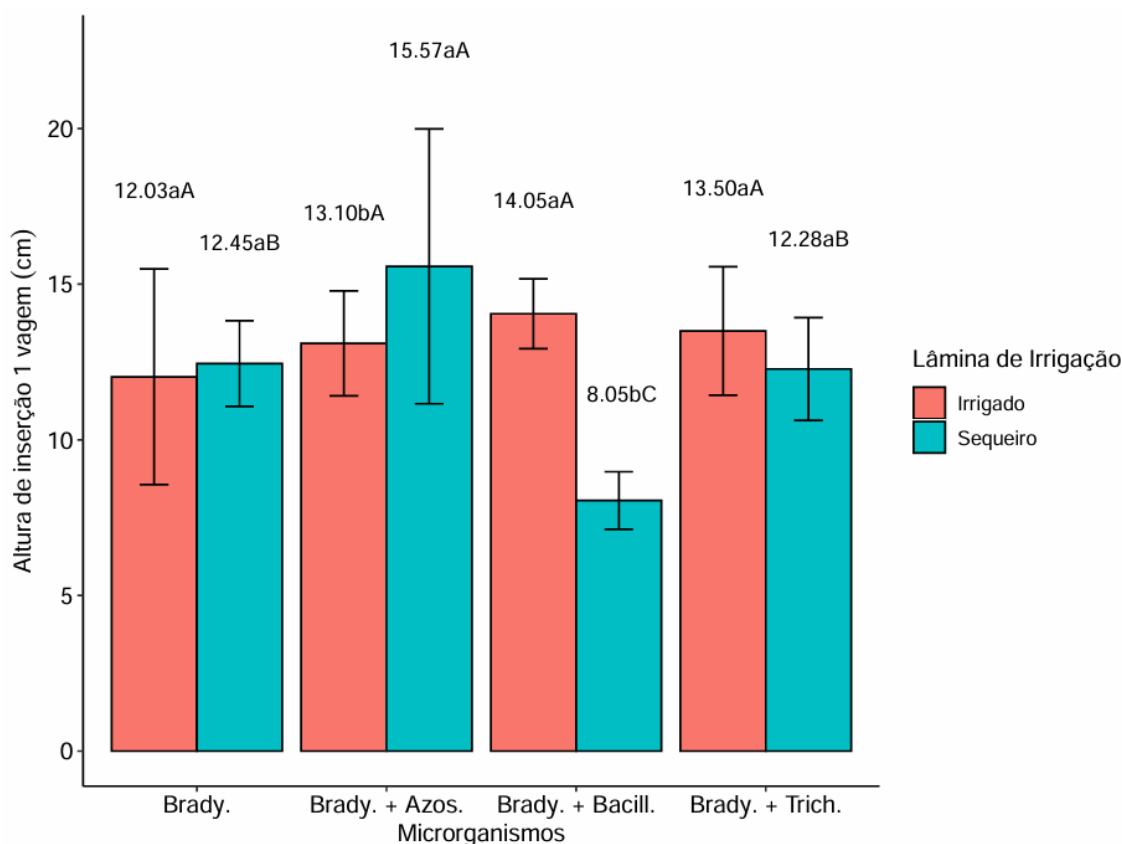


Figura 9. Teste de comparação de média para a variável altura de inserção da 1ª vagem (cm).

Letras maiúsculas comparam médias entre colunas e letras minúsculas comparam médias dentro do mesmo tratamento.

Ao avaliar a interação entre a inoculação e os sistemas de irrigação, nota-se que nos tratamentos envolvendo apenas a inoculação padrão com *Bradyrhizobium* ou a co-inoculação com *Trichoderma*, os diferentes manejos hídricos não resultaram em perdas significativas na altura de inserção.

Em contrapartida, os tratamentos com *Bacillus* e *Azospirillum* demonstraram alta sensibilidade à variação hídrica, apresentando comportamentos divergentes, de modo que a condição de sequeiro afetou negativamente a co-inoculação com *Bacillus*, reduzindo a altura média de 14,05 cm no irrigado para 8,05 cm sequeiro. Esse índice inferior a 10 cm representa um fator limitante a campo, pois compromete altas perdas na colheita (Chioderoli *et al.*, 2012). Por outro lado, o uso de *Azospirillum* propiciou um incremento significativo sob déficit hídrico, elevando a estatura de inserção para 15,57 cm no sequeiro, em comparação aos 13,10 cm obtidos na área irrigada.

Esse comportamento superior do *Azospirillum brasilense* sob redução hídrica encontra conexo na literatura recente, uma vez que diversos estudos demonstram a atuação dessa rizobactéria na mitigação de estresses abióticos. Esse benefício ocorre fundamentalmente por meio da síntese de fitormônios, com destaque para o ácido indolacético (AIA), o qual desempenha o papel de estimular a expansão do sistema radicular em densidade e profundidade (Morais *et al.*, 2017; Paiva *et al.*, 2021).

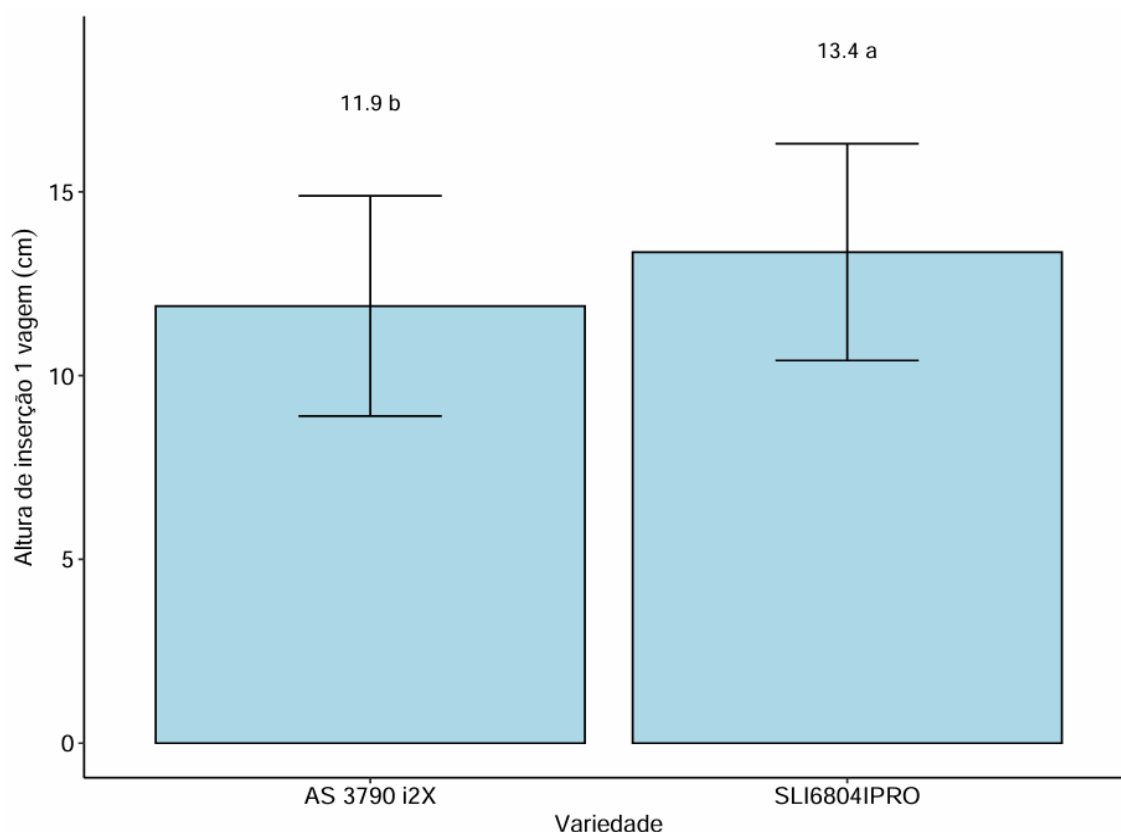


Figura 10. Teste de comparação de média para a variável altura de inserção da 1ª vagem (cm).

