

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

Luiz Augusto Cuvabara Senedes

**Estratégias de coinoculação com bactérias promotoras de
crescimento de plantas associado ao manejo da irrigação
do milho em solos arenoso**

Dracena

2025

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

Luiz Augusto Cuvabara Senedes

**Estratégias de coinoculação com bactérias promotoras de
crescimento de plantas associado ao manejo da irrigação
do milho em solos arenoso**

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

Orientador: Prof. Dr. Fernando Shintate Galindo

Coorientador: Prof. Dr. Ronaldo Cintra Lima

Dracena

2025



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: Estratégias de coinoculação com bactérias promotoras de crescimento de plantas associado ao manejo da irrigação do milho em solos arenoso

Modalidade: Trabalho de Atividade de pesquisa

Autor: Luiz Augusto Cuvabara Senedes

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

Número de Créditos: 12

Data da aprovação e correção de acordo com as sugestões da Banca: 04/06/2025

Documento assinado digitalmente
gov.br FERNANDO SHINTATE GALINDO
Data: 12/06/2025 14:44:50-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Documento assinado digitalmente
gov.br VAGNER DO NASCIMENTO
Data: 16/06/2025 09:18:38-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Documento assinado digitalmente
gov.br GELCI CARLOS LUPATINI
Data: 12/06/2025 20:25:54-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Fernando Shintate Galindo

Vagner do Nascimento

Gelci Carlos Lupatini

DEDICATÓRIA

Ao meu pai Hercules Senedes, minha mãe Vanessa Akemi Lagos Cuvabara, e a minha avó Dirce Marsom que sempre entenderam a necessidade das atividades na faculdade e me apoiaram da melhor forma possível, sendo de grande importância para a conclusão dessa etapa em minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradecer a Deus, primeiramente, sem ele nada seria possível, sempre esteve presente comigo nos momentos bons e ruins, nunca me deixou desamparado, sempre me mostrando o lado bom de coisas ruins que aconteciam, me fornecendo forças para continuar pelo caminho Dele e não me deixando desistir do proposito que Ele tem para mim.

Agradecer ao meu pai, o homem que me espelho, que me ensinou como encarar os desafios da vida, os desafios de trabalhar no campo, cuidando da plantação, agradeço por entender e me incentivar nas atividades dos grupos de estudo e por entender que as vezes não pode ajudá-lo, pois havia prova para estudar ou atividade de campo para serem realizadas no dia. Agradeço a minha mãe por sempre me escutar e me aconselhar da melhor forma possível, mostrando as diferentes formas de enxergar as coisas que acontecem a nosso redor e aprendendo com elas, agradeço ao meu irmão Pedro Henrique Cuvabara Senedes, por sempre me apoiar e incentivar a seguir estudando.

Agradeço a minha namorada, Ana Clara, pelo amparo e sempre me incentivar a não desistir e continuar seguindo em frente, sempre pensando que vai dar certo, pois Deus está conosco.

Agradeço aos professores que fizeram parte da minha formação acadêmica por compartilhar os seus conhecimentos comigo e com o restante da turma, em especial aos professores Prof. Dr. Fernando Shintate Galindo e Prof. Dr. Ronaldo Cintra Lima, os quais me orientaram ao longo do curso, agradeço pela confiança que depositam em mim e pela paciência que tiveram comigo, pelos ensinamentos tanto acadêmicos como pessoais e profissionais, agradeço pelos conselhos, puxões de orelhas, pelos bons e maus momentos que passamos juntos, os senhores me auxiliaram bastante para que eu concluísse esse sonho.

Ao Grupo de ensino, Pesquisa e Extensão em Sistemas Agrícolas Sustentáveis – GEPESAS, e ao Grupo de Estudos em Irrigação e Agrometeorologia – GEIA, os quais eu obtive contato com a pesquisa desde o primeiro semestre do curso, sei que ambos me auxiliaram a melhorar como pessoa e como profissional.

“Consagre ao SENHOR tudo o que faz,
e os seus planos serão bem-sucedidos”
(Provérbios 16:3).

RESUMO

O milho é uma das principais culturas agrícolas do Brasil, com ampla utilização na alimentação humana e animal. Para o seu cultivo, técnicas como o manejo da irrigação, que garantem a umidade adequada no solo durante os diferentes estádios da cultura, e o uso de bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCPs), principalmente em condições tropicais, podem favorecer o crescimento das plantas, o qual é um fator fundamental para melhorar o desempenho e a produtividade da cultura, além de estimular o desenvolvimento das raízes, com incremento na FBN e eficiência do uso dos fertilizantes. Baseado no exposto, acredita-se que a inoculação com BPCPs, como, *Azospirillum brasilense*, *Bacillus aryabhattai*, e mais recentemente *Methylobacterium symbioticum*, podem favorecer aspectos fisiológicos e nutricionais da planta, consequentemente a produtividade de grãos. O objetivo do trabalho foi avaliar o efeito de inoculações com bactérias promotoras de crescimento de plantas na cultura do milho, em cultivo irrigado ou de sequeiro. A pesquisa foi desenvolvida no município de Dracena - SP, em um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico típico de textura arenosa, na safra 2024/2025. O experimento foi disposto em esquema fatorial 8 x 2, com quatro repetições, sendo 8 inoculações: 1) controle – sem inoculação; 2) inoculação com *A. brasilense*; 3) inoculação com *B. aryabhattai*; 4) inoculação com *M. symbioticum*; 5) *A. brasilense* + *B. aryabhattai*; 6) *A. brasilense* + *M. symbioticum*; 7) *B. aryabhattai* + *M. symbioticum*; 8) *A. brasilense* + *B. aryabhattai* + *M. symbioticum*, com e sem manejo de irrigação (baseado no método da evapotranspiração de referência - ET_o). Todos os tratamentos foram aplicados nas sementes (inoculação nas sementes), exceto a inoculação com *M. symbioticum* que foi realizada via pulverização foliar no estágio V4 (quatro folhas completamente desenvolvidas). O índice de clorofila foliar (ICF), a massa seca em parte aérea e raízes no início do florescimento (R1) e massa seca de parte aérea, componentes de produção e produtividade de grãos no final do ciclo (R6) foram avaliados. Observou-se que os tratamentos com *A. brasilense* e *A. brasilense* + *B. aryabhattai* resultaram em maiores valores de ICF, massa seca de parte aérea (MSPA) e massa seca de raiz (MSRAIZ) no início do florescimento (R1). Em ocasião de colheita, os tratamentos *A. brasilense*, *A. brasilense* + *B. aryabhattai* e *A. brasilense* + *M. symbioticum* proporcionaram maiores valores de diâmetro do colmo, número de grãos por fileira, massa seca de palhada, produtividade, massa de 100 grãos e produtividade de grãos. Como esperado, o manejo de irrigação beneficiou o crescimento e produtividade do milho. Dessa forma, conclui-se que a utilização da inoculação com BPCPs, notadamente com *A. brasilense*, *A. brasilense* + *B. aryabhattai* e *A. brasilense* + *M. symbioticum* apresenta-se como ferramenta ao manejo sustentável à cultura do milho.