Letras minúsculas comparam médias entre colunas.

Na figura 10., para altura de inserção da 1ª vagem (cm), a cultivar AS 3790 i2X apresentou média de 13,4 cm, valor estatisticamente superior aos 11,9 cm observados na SLI6804IPRO. Do ponto de vista agrônomo, ambas as cultivares atingiram índices adequados para o manejo da cultura, como abordado por Chioderoli *et al.* (2012), onde estabelece que a inserção da primeira vagem deve situar-se, no mínimo, entre 10 e 15 cm para garantir uma colheita mecanizada eficiente, evitando as perdas diretas de grãos na plataforma de corte.

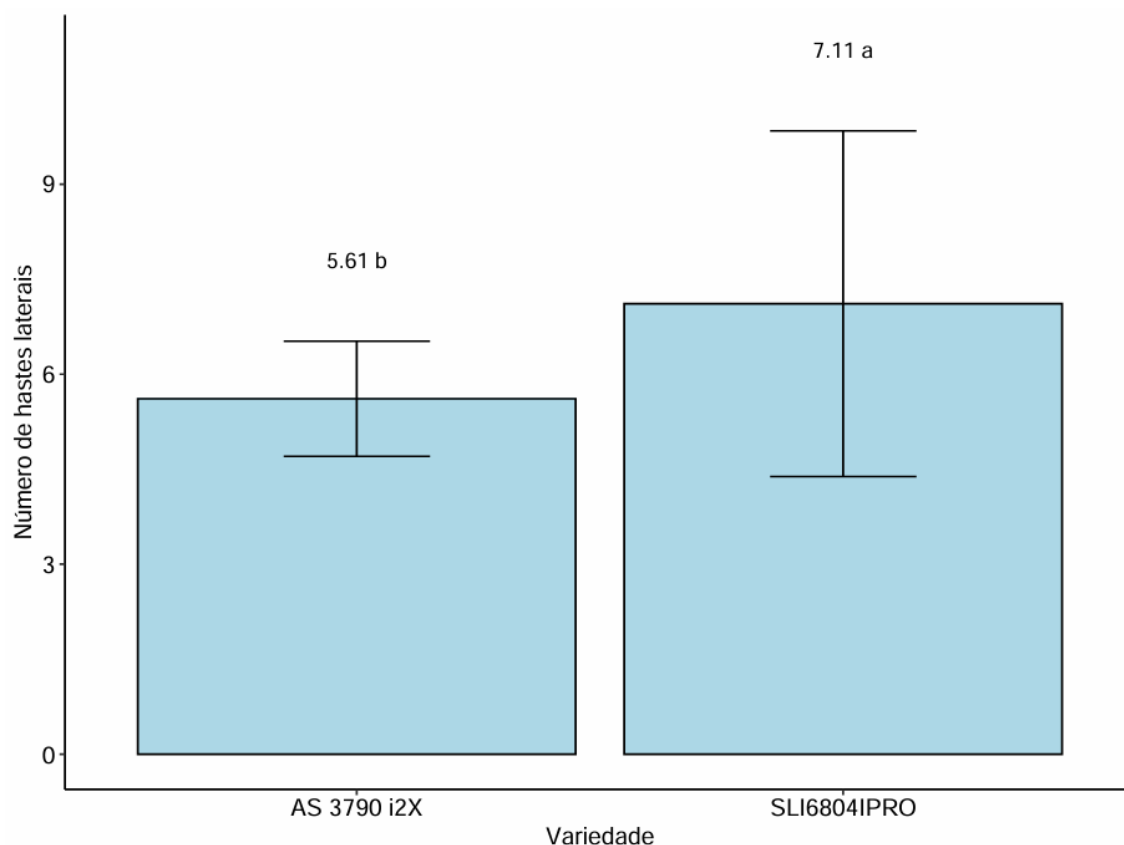


Figura 11. Teste de comparação de média para a variável número de hastes laterais. Letras minúsculas comparam médias entre colunas.

A avaliação do número de hastes laterais (Figura 11.) indicou que a cultivar SLI6804IPRO destacou-se pela maior capacidade de ramificação, registrando uma média de 7,11 hastes por planta, valor superior às 5,61 hastes observadas na AS 3790 i2X. Esse perfil de maior engalhamento da SLI6804IPRO possui relação direta com a altura das plantas (Figura 8.), que por ter menor estatura, a SLI6804IPRO demonstrou maior plasticidade fenotípica no ambiente de cultivo. Como a cultivar AS 3790 i2X apresentou maior porte nos dois regimes hídricos avaliados, sua forte dominância apical atuou restringindo a emissão de novos ramos (Balbinot Junior *et al.*, 2015).