Palavras-chave: *Zea mays* L., bactérias promotoras de crescimento em plantas de milho, inoculação na agricultura tropical, manejo da água na cultura do milho.

ABSTRACT

Corn is one of the main agricultural crops in Brazil, with wide use in both human and animal nutrition. For its cultivation, techniques such as irrigation management—which ensures adequate soil moisture during the different growth stages—and the use of plant growth-promoting bacteria (PGPB), especially under tropical conditions, can favor plant growth, a key factor in improving crop performance and productivity. These techniques also stimulate root development, increasing biological nitrogen fixation (BNF) and fertilizer use efficiency. Based on the above, it is believed that inoculation with PGPB such as *Azospirillum brasilense*, *Bacillus aryabhattai*, and more recently *Methylobacterium symbioticum*, can favor physiological and nutritional aspects of the plant, and consequently, grain yield. The objective of this study was to evaluate the effect of inoculations with plant growth-promoting bacteria on corn under irrigated and rainfed conditions. The research was carried out in the municipality of Dracena - SP, in a typical dystrophic Red-Yellow Latosol with sandy texture, during the 2024/2025 growing season. The experiment followed an 8 x 2 factorial design with four replications, consisting of 8 inoculation treatments: 1) control – no inoculation; 2) inoculation with *A. brasilense*; 3) inoculation with *B. aryabhattai*; 4) inoculation with *M. symbioticum*; 5) *A. brasilense* + *B. aryabhattai*; 6) *A. brasilense* + *M. symbioticum*; 7) *B. aryabhattai* + *M. symbioticum*; 8) *A. brasilense* + *B. aryabhattai* + *M. symbioticum*, with and without irrigation management (based on the reference evapotranspiration method - ETo). All treatments were applied to the seeds (seed inoculation), except for *M. symbioticum*, which was applied via foliar spray at the V4 stage (four fully developed leaves). The leaf chlorophyll index (LCI), shoot and root dry mass at the beginning of flowering (R1), and shoot dry mass, yield components, and grain productivity at the end of the cycle (R6) were evaluated. Treatments with *A. brasilense* and *A. brasilense* + *B. aryabhattai* showed higher LCI, shoot dry mass (SDM), and root dry mass (RDM) at the beginning of flowering (R1). At harvest, treatments with *A. brasilense*, *A. brasilense* + *B. aryabhattai* and *A. brasilense* + *M. symbioticum* resulted in higher stem diameter, number of grains per row, straw dry mass, yield, 100-grain weight, and grain productivity. As expected, irrigation management benefited corn growth and productivity. Therefore, it is concluded that inoculation with PGPB, notably *A. brasilense*, *A. brasilense* + *B. aryabhattai* and *A. brasilense* + *M. symbioticum*, presents itself as a tool for sustainable corn management.

Keywords: *Zea mays* L., plant growth promoting bacteria in corn crop, inoculation on tropical agriculture, water management on corn crop.

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 de Dracena - SP) em evidência..... 24
- Figura 2** – Temperaturas mínima (Tmin) e máxima (Tmax), evapotranspiração (ETo PN-M) e chuva ao longo da safra de pesquisa 2024/25. Dracena, SP.....26
- Figura 3** - Foto da condução do experimento..... 30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Atributos químicos do solo nas camadas 0-0,20 antes do início do experimento.....25

Tabela 2 - Potencial matricial versus umidade gravimétrica e densidade do solo da área experimental para as diferentes camadas, Dracena, SP, Brasil, 2023.....29

Tabela 3 - Índice de clorofila foliar (ICF), massa seca de parte aérea (MSPA) e raiz (MSRAIZ) em ocasião de florescimento (R1) do milho em função de inoculações com bactérias promotoras de crescimento de plantas e manejo de irrigação. Dracena, SP. 2024/25.....33

Tabela 4 - Altura de plantas (ALT), diâmetro do colmo (DIAMCOL), número de fileiras (NFIL), grãos por fileiras (GRFIL) em ocasião de colheita (R6) em função de inoculações com bactérias promotoras de crescimento de plantas e manejo de irrigação. Dracena, SP. 2024/25.....35

Tabela 5 - Número de grãos por espiga (GRESPE), massa seca de palhada (MSPALHA), massa de 100 grãos (CEMGR) e produtividade de grãos de milho (PROD), em ocasião de colheita (R6) em função de inoculações com bactérias promotoras de crescimento de plantas e manejo de irrigação. Dracena, SP. 2024/25.....36

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVOS	16
2.1 Objetivo Geral.....	16
2.1 Objetivos Específicos.....	16
3 REVISÃO DE LITERATURA	16
3.1 Importância do milho para o agronegócio brasileiro	16
3.2 A cultura do milho	17
3.3 Utilização de bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCPs)	19
3.4 Manejo de irrigação na cultura do milho	21
3.5 Cultivo em solo arenoso	22
4 MATERIAL E MÉTODOS	23
4.1 Caracterização da área experimental	23
4.2 Delineamento experimental e tratamentos	26
4.4 Manejo e tratos culturais.....	29
4.5 Avaliações realizadas	30
4.5.1 Análises no início do florescimento	30
4.5.2 Em ocasião de colheita	31
4.6 Análise estatística.....	32
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	32
6 CONCLUSÕES	41
7 REFERÊNCIAS.....	42

1 INTRODUÇÃO

O Milho (*Zea mays* L.) é uma espécie pertencente à família das Poaceae, originada na América do norte, que apresenta um importante papel na agricultura mundial, pois é um dos cereais mais produzido no mundo por causa da sua adaptabilidade às diferentes condições ambientais, pelo seu valor nutricional e pela capacidade de gerar renda ao produtor, visto que sua produção é destinada para alimentação humana e também para alimentação animal, principalmente na formulação de rações (Silva *et al.*, 2020).