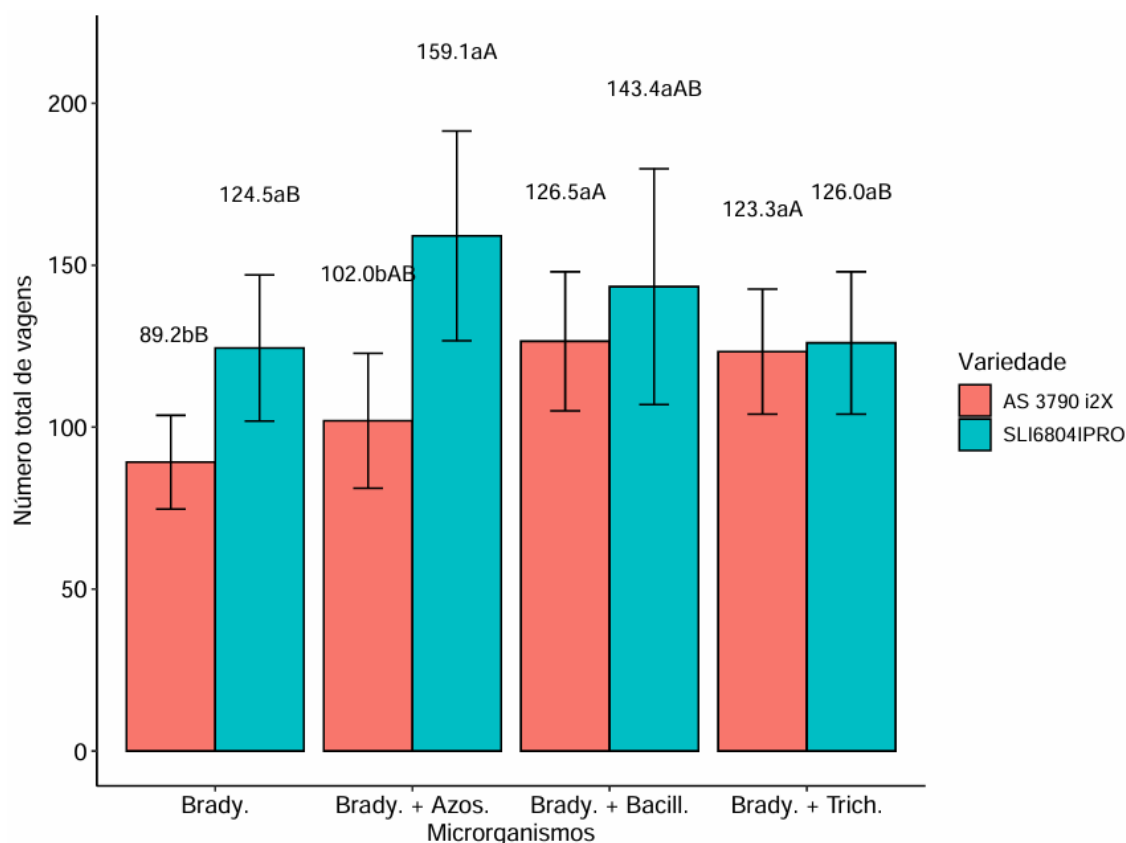


Figura 12. Teste de comparação de média para a variável número total de vagens. Letras maiúsculas comparam médias entre colunas e letras minúsculas comparam médias dentro do mesmo tratamento.

A análise da Figura 12., que apresenta número total de vagens, revela que para a variedade SLI6804IPRO, a co-inoculação de *Bradyrhizobium* com *Azospirillum* resultou no maior número médio de vagens (159,1), apresentando diferença estatística em relação ao tratamento com *Bradyrhizobium* (124,5) e à combinação com *Trichoderma* (126,0), mas não apresentando diferença significativa para *Bacillus*. Esses resultados positivos corroboram os achados de Hungria, Nogueira e Araujo (2013), que demonstram que a adição de bactérias promotoras de crescimento radicular potencializa a nodulação e a absorção de nutrientes pela soja.

Já a variedade AS 3790 i2X demonstrou melhor desempenho quando co-inoculada com *Bacillus* (126,5) ou *Trichoderma* (123,3), superando significativamente *Bradyrhizobium*. Os incrementos observados com o uso desses microrganismos podem ser explicados pela sua capacidade de solubilização de nutrientes, produção de fitormônios e melhoria do ambiente radicular, fatores que

refletem diretamente em uma maior fixação de estruturas reprodutivas (Chagas *et al.*, 2017; Meyer *et al.*, 2021).

Ao comparar as duas cultivares dentro de um mesmo tratamento, nota-se que a SLI6804IPRO foi superior à AS 3790 i2X nas áreas com *Bradyrhizobium* isolado e naquelas associadas ao *Azospirillum*, nas demais co-inoculações o desempenho produtivo de ambas as variedades se igualou estatisticamente.

Tabela 3. Teste de comparação de média para as variáveis número total de vagens (NTV) e Stand (Pl/m).

Lâmina de irrigação	NTV	Stand (Pl/m)
Irrigado	117 b	8.14 a
Sequeiro	131 a	7.2 b

Letras minúsculas comparam médias entre colunas.

A análise referente ao número total de vagens evidenciou uma resposta que diverge da expectativa inicial quanto ao tratamento conduzido sob regime de sequeiro, onde apresentou uma média de 131 vagens, valor estatisticamente superior ao observado no tratamento irrigado, que contabilizou uma média de 117 vagens.

Para a variável Stand de plantas, o sistema irrigado resultou em 8,14 plantas por metro e no sequeiro 7,20 plantas. Conforme descrito na metodologia, a semeadura foi de 13 plantas por metro, mas ao observar a figura 1., na data da semeadura, mesmo no sistema irrigado abteve altas temperaturas no ar (em torno de 34°C) e isso corresponde a uma variação de média 6°C a mais no solo. Dessa forma, altas temperaturas no solo com a umidade que foi fornecida pela irrigação para ocorrer a germinação, ocorre o fenômeno conhecido como escaldadura. Segundo Farias, Nepomuceno e Neumaier (2007), para o sucesso no estabelecimento da lavoura, a semente de soja necessita absorver no mínimo 50% de seu peso em água, deste modo, temperaturas do solo excessivamente altas, especialmente aquelas acima de 40 °C, prejudicam severamente a germinação e podem inviabilizar a emergência da plântula.

Esses resultados estão diretamente ligados à alta plasticidade fenotípica da soja, em situações onde é apresentado um menor número de plantas por metro linear, ocorre uma significativa redução na competição intraespecífica por

recursos essenciais, como água, radiação solar e nutrientes. Desse modo, a soja encontra maior área útil para expressar sua plasticidade fenotípica, um mecanismo de compensação que atua fisiologicamente por meio do estímulo ao maior engalhamento e da maior retenção de nós reprodutivos. Como consequência, a planta maximiza o seu potencial individual e passa a produzir um maior número de vagens por indivíduo, o que frequentemente garante a manutenção da produtividade final da lavoura mesmo sob estandes reduzidos (Balbinot Junior *et al.*, 2015).

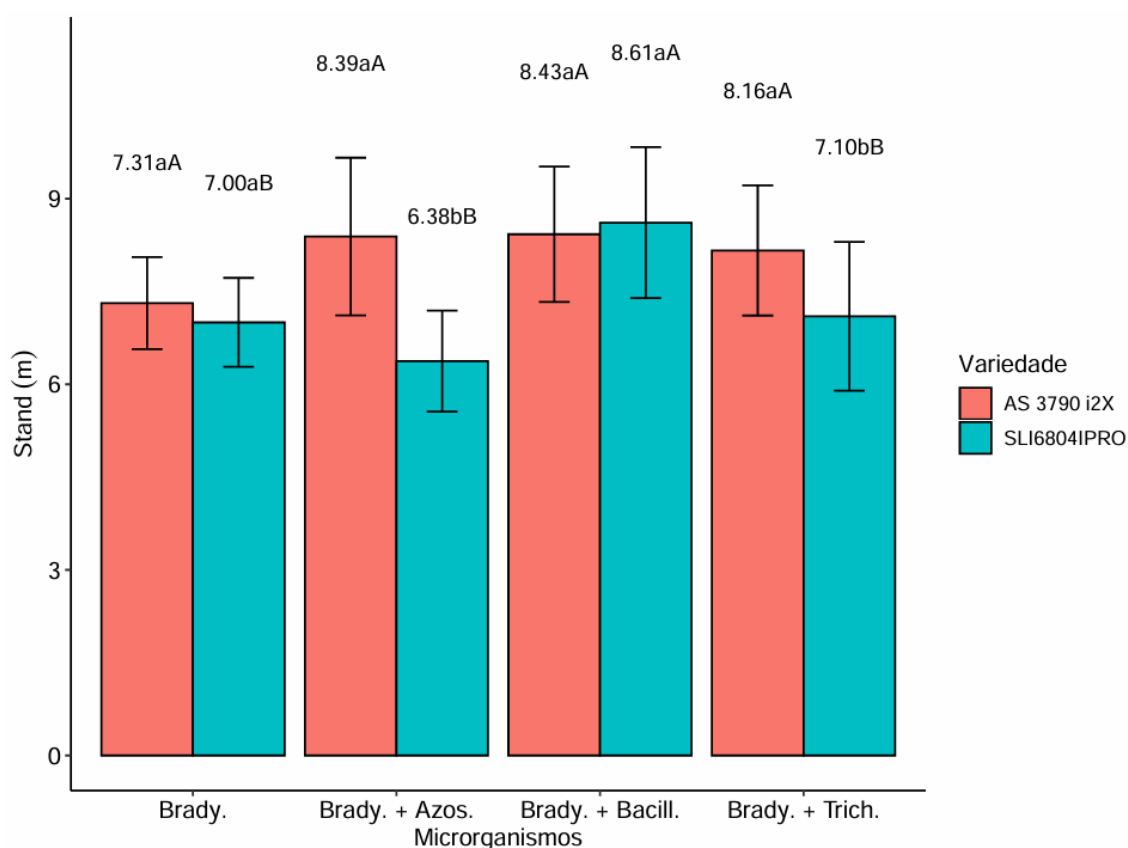


Figura 13. Teste de comparação de média para a variável Stand (pl/m). Letras maiúsculas comparam médias entre colunas e letras minúsculas comparam médias dentro do mesmo tratamento.

A variação no Stand entre as cultivares analisadas evidencia o forte efeito da interação genótipo x microrganismo no estabelecimento da cultura, a cultivar AS 3790 i2X demonstrou estabilidade entre os tratamentos, não apresentando diferenças estatísticas significativas entre nenhum dos tratamentos biológicos

testados. Para essa genética, a inoculação padrão apenas com *Bradyrhizobium* entregou o mesmo desempenho prático que as co-inoculações mais complexas.

Já a cultivar SLI6804IPRO o destaque foi a co-inoculação com *Bacillus*, que garantiu o maior Stand para essa cultivar, sendo estatisticamente superior aos tratamentos com *Azospirillum* e *Trichoderma*. Além disso, o tratamento com *Bacillus* foi o único que fez a SLI6804IPRO se igualar a cultivar AS 3790 i2X. Bactérias do gênero *Bacillus* atuam como rizobactérias promotoras de crescimento de plantas (PGPR), auxiliando na produção de substâncias que hidratam as raízes (Araújo; Hungria, 1999). Bárbaro *et al.* (2008) reiteram que a presença de *Bacillus* na rizosfera aumenta a competitividade das estirpes de *Bradyrhizobium*, resultando em maior vigor inicial e menor mortalidade de plântulas, fator que justifica o estande superior alcançado.

Um ponto importante de atenção foi a queda significativa no estande da cultivar SLI6804IPRO quando co-inoculada com *Azospirillum*. Apesar de ser uma bactéria promotora de crescimento amplamente recomendada na cultura da soja (ZUFFO *et al.*, 2015), genótipos mais sensíveis podem sofrer um efeito inibitório. Isso geralmente acontece porque o *Azospirillum* produz fito-hormônios, como o ácido indolacético (AIA), e o excesso desse hormônio pode segurar o desenvolvimento inicial da planta (Cassán; Diaz-Zorita, 2016). Um efeito competitivo parecido pode explicar o baixo estande com *Trichoderma*, já que o fungo compete rapidamente por oxigênio e nutrientes no início da colonização, o que pode atrasar o arranque de cultivares mais sensíveis (Lorito *et al.*, 2010).

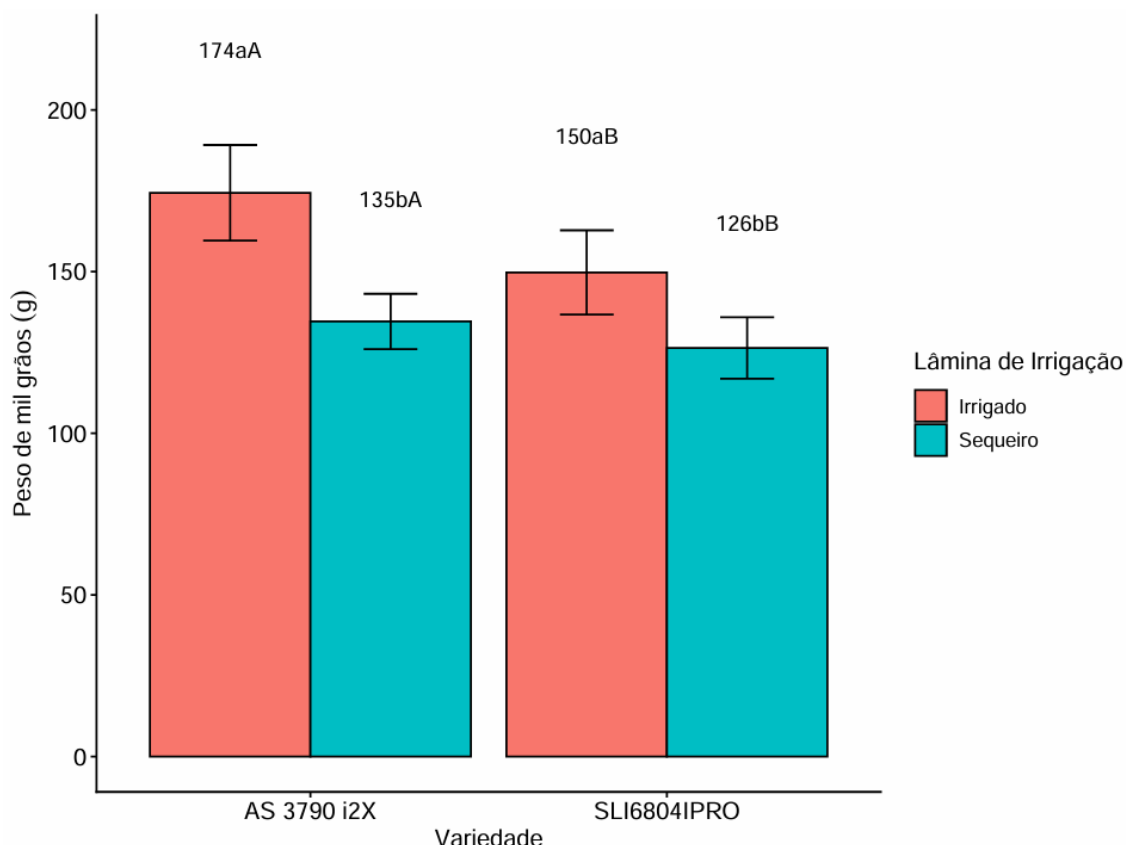


Figura 14. Teste de comparação de média para a variável Peso de mil grãos (g). Letras maiúsculas comparam médias entre colunas e letras minúsculas comparam médias dentro do mesmo tratamento.