No cenário brasileiro, a produtividade média (5.933 kg ha⁻¹), é considerada relativamente baixa, em relação ao cenário agrícola americano com uma alta produtividade (10.840 kg ha⁻¹ USDA) e o europeu (8.399 kg ha⁻¹) (Eurostat, 2020; United States Department of Agriculture, 2020; CONAB, 2025), mesmo com os avanços tecnológicos com relação a equipamentos agrícolas, nutrição de plantas, biotecnologia e a manejo do solo. Essa baixa produtividade brasileira na cultura do milho, em geral tem relação com o solo de baixa fertilidade e baixo nível de matéria orgânica em conjunto com condições de estresses abióticos, como por exemplos, déficit hídrico e elevadas temperaturas, em períodos críticos da cultura ao longo do ciclo (Galindo *et al.*, 2022a).

Diante as mudanças climáticas e do crescente aumento populacional, torna-se essencial desenvolver uma agricultura sustentável, de baixo carbono, resiliente e regenerativa. Ampliar práticas conservacionistas é fundamental para garantir a preservação da vida e do planeta. Nesse contexto, o Brasil apresenta um potencial de assumir cada vez mais um papel central como protagonista na produção sustentável de alimentos. Com esse cenário agrícola, estratégias para reduzir impactos ambientais, garantindo elevadas produtividades de grãos em conjunto com a alta qualidade do alimento, ganham destaques, como é o exemplo do uso de bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCPs (Galindo *et al.*, 2022a) e um manejo racional e eficiente de irrigação.

Um dos grandes desafios da agricultura irrigada é produzir alimentos de forma a garantir a segurança alimentar, utilizando a água de forma eficiente e racional. O manejo de irrigação tem como intuito eliminar a deficiência hídrica de forma total ou parcial da cultura e conseqüentemente elevar a produtividade, fornecendo

rendimentos estáveis na lavoura, com uma melhor utilização da área cultivada, garantindo segurança alimentar (Angelakis *et al.*, 2020). Dessa forma, o manejo hídrico visa possibilitar ao produtor o cultivo do milho com menores riscos agroclimáticos (Silva *et al.*, 2018). A cultura do milho possui uma alta demanda hídrica, sendo uma das mais eficientes no uso da água, possuindo uma alta relação de produção matéria seca por unidade de água absorvida pela planta. No entanto, a cultura é fortemente impactada pela deficiência hídrica decorrente das variações climáticas, comprometendo sua produtividade, principalmente em estádios próximos ao florescimento da cultura e início de enchimento de grãos. Estima-se que para atingir uma boa produtividade se faz necessário suprir o consumo hídrico da cultura com 500 a 800 mm de água, a depender das condições edafoclimáticas (Silva *et al.*, 2012).

Outra alternativa para promover o manejo sustentável na cultura do milho é a utilização de bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCPs), que são microrganismos de vida livre, residentes epifíticas ou endofíticas não patogênicas, que atuam diretamente promovendo o crescimento ou indiretamente como agente de controle de doenças de plantas (Mariano *et al.*, 2004). Esses microrganismos também podem elevar a eficiência na fixação de nitrogênio (N) e da adubação mineral, aumentar a síntese de aminoácidos e proteínas, além de ajustar o processo de crescimento e desenvolvimento fisiológico da cultura frente à estresses abióticos, por exemplo, elevadas temperaturas, déficit hídricos, solos com baixo nível nutricional, que são condições comuns em regiões tropicais (Natarajan *et al.*, 2013; Koester *et al.*, 2014; Zhang *et al.*, 2018).

Diante dos desafios de manejo na cultura do milho, especialmente frente às adversidades climáticas e limitações quanto à fertilidade e textura do solo, torna-se fundamental a adoção de estratégias que promovem uma agricultura mais eficiente e sustentável. Nesse contexto, o uso de bactérias promotoras de crescimento de plantas em conjunto com o manejo racional da irrigação se destaca como possíveis alternativas promissoras para o aumentar a produtividade, melhorar a eficiência no uso de recursos naturais e garantir a sustentabilidade agrícola.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Objetivou-se avaliar, em condições de campo, o efeito de inoculações com BPCPs (*A. brasilense*, *B. aryabhattai* e *M. symbioticum* – isoladas ou em conjunto) no crescimento e produtividade do milho, visando otimizar o manejo sustentável da cultura por meio de insumos biológicos, associado ao manejo hídrico.

2.1 Objetivos Específicos

- Avaliar os sinergismos dos microrganismos na promoção do crescimento e desenvolvimento da planta de milho;
- Avaliar se as inoculações desses microrganismos podem resultar em aumento no crescimento vegetal;
- Analisar o comportamento desses microrganismos em plantas de milho em sistema de produção sequeiro e irrigado, manejado via evapotranspiração de referência.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Importância do milho para o agronegócio brasileiro

O milho (*Zea mays* L.) vem apresentando um papel muito importante para o agronegócio brasileiro, visto que nas duas primeiras décadas do século XXI, o Brasil se consolidou como o terceiro maior produtor mundial em seu cultivo ficando atrás apenas dos Estados Unidos e da China. Internamente, cerca de 70% da produção é consumida no mercado doméstico, sendo a maior parte (60%) destinada para a fabricação de ração animal e 10% para a produção de alimentos, sementes e produção industrial (United States Department of Agriculture, 2023).

O consumo de milho pelo setor de nutrição animal praticamente dobrou entre as safras de 2000/01 e 2021/2022, acompanhando a expansão da pecuária, especialmente a criação de aves, suínos e bovinos, visto que o milho apresenta alto valor energético, boa palatabilidade, facilidade no processamento, ampla disponibilidade e custo competitivo, fazendo com o consumo industrial do milho passasse de 4,1 para 14,5 milhões de tonelada entre as safras de 2000/01 e 2021/22 (Associação Brasileira das

Indústrias do Milho, 2022), além de ser possível a utilização do milho, como matéria prima na produção de uma infinidade de produtos, como por exemplo, bebidas, polímeros e por indústrias do ramo alimentício, têxtil, cosméticos entre outros (Miranda, 2018). Mas é para a produção de biocombustível (etanol) que vem apresentando crescimento, visto que a produção de etanol a partir do milho recebeu 234 toneladas do cereal na safra 2017/18, elevando esse número para 7,7 milhões de toneladas na safra 2020/21, com previsões de aumento (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, 2023).