Na figura 14., é visto que ambas as variedades apresentaram reduções drásticas no PMG quando submetidas ao sequeiro, a AS 3790 i2X declinou de 174 g para 135 g, enquanto a SLI6804IPRO variou de 150 g para 126 g sob as mesmas condições. Para ambas variedades, o peso de mil grãos está dentro do padrão descrito em seu portfólio, de modo que para a cultivar AS 3790 i2X a faixa é de 165 a 184 g, e como é observado no gráfico obteve 174 g, e para a SLI6804IPRO está descrito 151 g é obtido 150 g (Agroeste, 2024; Semeali, 2024). Vale ressaltar que o peso de mil grãos descrito nos portfólios de cultivares, folders técnicos e laudos de sementes geralmente reflete o potencial genético da cultivar em condições sem estresse hídrico (Marcos Filho, J., 2015)

Quanto à comparação entre os materiais, a AS 3790 i2X demonstrou maior potencial em ambos os manejos, superando estatisticamente a SLI6804IPRO tanto no sistema irrigado quanto no sequeiro. Esses resultados indicam que, embora a restrição hídrica comprometa a translocação de fotoassimilados em ambos os genótipos, a variedade AS 3790 i2X mantém um

patamar de massa superior mesmo sob estresse, evidenciando melhor eficiência produtiva em comparação ao material concorrente.

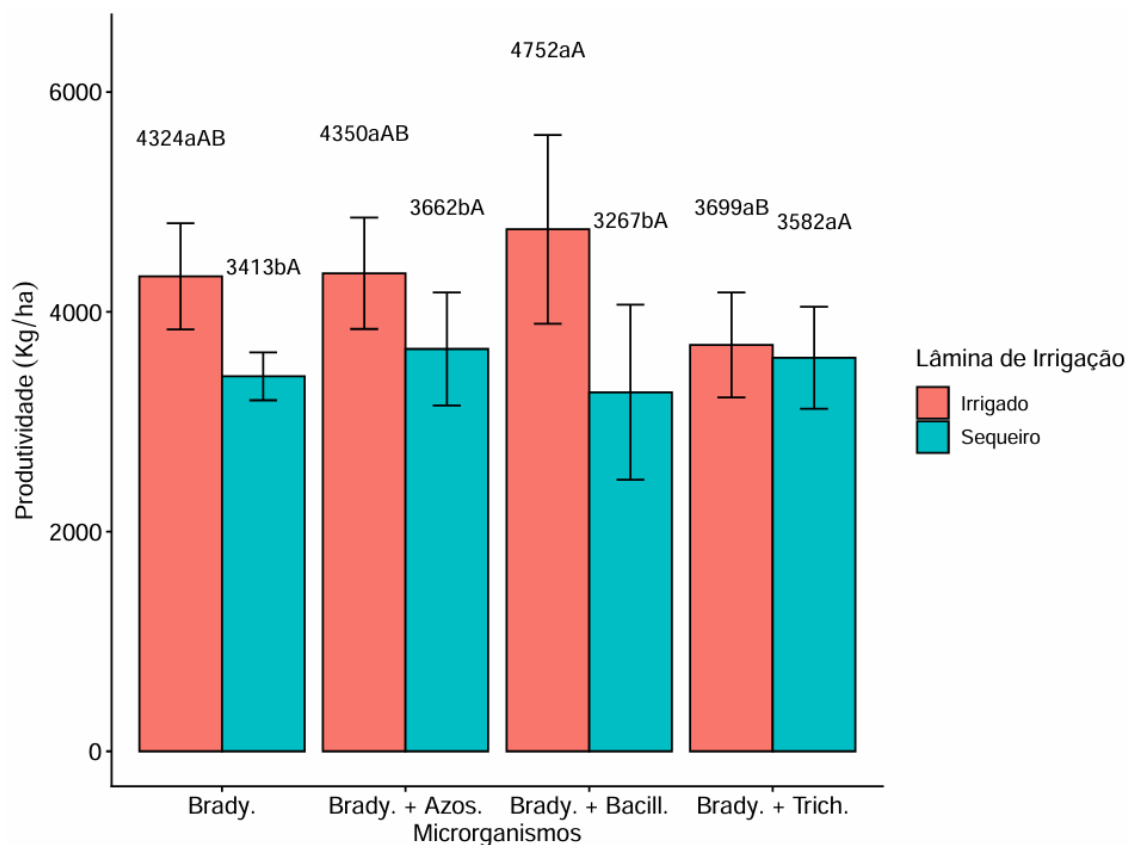


Figura 15. Teste de comparação de média para a variável produtividade kg ha^{-1} . Letras maiúsculas comparam médias entre colunas e letras minúsculas comparam médias dentro do mesmo tratamento.

Na Figura 15., de maneira geral, observa-se que o manejo irrigado promoveu aumento na produtividade em todos os tratamentos avaliados, quando comparado ao sistema de sequeiro, onde não houve diferença significativa entre nenhum microrganismo, isso indica que a disponibilidade hídrica foi um fator determinante para maximização do desempenho produtivo. No tratamento controle com *Bradyrhizobium*, a produtividade sob irrigação foi de 4324 kg ha^{-1} , enquanto em sequeiro foi de 3413 kg ha^{-1} , representando redução expressiva de 911 kg ha^{-1} , o que reforça o papel limitante da água sobre processos fisiológicos essenciais, como fotossíntese, condutância estomática e assimilação de carbono.

A co-inoculação com *Azospirillum brasilense* promoveu aumento na produtividade em relação ao *Bradyrhizobium*, atingindo 4350 kg ha^{-1} sob irrigação

e 3662 kg ha⁻¹ em sequeiro. Esse comportamento sugere que a associação com *Azospirillum* contribuiu para maior eficiência fisiológica das plantas, possivelmente via produção de fitormônios, como auxinas (ácido indolacético - AIA), que estimulam o crescimento radicular e aumentam a exploração do solo, favorecendo a absorção de água e nutrientes (Cassán *et al.*, 2014; Fukami *et al.*, 2018; Hungria *et al.*, 2021).

Por outro lado, o tratamento com *Bacillus* apresentou o maior valor absoluto de produtividade sob irrigação, atingindo 4752 kg ha⁻¹, sendo estatisticamente superior ao *Trichoderma*. Esse resultado está ligado com o solo de Dracena apresentar textura arenosa, resultando em uma baixa capacidade de retenção de água. Durante a condução do experimento, mesmo quando irrigado, o tuno de rega tem seus intervalos, e com isso a CAD abaixa, diminuindo a água disponível. Deste modo o uso deste microrganismo específico foi fundamental, pois esse atuou retendo a umidade próxima ao sistema radicular. Isso permitiu que as raízes se mantivessem hidratadas no intervalo entre os turnos de rega, contornando a rápida drenagem do solo. No entanto, em condições de sequeiro, esse mesmo tratamento apresentou queda acentuada na produtividade, com 1.485 kg a menos quando comparado com o sequeiro

O tratamento de co-inoculação com *Trichoderma* não apresentou diferença estatística entre os manejos hídricos, com produtividade de 3699 kg ha⁻¹ sob irrigação e 3582 kg ha⁻¹ em sequeiro. Do ponto de vista microbiológico, *Trichoderma* é um fungo com forte capacidade competitiva na rizosfera, caracterizado por crescimento rápido, elevada produção de enzimas hidrolíticas (como quitinases, glucanases e proteases) e secreção de metabólitos secundários com ação antibiótica. Esses compostos podem afetar diretamente bactérias do solo, incluindo *Bradyrhizobium*, reduzindo sua sobrevivência, colonização radicular e, conseqüentemente, a eficiência da nodulação (Milani, 2019; Benítez, 2004).