Mesmo a produção brasileira de milho estando entre as três maiores do mundo, o Brasil não está entre as maiores produtividades, que é a produção colhida por unidade de área cultivada, embora apresente médias produtivas de milho crescentes de 1870 kg ha⁻¹ em 1990 para 3785 kg ha⁻¹ em 2007 e atualmente com uma produtividade de 5933 kg ha⁻¹ (CONAB, 2025). Esse aumento de produtividade é reflexo do crescente uso de tecnologias no cultivo do milho, como o desenvolvimento de híbridos de alta performance posicionados em épocas de plantio correspondente, manejo da correção da fertilidade do solo, sistema de plantio direto (Kappes, 2013), manejo racional e equilibrado da irrigação (Biancho *et al.*, 2022), além do uso de bactérias promotoras de crescimento de plantas (Galindo *et al.*, 2024), tais práticas agrícolas, reduzem os impactos ambientais.

3.2 A cultura do milho

O milho tem seu centro de origem no continente americano, especificamente no México (Vettorazi, 2016), sendo uma planta pertencente ao grupo das gramíneas anuais, uma monocotiledônea, a qual pertence à família Poaceae, apresentando uma fecundação cruzada e mecanismo de fotossíntese C4 (Gonçalves, 2013). Ao longo do seu ciclo de desenvolvimento, a planta é caracterizada fenologicamente em estádios, iniciando pelos estádios vegetativos, começando na germinação e emergência (VE), passando pelo estágio V4, o qual a planta apresenta a 4ª folha completamente expandida e em alta atividade fisiológica com desenvolvimento intenso do sistema radicular, até o pendoamento (VT) e em seguida inicia-se os estádios reprodutivos, o qual se inicia no estágio reprodutivo 1 (R1), que representa o florescimento, etapa que apresenta correlação entre o estado nutricional da planta e a fertilização de óvulos fertilizados após a polinização, e termina no estágio

reprodutivo 6 (R6) onde ocorre a colheita devido à maturidade fisiológica, pois há um pico máximo de acúmulo de peso seco e vigor, findando o acúmulo de massa seca nos grãos (Oliveira *et al.*, 2022; Magalhães; Durães, 2006). O cultivo do milho possui diversas utilizações na agricultura, sendo considerado uma cultura de importância estratégica. Pode ser cultivado como cultura principal, seja na safra de primavera/verão, usualmente entre outubro e março, aproveitando as melhores condições climáticas, ou na segunda safra (verão/outono), entre fevereiro e julho, sistema de produção predominante no Brasil, usualmente em sucessão à soja, otimizando o uso de áreas agrícolas no do hemisfério sul. Além disso, o milho apresenta excelente desempenho em sistemas de rotação de culturas, contribuindo para a melhoria da qualidade do solo, reduzindo a presença de pragas e doenças, e melhor aproveitamento de nutrientes, sobretudo quando alternado com leguminosas e outras espécies de interesse comercial, como o caso da soja (Embrapa, 2015).

Outra forma importante de inserção da cultura do milho é por meio de sistemas integrados de consórcio, especialmente com forrageiras, como a braquiária, em estratégias de integração lavoura-pecuária (ILP), promovendo a diversificação da produção e a sustentabilidade da área cultivada, e integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), contribuindo para o uso eficiente da terra, conservação ambiental e aumento da rentabilidade do produtor rural (Miranda *et al.*, 2021).

Alguns fatores podem apresentar influência no crescimento e desenvolvimento da cultura do milho, refletindo na produtividade ao final do ciclo, como exemplo fatores edafoclimáticos, a exemplo fotoperíodo, temperatura, amplitude térmica, fatores relacionados ao manejo agrícola como sistemas de produção e densidade e época de semeadura, manejo químico e biológico, o material genético do híbrido utilizado, além do manejo de água no solo, que é essencial para o desenvolvimento do milho, especialmente em estádios críticos como florescimento e enchimento de grãos, nos quais o estresse hídrico pode comprometer significativamente a produtividade (Fumagalli *et al.*, 2017; Magalhães; Durães, 2006). Quanto às exigências nutricionais da cultura do milho, elas aumentam proporcionalmente à elevação da produtividade, especialmente em relação aos nutrientes nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio, sendo esses os nutrientes mais demandados, com ênfase no nitrogênio, sendo o nutriente mais limitante para a produtividade do milho (Pereira Filho, 2015). Outro fator que apresenta relação direta com a produtividade do milho, são a incidência de pragas e doenças, os quais podem causar danos à planta de forma direta ou indireta,

afetando diferentes partes da planta, como folhas, colmos, espigas, pendão, sistema radicular e até mesmo a fase de plântulas do milho. Como exemplo de pragas do milho, podem ser citados as lagarta-do-cartucho, cigarrinha-do-milho, lagarta-da-espiga e sobre as doenças, temos como exemplo a antracnose, cercosporiose, enfezamento vermelho ou pálido e ferrugens (polissora ou comum) (Epagri, 2018).

Dessa maneira, a cultura do milho demanda um conjunto de práticas agrícolas que, quando aplicadas de forma eficiente, contribuem para o aumento da produtividade e a redução dos impactos ambientais, em prol de uma agricultura sustentável.

3.3 Utilização de bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCPs)

As BPCPs são microrganismos de vida livre, residentes epifíticos ou endofíticos, não patogênicos, que promovem o crescimento das plantas de forma direta ou atuam indiretamente como agentes de controle biológico de doenças (Mariano *et al.*, 2004). Utilizados em técnicas de inoculação e/ou coinoculação em plantas, esse manejo vem ganhando destaque na agricultura moderna, em função de ser uma tecnologia de baixo custo, fácil aplicação e que possibilita a redução de aplicação de insumos externo sem afetar ou aumentando a produtividade agrícola, reduzindo impactos ambientais, em conjunto com a boa qualidade do produto (Galindo *et al.*, 2022a), sendo consequência de uma melhor eficiência no processo fisiológico da planta, melhoraria no uso do carbono, fixação biológica de nitrogênio (FBN), produção e manutenção de aminoácidos e proteínas, além de ajustar os processos fisiológicos da planta frente a estresses bióticos e abióticos, que são condições frequentes das regiões tropicais, como por exemplo, elevadas temperaturas, ocorrência de veranicos, déficits hídricos e cultivo em solos de baixa fertilidade natural (Natarajan *et al.*, 2013; Koester *et al.*, 2014; Zhang *et al.*, 2018). Atualmente, os microrganismos do gênero *Azospirillum*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Herbaspirillum* e *Burkholderia*, se destacam em função de sua maior utilização e adoção.