Agora analisando o manejo irrigado dentro de cada microrganismo, é perceptível o grande destaque foi o *Bradyrhizobium japonicum* + *Bacillus aryabattai*, que atingiu o teto produtivo do experimento com 4.752 kg ha⁻¹. Se examinarmos esse resultado lado a lado com o *Bradyrhizobium japonicum* + *Trichoderma harzianum*, que teve o menor desempenho na área irrigada, encontramos uma vantagem direta de 1.053 kg ha⁻¹. Em termos práticos, escolher

o *Bacillus* no lugar do *Trichoderma* sob irrigação garantiu mais de uma tonelada extra de produtividade por hectare.

No meio do caminho, temos o *Bradyrhizobium* (4.324 kg ha^{-1}) e a co-inoculação *Bradyrhizobium japonicum* + *Azospirillum brasilense* (4.350 kg ha^{-1}). Eles tiveram um desempenho intermediário forte. Produziram cerca de 400 a 428 kg ha^{-1} a menos que o microrganismo mais produtivo, mas entregaram uma vantagem de mais de 620 kg ha^{-1} em relação ao menos produtivo.

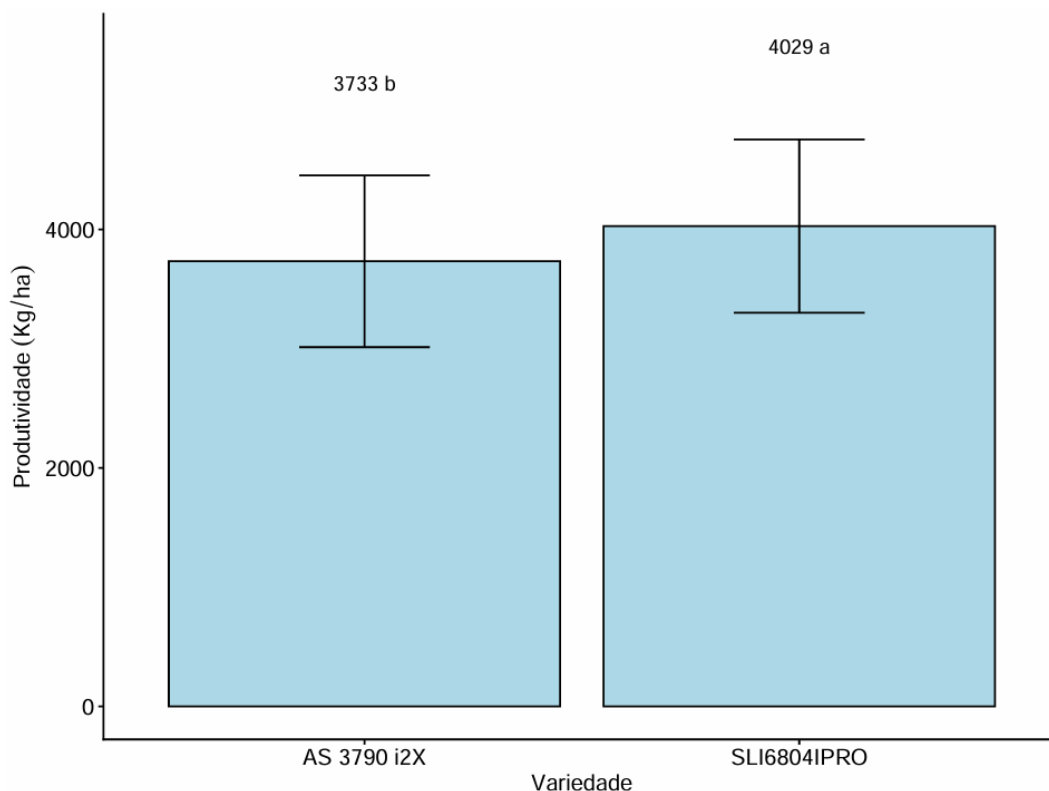


Figura 16. Teste de comparação de média para a variável produtividade kg ha^{-1} . Letras minúsculas comparam médias entre colunas.

Conforme a Figura 16., a SLI6804IPRO obteve desempenho em comparação à AS 3790 i2X, o que representa uma diferença de 296 kg ha^{-1} (cerca de 4,9 sacas por hectare).

Essa superioridade da SLI6804IPRO indica uma melhor interação genótipo-ambiente às condições edafoclimáticas, segundo Borém *et al.* (2017) e Sediyaama (2013), as exigências climáticas de cada material determinam a expressão do seu potencial, podendo favorecer o enchimento de grãos de uma cultivar em detrimento da outra durante as fases fenológicas críticas.

6 CONCLUSÕES

A irrigação favoreceu o crescimento vegetativo. Independentemente do regime hídrico, a cultivar AS 3790 i2X apresentou sempre maior porte do que a SLI6804IPRO.

Ambas as cultivares garantiram a altura de inserção ideal para colheita mecânica (>10 cm). Contudo, em sequeiro, a co-inoculação de *Azospirillum* aumentou esta altura, enquanto a co-inoculação de *Bacillus* reduziu-a para níveis críticos.

A cultivar SLI6804IPRO ramificou mais do que a AS 3790 i2X, refletindo a sua menor altura.

As plantas em sequeiro produziram mais vagens, num mecanismo fisiológico para compensar a menor densidade populacional causada pelo *stress* hídrico. Para a variedade SLI6804IPRO, a co-inoculação de *Bradyrhizobium* com *Azospirillum* resultou no maior número médio de vagens, já a variedade AS 3790 i2X teve melhor resultado co-inoculada com *Bacillus* ou *Trichoderma*.

A irrigação garantiu uma maior Stand. A cultivar AS 3790 i2X mostrou-se mais rústica e estável, enquanto a SLI6804IPRO dependeu da inoculação com *Bacillus* para garantir um bom stand inicial.

O déficit hídrico em sequeiro reduziu drasticamente a massa dos grãos. Ainda assim, a cultivar AS 3790 i2X foi mais eficiente a acumular reservas do que a SLI6804IPRO.

A maior produtividade foi obtida no sistema irrigado, destacando-se a co-inoculação de *Bradyrhizobium japonicum* e *Bacillus aryabhattai*. A cultivar SLI6804IPRO foi a opção mais produtiva do estudo.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGROESTE. **Catálogo de soja**: cultivares e tecnologias. São Paulo: Bayer CropScience, 2024. Disponível em: <https://www.agroeste.com.br/produtos/soja>. Acesso em: 17 mar. 2026.

ALLEN, Richard G. *et al.* **Crop evapotranspiration**: guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and drainage paper 56. Roma: FAO, v. 300, n. 9, 1998.

ARAÚJO, F. F.; HUNGRIA, M. Nodulação e rendimento de soja co-inoculada com *Bacillus subtilis* e *Bradyrhizobium japonicum* / *Bradyrhizobium elkanii*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 10, p. 1853-1861, 1999.

ARMOA BÁEZ, María Soledad *et al.* Balanço hídrico e produtividade da soja cultivada sob diferentes níveis de déficit hídrico no Sul do Brasil. **Investigación Agraria**, v. 22, n. 1, p. 3-12, 2020.

BALBINOT JUNIOR, A. A.; PROCÓPIO, S. O.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C. Densidade de plantas na cultura da soja. **Londrina: Embrapa Soja**, 2015.

BÁRBARO, I. M. *et al.* Produtividade da soja em resposta à inoculação padrão e co-inoculação. **Colloquium Agrariae**, v. 5, n. 1, p. 01-07, 2009.