Pesquisas recentes mostram que rizobactérias, como *Azospirillum brasilense*, podem influenciar a fisiologia das plantas, impactando diretamente a produção e a distribuição de biomassa em suas diferentes partes, com destaque para o sistema radicular (Araujo *et al.*, 2021). Alterações no desenvolvimento de raízes são relevantes porque afetam a capacidade de exploração do solo, resultando em uma maior

absorção de água e nutrientes, além de uma recuperação de nutrientes fornecidos pelos fertilizantes, melhorando assim a eficiência dos manejos nutricionais na cultura, favorecendo o crescimento e desenvolvimento vegetal. A bactéria *Bacillus aryabhatai*, é uma espécie de rizobactéria, a qual está relacionada ao aumento da resistência frente a estresses abióticos, com ênfase em déficit hídrico, controle biológico de doenças, disponibilização e a solubilização de nutriente, produção de fitormônio, como por exemplo ácido indolacético e potencial de contribuição na (Paredes-Páliz *et al.*, 2016; Singh *et al.*, 2016; Bhattacharyya *et al.*, 2017; Zhou *et al.*, 2017; Deng *et al.*, 2018). Já a BPCP *Metylobacterium symbioticum*, é gram- negativa, endofítica e fotossintética que tem a capacidade de penetrar em tecidos vegetais e se mover através do xilema para fixar N₂ (Jinal *et al.*, 2020), esse microrganismo se encontra em abundância na filosfera da folha, a qual atua com importante papel ao longo do desenvolvimento da planta (Palberg *et al.*, 2022), a FBN ocorre por meio do complexo enzimático da nitrogenase, ocorrendo a conversão de nitrogênio em amônio, reduzindo a dependência de nitrogênio de origem mineral, a *M. symbioticum* possui a capacidade de degradação de grupos metilos os quais compõem as pectinas, podendo assim retardar o processo de envelhecimento das células e estresse oxidativos, prolongando o período efetivo das células nas planta (Palberg *et al.*, 2022; Arrobas *et al.*, 2024; Torres Vera *et al.*, 2024). Visto os benefícios citados sobre a inoculação de BPCPs, a inoculação com *A. brasilense*, *B. aryabhatai* e *M. symbioticum* podem apresentar efeitos positivo, favorecendo o crescimento de diversas culturas, como exemplo o milho, elevando a produção de grãos, sendo consequência múltiplos mecanismos supramencionados.

Além da inoculação individual, pode-se realizar a coinoculação, que envolve o uso combinado de diferentes microrganismos. Essa combinação de mais de uma bactéria pode resultar em um efeito sinérgico beneficiando o desenvolvimento vegetal ao longo do ciclo da cultura (Bazzo *et al.*, 2020). Segundo Galindo *et al.* (2024), a bactérias do gênero *Azospirillum* combinada com bactérias do gênero *Bacillus* em sistema de produção de milho, melhoram a eficiência da adubação nitrogenada aplicada na cultura, apresentando um maior rendimento de grão por unidade de N aplicado, elevando a produtividade de grãos. Dessa forma, pode se supor que as BPCPs, como *A. brasilense*, *B. aryabhatai* e *M. symbioticum*, podem ser tornar alternativas sustentáveis na agricultura, promovendo o crescimento das plantas, a eficiência de uso de nutrientes e a maior tolerância a estresses abióticos. Nesse

contexto, a coinoculação com esses microrganismos pode potencializar os efeitos benéficos, contribuindo para o aumento da produtividade de grãos e a redução do uso de insumos químicos.

3.4 Manejo de irrigação na cultura do milho

Devido às adversidades climáticas que afetam a agricultura brasileira, especialmente a irregularidade, escassez de chuvas, e a ocorrência crescente de veranicos, o Brasil se destaca entre os dez países com maior área irrigada no mundo. Atualmente, o país possui cerca de sete milhões de hectares irrigados, com estimativas de expansão que podem alcançar aproximadamente dez milhões de hectares até 2030, representando um crescimento projetado de 47% (Wrachien *et al.*, 2021). Segundo Milken *et al.* (2023), com a agricultura irrigada é possível a realização do cultivo em períodos no qual ocorrem um menor índice de chuva, por vezes escasso, otimizando/permitindo a existência de cultivos nessas épocas de seca, gerando um melhor uso do solo e maior lucratividade ao produtor. No entanto, é importante a busca constante por tecnologias eficientes no uso racional da água para evitar desperdícios otimizando esse recurso natural, uma vez que com o aumento da área irrigada, ocorre um aumento em sua demanda e utilização. O manejo eficiente da irrigação consiste em distribuir a água de forma uniforme no solo, atingindo a profundidade adequada para garantir a disponibilidade hídrica necessária ao pleno desenvolvimento das plantas cultivadas (Ara *et al.*, 2021), como por exemplo, o manejo da irrigação via evapotranspiração de referência (ET_o), a qual representa a quantidade de água que seria consumida pela área foliar de uma planta padrão da cultura, sob condições climáticas ideais, sendo um parâmetro fundamental no dimensionamento e manejo da irrigação, pois serve de base para estimar a necessidade hídrica da cultura, levando em conta diferentes fatores como por exemplo, temperatura, radiação solar, umidade do ar e velocidade do vento. A ET_o é utilizada em sistemas de balanço hídrico e no cálculo da evapotranspiração da cultura (ET_c), por meio da multiplicação por um coeficiente específico da planta (K_c), refletindo assim o consumo real de água pela cultura ao longo do ciclo (Allen *et al.*, 1998), sendo de grande importância para o milho, visto que é uma cultura amplamente cultivada em regiões com regimes pluviométricos que variam entre 300 e 5.000 mm por ano, sendo que, ao longo do seu ciclo, uma lavoura de milho consome em média

cerca de 600 mm de água. A ocorrência de déficit hídrico, especialmente durante fases críticas do desenvolvimento, pode comprometer significativamente a produtividade. Estresses hídricos por apenas dois dias no período de florescimento podem resultar em perdas superiores a 20%, e períodos mais prolongados, de quatro a oito dias, podem reduzir a produtividade em mais de 50% (Magalhães; Durães, 2006). Os efeitos da escassez de água sobre a produção de grãos são particularmente relevantes em três fases fenológicas: a fase de indução floral e formação das inflorescências, o período de fecundação, que é crucial para a formação dos grãos; e a fase de enchimento, que ocorre a maior deposição de matéria seca. A disponibilidade hídrica influencia diretamente os processos fisiológicos da planta, como a fotossíntese, visto que o estresse hídrico reduz a difusão de CO₂ para os cloroplastos, limitando a atividade fotossintética, além de afetar o alongamento celular, prejudicando o crescimento e o desenvolvimento do milho de forma geral (Magalhães; Durães, 2006). Diante da importância da disponibilidade adequada de água à cultura do milho, é preciso que o manejo e uso desse importante recurso, seja realizado com técnicas eficientes e racionais.

3.5 Cultivo em solo arenoso

O cultivo em solos arenosos impõe desafios específicos devido às suas propriedades físicas, como a baixa retenção de água e nutrientes, além de uma estrutura solta. Compostos majoritariamente por partículas de grande diâmetro, esses solos apresentam alta permeabilidade à água e ao ar, porém, possuem limitada capacidade de armazenar umidade e fertilizantes, o que interfere diretamente no desenvolvimento das culturas (Santos *et al.*, 2018). Uma das principais implicações ao uso agrícola desses solos, é a perda acelerada de umidade, o que demanda irrigações mais frequentes, além da aplicação de nutrientes via fertilizantes devido à sua reduzida fertilidade natural e matéria orgânica, são mais propensos à erosão e à compactação, sobretudo em sistemas agrícolas intensivos (Cunha *et al.*, 2012).

Atualmente, a agricultura brasileira tem se expandido para áreas que apresentam solos arenosos, impulsionada pelos avanços nos sistemas de produção e por tecnologias agrícolas. No entanto, é fundamental que os sistemas produtivos sejam ajustados às características específicas de cada região, destacando-se, entre eles, o sistema de plantio direto (SPD) e os modelos integrados de produção (Donagemma

et al., 2016), além do manejo correto de corretivos e fertilizantes em solos com textura arenosa, em função da maior tendência de lixiviação de nutrientes quando comparados aos solos argilosos (Mendes *et al.*, 2015). Neste cenário, a irrigação eficiente torna-se fundamental, pois garante o suprimento hídrico contínuo, evitando perdas de produtividade por déficit hídrico, especialmente em estádios críticos da cultura, além do uso de outras ferramentas de manejo sustentável como a utilização de BPCPs, as quais tem mostrado resultados promissores no aumento da eficiência do uso de nutrientes e no estímulo ao desenvolvimento radicular, o que é especialmente relevante em solos com baixa fertilidade natural (Oliveira *et al.*, 2022). Quando atuam em conjunto, as bactérias promotoras de crescimento de plantas e o manejo da irrigação, podem contribuir para o melhor aproveitamento da água e dos fertilizantes aplicados, resultando em incremento da produtividade e maior sustentabilidade no sistema produtivo (Lal, 2003; Santos *et al.*, 2018).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização da área experimental

O estudo foi realizado em condições de campo, no município de Dracena - SP, em um argissolo Vermelho Amarelo distrófico típico de textura arenosa na safra 2024/25 (novembro à março) (Figura 1). A área experimental apresenta histórico de cultivo com cereais e leguminosas há mais de 5 anos, sendo a última sucessão com cultivo de feijão e mix de plantas de cobertura na segunda safra (aveia-preta, feijão-guandú e crotalária-spectabilis). A caracterização dos atributos químicos do solo foi realizada antes da implantação do experimento de acordo com Van Raij *et al.* (2001) e Embrapa (2017) (Tabela 1). Os dados das variáveis climáticas durante a condução do experimento foram obtidos por meio da Estação Meteorológica Automática da Marca Campbell Scientific, Modelo Datalogger CR10X, instalada no Campus da Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas (FCAT), pertencente à Universidade Estadual Paulista (UNESP), localizada a 300 m da área experimental, com as seguintes variáveis: temperatura média do ar ($^{\circ}\text{C}$), umidade relativa do ar (%), velocidade do vento (m s^{-1}) a 2 m do solo e radiação líquida total diária ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$) (Figura 2).

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



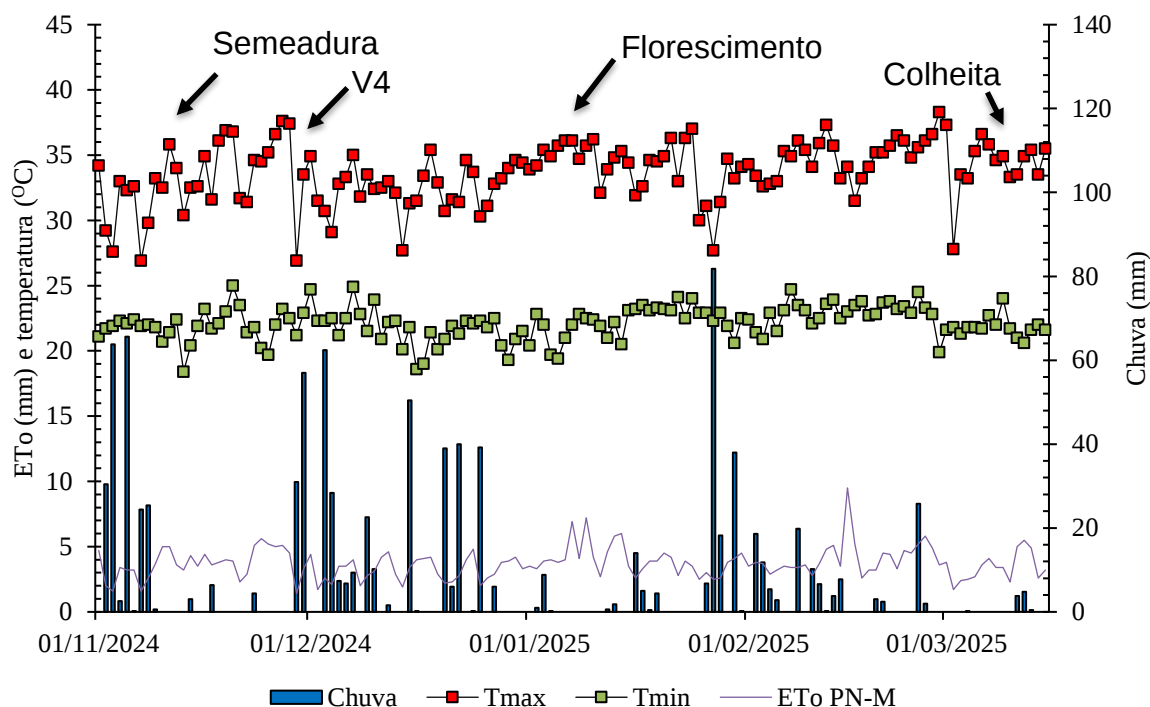
Fonte: Google Earth, 2025.