BÁRBARO, I. M. *et al.* **Técnica alternativa**: co-inoculação de soja com *Azospirillum* e *Bradyrhizobium* visando incremento de produtividade. Infobibos - Informações Tecnológicas, 2008.

BASHAN, Y.; DE-BASHAN, L. E. How the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum* promotes plant growth—a critical assessment. **Advances in Agronomy**, v. 108, p. 77-136, 2010.

BATTISTI, A. M.; SIMONETTI, A. P. M. Inoculação e co-inoculação com *Bradyrhizobium japonicum* e *Azospirillum brasilense* na cultura da soja. **Revista Cultivando o Saber**, v. 8, n. 3, p. 294-301, 2014.

BENÍTEZ, T. *et al.* Biocontrol mechanisms of Trichoderma strains. **International Microbiology**, v. 7, n. 4, p. 249-260, 2004.

BIASOTTO, J. V. C. **Influência da inoculação com microrganismos promotores de crescimento de plantas no crescimento e produtividade da cultura da soja**. Trabalho de Conclusão de Curso, 2025.

BORÉM, A. *et al.* Soja: do plantio à colheita. Viçosa, MG: **Editora UFV**, 2017.

BRACCINI, A. L. *et al.* Co-inoculação e modos de aplicação de *Bradyrhizobium japonicum* e *Azospirillum brasilense* e adubação nitrogenada na nodulação das plantas e rendimento da cultura da soja. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 15, n. 1, p. 27-35, 2016.

CÂMARA, G. M. S. Soja: tecnologia da produção. **Piracicaba: ESALQ**, 2015.

CARDOSO, E. G. *et al.* Sistema radicular da soja em função da compactação do solo no sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 3, p. 493-501, 2006.

CARVALHO, R. C. da S. Co-inoculação com microrganismos promotores de crescimento de plantas no desenvolvimento e produtividade da soja. **Trabalho de Conclusão de Curso**, 2023.

CASSÁN, F. *et al.* *Azospirillum brasilense* Az39 and *Bradyrhizobium japonicum* E109, inoculated singly or in combination, promote seed germination and early seedling growth in corn and soybean. **European Journal of Soil Biology**, v. 45, n. 1, p. 28-35, 2009.

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

CASSÁN, F.; VANDERLEYDEN, J.; SPAEPEN, S. Physiological and agronomical aspects of phytohormone production by model plant-growth-promoting rhizobacteria (PGPR) belonging to the genus *Azospirillum*. **Journal of Plant Growth Regulation**, Nova Iorque, v. 33, n. 2, p. 440-459, 2014.

CHAGAS JUNIOR, A. F. *et al.* *Bacillus subtilis* as a growth promoter in soybean crop. **Journal of Agricultural Science**, Toronto, v. 14, n. 4, p. 115-125, 2022.

CHAGAS, L. F. B. *et al.* *Bacillus subtilis* e *Trichoderma* sp. no incremento do crescimento e produtividade da cultura da soja. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 40, n. 4, p. 763-771, 2017.

CHET, I. *Trichoderma*: mechanisms of biological control and commercial exploitation. In: Innovative approaches to plant disease control. **New York: John Wiley & Sons**, 1987. p. 137-160.

CHIODEROLI, C. A. *et al.* **Perdas de grãos e distribuição de palha na colheita mecanizada de soja**. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 32, n. 6, p. 1123-1131, 2012.

CHRISTIANSEN, J. E. The uniformity of application of water by sprinkler systems. **Agricultural Engineering**, St. Joseph, v. 22, n. 2, p. 89-92, 1942.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). Acompanhamento da safra brasileira de grãos: safra 2022/23. Brasília: **Conab**, 2023. Disponível em: <https://www.conab.gov.br>. Acesso em: 14 abr. 2026.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). Acompanhamento da safra brasileira de grãos: safra 2025/26 – quinto levantamento. Brasília, DF: **Conab**, 2026.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de grãos: safra 2023/24 - 12º levantamento. Brasília: **Conab**, 2024.

CORREIA, N. M.; DURIGAN, J. C. Culturas de cobertura e sua influência na fertilidade do solo sob sistema de plantio direto (SPD). [S. l.: s. n.], 2008.

DALOLIO, R. S. *et al.* Co-inoculação de soja com *Bradyrhizobium* e *Azospirillum*. 2018.

DE CASTRO, Igor Pereira *et al.* Tolerância ao déficit hídrico na germinação de sementes de soja tratadas com *Bacillus aryabhattai*. **Cerrado Agrociências**, v. 14, p. 46-55, 2023.

DENARDIN, J. E. *et al.* Sistema Plantio Direto: Fator de variação da produtividade de soja no Brasil. Passo Fundo: **Embrapa Trigo**, 2008.

DÖBEREINER, J.; PEDROSA, F. O. Nitrogen-fixing bacteria in nonleguminous crop plants. Madison: **Science Tech Publishers**, 1987.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. Yield response to water. Rome: **FAO**, 1979.

EMBRAPA. O agro no Brasil e no mundo: uma síntese do período de 2000 a 2022. Brasília, DF: **Embrapa**, 2023.

EMBRAPA. Tecnologias de Produção de Soja. Londrina: **Embrapa Soja**, 2020.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Tecnologias de Produção de Soja - Região Central do Brasil. Londrina: **Embrapa Soja**, 2020.

FARIAS, J. R. B.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N. *Ecofisiologia da soja*. Londrina: **Embrapa Soja**, 2007.

FEHR, W.R., CAVINESS, C.E. Stages of soybean development. Ames: **Iowa State University**, 1977.

FERREIRA, Rafael Mantovani. **Rendimento da cultura da soja em ambiente irrigado e sequeiro em SPD sob diferentes Urochloas e sistema de preparo de solo convencional**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrônômica) – Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Dracena, 2021.

FOLONI, J. S. S.; ROSOLEM, C. A. Produtividade e acúmulo de potássio na soja em função da antecipação da adubação potássica no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 1549-1561, 2008.

FUKAMI, J.; CEREZINI, P.; HUNGRIA, M. *Azospirillum*: benefits that go far beyond biological nitrogen fixation. **AMB Express**, Berlim, v. 8, n. 1, p. 73, 2018.

GAVA, Ricardo *et al.* Estratégias de manejo de déficit hídrico na irrigação da cultura da soja. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 10, n. 3, p. 305-315, 2016.

GAVA, Ricardo. **Os efeitos do estresse hídrico na cultura da soja** (*Glycine Max*, (L.) Merrill.). Tese (Doutorado em Engenharia de Sistemas Agrícolas) – ESALQ/USP, Piracicaba, 2014.

GILLER, K. E. Nitrogen fixation in tropical cropping systems. 2. ed. Wallingford: **CABI Publishing**, 2001.

GÖRGEN, C. A. *et al.* Controle do mofo-branco com palhada e *Trichoderma harzianum* 1306 em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, p. 1583-1590, 2009.

HARMAN, G. E. *et al.* *Trichoderma* species — opportunistic, avirulent plant symbionts. **Nature Reviews Microbiology**, v. 2, n. 1, p. 43-56, 2004.

HOITINK, H. A. J.; MADDEN, L. V.; DORRANCE, A. E. Systemic resistance induced by *Trichoderma* spp. *Phytopathology*, v. 96, n. 2, p. 186-189, 2006.