Tabela 1. Atributos químicos do solo na camada de 0-0,20m antes do início do experimento. Dracena, SP.

Atributos químicos do solo	Unidade	0-0,20m
P (resina)	mg dm ⁻³	34
S (SO ₄)	mg dm ⁻³	8
Matéria orgânica	g dm ⁻³	14
pH (CaCl ₂)		5,8
K (resina)	mmol _c dm ⁻³	2.3
Ca (resina)	mmol _c dm ⁻³	22
Mg (resina)	mmol _c dm ⁻³	9
H+Al	mmol _c dm ⁻³	11
Al	mmol _c dm ⁻³	0
B (água quente)	mg dm ⁻³	0,18
Cu (DTPA)	mg dm ⁻³	0.6
Fe (DTPA)	mg dm ⁻³	17
Mn (DTPA)	mg dm ⁻³	11.8
Zn (DTPA)	mg dm ⁻³	1.4
Capacidade de troca catiônica (pH 7.0)	mmol _c dm ⁻³	44.3
Saturação por bases	%	75

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 2. Temperaturas mínima (Tmin) e máxima (Tmax), evapotranspiração (ETo PN-M) e chuva ao longo da safra de pesquisa 2024/25. Dracena, SP.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi disposto em esquema fatorial 8×2 , com quatro repetições, contendo 8 inoculações: 1) controle – sem inoculação; 2) inoculação com *A. brasilense* (200 mL ha^{-1} do inoculante líquido Azototal contendo as estirpes Ab-V5 e Ab-V6 de *Azospirillum brasilense*, garantia de 2×10^8 unidade formadora de colônia – UFC mL^{-1}); 3) inoculação com *Bacillus aryabhattai* (200 mL ha^{-1} do inoculante líquido Auras contendo a cepa CMAA 1363 de *Bacillus aryabhattai* (garantia de 1×10^8 UFC mL^{-1}); 4) inoculação com *Metylobacterium symbioticum* (333 g ha^{-1} do inoculante turfoso Blue N contendo a estirpe SB2 de *Metylobacterium symbioticum* (garantia de 3×10^7 UFC g^{-1}); 5) *A. brasilense* + *B. aryabhattai*; 6) *A. brasilense* + *M. symbioticum*; 7) *B. aryabhattai* + *M. symbioticum*; 8) *A. brasilense* + *B. aryabhattai* + *M. symbioticum*; com e sem manejo de irrigação. Todos os tratamentos foram aplicados nas sementes exceto a inoculação com *M. symbioticum* que foi realizada via pulverização foliar (vazão de 150 L ha^{-1}), com pulverizador elétrico no

estádio V4 (quatro folhas completamente desenvolvidos), por se tratar de uma bactéria endofítica que coloniza a filosfera.

O sistema de irrigação utilizado foi por aspersão convencional com 80% de eficiência, equipado com aspersores da Marca Senniger, Modelo Aspensor 2009HS, Bocal nº 7 – Lima (2,78 mm), composto por duas linhas laterais de tubos de PVC de 2” de engate rápido tipo sela, espaçadas 12 metros, as linhas foram equipadas com três aspersores espaçados a cada 12 metros, cujo objetivo foi obter boa uniformidade de aplicação com taxa de aplicação de 3,35 mm h⁻¹ com pressão de serviço (PS) de 2,75 bar e turno de rega (TR) de 4 e 3 dias. Para aferição da uniformidade e intensidade da lâmina horária de irrigação foi utilizado o teste CUC, Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (Christiansen, 1942), realizado no dia 21 de novembro de 2024, conferindo a uniformidade de 80%.

O manejo da irrigação do milho foi realizado via atmosfera com base na estimativa da Evapotranspiração de Referência (ET_o), determinada pela equação de Penman-Monteith/FAO (Allen *et al.*, 1998) e corrigida pelo coeficiente de cultura (K_c) nas respectivas fases fenológica da cultura:

Equação de Penman-Monteith para estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o):

$$ET_o = \frac{0,408 s (R_n - G) + \frac{\gamma 900 U_2 (e_s - e_a)}{T + 273}}{s + \gamma (1 + 0,34 U_2)}$$

R_n = radiação líquida total diária (MJ m⁻² d⁻¹);

G = fluxo de calor no solo (MJ m⁻² d⁻¹);

γ = 0,063 kPa °C⁻¹ é a constante psicrométrica;

T = temperatura média do ar (°C);

U₂ = velocidade do vento a 2m (m s⁻¹);

e_s = pressão de saturação de vapor (kPa);

e_a = pressão parcial de vapor (kPa);

s = declividade da curva de pressão de vapor de acordo com a temperatura do ar, em kPa °C⁻¹.

Para obtenção da evapotranspiração da cultura do milho (ET_c), foi utilizada a seguinte equação:

$$ET_c = K_c \times ET_o$$

Lâmina líquida (mm) = $K_c \times ET_o$

Lâmina bruta (mm) = $(K_c \times ET_o) / \text{Eficiência}$

ET_c = evapotranspiração da cultura do milho (mm dia^{-1});

K_c = coeficiente da cultura do milho (conforme proposto por Doorenbos e Kassam, 1979);

ET_o = evapotranspiração da cultura de referência estimada (mm dia^{-1}) pela equação de Penman-Monteith/FAO (Allen *et al.*, 1998);

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

Para a determinação da capacidade de água disponível (CAD) da área experimental foram encaminhadas ao laboratório duas repetições de amostras de solo nas profundidades de 0,0 – 0,15 m e 0,16 – 0,30 m, a fim de determinar a curva de retenção de água, de posse dos dados do solo foram transformados em umidade volumétrica, segundo o modelo de Genuchten (1980) e conseqüentemente determinou-se a CAD. Os parâmetros desse modelo apresentam-se expressos na Tabela 2. Os valores de textura do solo da área experimental foram: areia de 822 e 788 gramas, silte de 73 e 71 gramas e argila de 105 e 140 gramas, para as camadas de 0,00-0,20 e 0,21-0,40 m, respectivamente.

O manejo da irrigação via atmosfera foi realizado conforme tratamento estabelecido, sempre que a capacidade de armazenamento de água disponível (CAD) atingir o nível crítico dado por uma fração de esgotamento de água no solo (f) da sua CAD, calculado por meio da expressão:

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

Em que:

CAD = capacidade de armazenamento disponível (mm) crítica ou lâmina de água armazenada no solo que será usada como suprimento para a cultura do milho (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 0,6, ou seja, significa que pode ser consumida até 60% da Capacidade de Água Disponível “CAD” no solo ou déficit hídrico tolerável, conforme Doorembos e Kassam (1979);

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

Tabela 2. Potencial matricial versus umidade gravimétrica e densidade do solo da área experimental para as diferentes camadas, Dracena, SP, Brasil, 2023.