HOMECHIN, M. **Potencial e emprego de isolados brasileiros de *Trichoderma harzianum*, para controle de patógenos de soja**. 1987. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, USP, Piracicaba, 1987.

HUNGRIA, M. *et al.* A importância do nitrogênio na cultura da soja. **Circular Técnica Embrapa Soja**, Londrina, n. 41, p. 1-16, 2006.

HUNGRIA, M. *et al.* Co-inoculation of soybean and common bean with rhizobia and azospirilla: strategies to improve sustainability. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 49, n. 7, p. 791-801, 2013.

HUNGRIA, M. *et al.* 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**, Viçosa, v. 45, e0200190, 2021.

HUNGRIA, M.; MENDES, I. C.; MERCANTE, F. M. A fixação biológica do nitrogênio como tecnologia de baixa emissão de carbono para as culturas da soja e do feijoeiro. Londrina: **Embrapa Soja**, 2013.

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA. COINOCULAÇÃO DA SOJA COM *Bradyrhizobium* E *Azospirillum*: UMA TECNOLOGIA AMBIENTALMENTE SUSTENTÁVEL E ECONOMICAMENTE BEM SUCEDIDA. Londrina: **Embrapa Soja**, 2019.

HUNGRIA, M.; VARGAS, M. A. T. Environmental factors affecting N₂ fixation in grain legumes in the tropics, with an emphasis on Brazil. **Field Crops Research**, v. 65, n. 2-3, p. 151-164, 2000.

ILYAS, N. *et al.* Exopolysaccharide producing rhizobacteria and their impact on growth and drought tolerance of wheat grown under rainfed conditions. **PLOS One**, v. 14, n. 9, e0222302, 2019.

KUSWANTORO, H. *et al.* Response of Soybean Genotypes to Waterlogging. **Jurnal Agronomi Indonesia** (Indonesian Journal of Agronomy), v. 39, n. 1, 2016.

LORITO, M.; WOO, S. L.; HARMAN, G. E.; MONTE, E. Translational research on *Trichoderma*: from 'omics to the field. **Annual Review of Phytopathology**, v. 48, p. 399-422, 2010.

MACHADO, D. F. M. *et al.* *Trichoderma* no Brasil: o fungo e o bioagente. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 35, n. 1, p. 274-288, 2012.

MARCOS FILHO, J. Fisiologia de sementes de plantas cultivadas. Londrina: **Abrates**, 2015.

MENDES, I. C. *et al.* Bioanálise de solo: como acessar e interpretar a saúde do solo. Brasília: **Embrapa**, 2016.

MEYER, M. C. *et al.* (Ed.). Ensaios em rede de produtos biológicos para controle de doenças na cultura da soja: safra 2020/2021. Londrina: **Embrapa Soja**, 2021.

MILANI, K. M.; SILVA, F. M.; ALVES, L. F. A. Bioformulados à base de *Trichoderma* e *Bradyrhizobium japonicum* no crescimento inicial da soja. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 41, e23, 2019.

MORAIS, J. F. A. *et al.* Avaliação de consórcios bacterianos para mitigar os efeitos do estresse hídrico em cultura de soja. In: **SIMPÓSIO CIENTÍFICO DOS PÓS-GRADUANDOS NO CENA**, 10., 2017, Piracicaba. Anais... Piracicaba: CENA/USP, 2017.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. Microbiologia e bioquímica do solo. 2. ed. Lavras: **Editora UFLA**, 2006.

MUNDSTOCK, C. M.; THOMAS, A. L. Soja: fatores que afetam o crescimento e o rendimento de grãos. Porto Alegre: **Departamento de Plantas de Lavoura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul**: Evangraf, 2005.

PAIVA, A. P. L. *et al.* *Azospirillum* brasileiro para mitigação do estresse hídrico submetido a diferentes doses de nitrogênio. Sete Lagoas: **Embrapa Milho e Sorgo**, 2021.

PROCÓPIO, S. O. *et al.* Desempenho agrônômico de cultivares de soja em diferentes arranjos espaciais de plantas. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 8, n. 3, p. 396-401, 2013.

QIN, P.; WANG, T.; LUO, Y. A review on plant-based proteins from soybean: Health benefits and soy product development. **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 7, p. 100265, 2022.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. Vienna: **R Foundation for Statistical Computing**, 2020. Disponível em: <https://www.r-project.org/>

- RIBEIRO, L. D. da S. M. *et al.* Inoculação e coinoculação da soja com *Bradyrhizobium japonicum*, *Azospirillum brasilense* e microrganismos eficazes. **Revista Mirante** (ISSN 1981-4089), v. 13, n. 1, p. 66-80, 2020.
- SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. Á. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAÚJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018.
- SEDIYAMA, T. Tecnologia de produção de soja. Londrina: **Mecenas**, 2013.
- SEIXAS, C. D. G. *et al.* (Ed.). Tecnologias de Produção de Soja. Londrina: **Embrapa Soja**, 2020. Sistemas de Produção, 17.
- SEMEALI. Portfólio de Cultivares de Soja. **Semeali Sementes**, 2024. Disponível em: <https://semeali.com.br>. Acesso em: 17 mar. 2026.
- SHORESH, M.; HARMAN, G. E.; MASTOURI, F. Induced systemic resistance and plant responses to fungal biocontrol agents. **Annual Review of Phytopathology**, v. 48, p. 21-43, 2010.
- SILVA, F. F. da *et al.* Emergência e análise ultraestrutural de plântulas de soja inoculadas com *Sclerotinia sclerotiorum* sob efeito da aplicação de *Trichoderma harzianum*. **Summa Phytopathologica**, v. 43, n. 1, p. 41-45, 2017.
- SNYDER, Richard. Estratégias De Manejo De Déficit Hídrico Na Irrigação Da Cultura Da Soja. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 10, n. 3, p. 305-315, 2016.
- SOMASEGARAN, P.; HOBEN, H. J. Handbook for rhizobia: methods in legume-Rhizobium technology. **New York: Springer-Verlag**, 1994.
- SOUZA SALES, G. O. de *et al.* Microbiolização de sementes de soja com *Trichoderma harzianum*: qualidade fisiológica e sanitária. **Nativa**, v. 11, n. 2, p. 201-207, 2023.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. *Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal*. 6. ed. **Porto Alegre: Artmed**, 2017.
- VAN GENUCHTEN, M. T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, n. 5, p. 892–898, 1980.
- VELOSO, C. *Bacillus aryabhattai*: conheça este microrganismo e seus benefícios para a agricultura. **Verde Blog**, [s. d.], 2022.
- ZAKIR, M. M.; FREITAS, I. R. Benefícios à saúde humana do consumo de isoflavonas presentes em produtos derivados da soja. **Journal of Bioenergy and Food Science**, Macapá, v. 8, n. 1, p. 1-15, 2021.
- ZANON, A. J. *et al.* *Ecofisiologia da soja: visando altas produtividades*. **Santa Maria**: [s. n.], 2018.

ZUFFO, A. M. *et al.* Co-inoculação de *Bradyrhizobium japonicum* e *Azospirillum brasilense* na cultura da soja visando a mitigação de estresse hídrico. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 28, n. 4, p. 19-28, 2015.