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

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

4.4 Manejo e tratos culturais

O manejo da área experimental foi iniciado no dia 24 de setembro, com a roçada das plantas de cobertura. A dessecação inicial ocorreu em 10 de outubro, com as aplicações dos herbicidas glifosato (2,5 kg ha⁻¹) e 2,4-D (2,0 L ha⁻¹). Uma correção da dessecação foi realizada no dia 08/11, utilizando o herbicida diquat (2,0 L ha⁻¹), no mesmo dia da semeadura, em sistema aplique-plante. A cultivar utilizada foi FS575 PWU (Forseed), cultivada em espaçamento simples entrelinhas de 0,45 m, e população final de plantas em 66.667 plantas ha⁻¹ (3 sementes por m de sulco). A adubação de semeadura constou da aplicação de 350 kg ha⁻¹ do formulado 08-28-16, seguindo recomendação de Cantarella *et al.* (2022). A emergência ocorreu 4 dias após semeadura.

Dez dias pós semeadura (DAS), no dia 18/11, foi realizada a aplicação do inseticida Metomil (1 L ha⁻¹) + óleo vegetal (0,5%). Aos 17 DAS, no dia 25/11, a área experimental foi manejada com Atrazina (4,0 L ha⁻¹) em conjunto com glifosato (2,5 kg ha⁻¹) visando controle de plantas daninhas em pós-emergência. Aos 22 DAS, no dia 30/11, foi realizada a aplicação dos inseticidas clorfenapir (0,75 L ha⁻¹) e Imidacloprid (0,2 L ha⁻¹) + óleo vegetal (0,5%).

A adução nitrogenada de cobertura, foi aplicado 90 kg ha⁻¹ de N na forma de ureia (45 % de N) no dia 27/11, 19 DAS, no estágio V4. A última aplicação de inseticida

e fungicida foi realizada 40 DAS, em 18/12 com –os inseticidas Acetamiprido + Bifentrina ($0,3 \text{ kg ha}^{-1}$), e fungicidas Clorotalonil (2 L ha^{-1}) e Piraclostrobina + Epoiconazol ($0,6 \text{ L ha}^{-1}$) + óleo vegetal (0,5%).

Conforme mencionado anteriormente, o presente estudo avaliou sistemas irrigados e em sequeiro, sendo os tratamentos em sequeiro irrigados de maneira suplementar apenas logo após a semeadura (09/11), visando uniformidade na germinação e emergência e 65 DAS (12/01), em ocasião de início de enchimento de grãos (R2), momento de elevada demanda hídrica, e déficit hídrico acentuado. Cada irrigação suplementar foi realizada por meio de sistema de carretel enrolador, com lâmina de água média estimada em 30 mm.

Figura 3. Foto da condução do experimento.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.5 Avaliações realizadas

As avaliações realizadas foram divididas em dois estádios fenológicos da cultura: no início do florescimento feminino (R1) e em ocasião de colheita (R6) (Ritchie *et al.*, 1993). A coleta de amostras na fase de florescimento (estádio R1) foi realizada aos 58 DAS (05/01). A colheita, trilha e avaliações finais ocorreram aos 122 DAS (10/03).

4.5.1 Análises no início do florescimento

Índice de clorofila foliar (ICF): O ICF foi determinado no início do florescimento da cultura do milho (época da diagnose nutricional da cultura), de maneira indireta e não destrutiva, utilizando-se um clorofilômetro portátil (clorofiLOG CFL 1030; Falker Automação Agrícola Ltda, Porto Alegre, RS, BR). Foram realizadas dez leituras aleatórias na folha inserida abaixo da espiga principal (folha diagnose nutricional da cultura), de cada parcela experimental, seguindo recomendação de Cantarella *et al.* (2022).

Massa seca de parte aérea e raízes: A massa seca de parte aérea do milho foi considerada como toda parte aérea da planta (colmo, pendão, bainha e folhas), enquanto a massa seca de raízes foi considerada como toda raiz. Cinco plantas por parcela foram coletadas, com abertura de trincheiras de cerca de 0,50 m de profundidade para coleta de raízes, tomando-se o máximo cuidado para retirada de raízes sem quebras. Após a coleta, as amostras (separadamente, parte aérea e raízes) foram acondicionadas em sacos de papel. As amostras de raízes foram lavadas em água corrente e por fim imersas em água deionizada, e 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 °C até massa constante, posteriormente pesadas em balança analítica para obtenção da massa seca de parte aérea e raízes, com os dados extrapolados para kg ha⁻¹. As amostras de parte aérea e raízes, separadamente.

4.5.2 Em ocasião de colheita

Altura de plantas: Considerada como altura da base até o ápice do pendão, foram mensurados em dez plantas por parcela experimental;

Diâmetro do colmo: Obtida pela medição no segundo internódio inferior do colmo do milho, por meio de um paquímetro digital, foram avaliados em dez plantas por parcela experimental;

Número de espigas por metro: Obtida pela média da contagem manual do número de panículas em 1 metro de linha de milho cultivado, foram avaliadas as duas linhas por parcela experimental;

Massa de 100 grãos: Foi determinada em balança analítica de precisão (0,01 g), corrigida à 13% de umidade (bulbo úmido);

Massa seca de palhada: A massa seca de palhada foi considerada como toda parte aérea da planta (colmos e folhas ainda presos), retiradas as espigas, isto é, não

foi considerado como massa seca de parte aérea a massa das espigas, sabugo e grãos. Dessa forma, cinco plantas por parcela foram coletadas, e acondicionadas em estufa (65°C) com circulação de ar por 72 horas. Após esse período, o material vegetal foi pesado em balança de precisão e os dados extrapolados para kg ha⁻¹.

Produtividade de grãos: Foi determinada pela colheita das espigas plantas nas quatro linhas centrais da parcela. Após trilha mecânica, a produtividade de grãos de milho foi quantificada em balança de precisão e os dados extrapolados para kg ha⁻¹ corrigida à 13% de umidade (bulbo úmido).

4.6 Análise estatística

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 ($p \leq 0,05$), foram analisados por teste de médias (Scott-Knott para comparação das inoculações e Tukey para manejo de irrigação) utilizando-se o pacote ExpDes do software R (R Development Core Team, 2015)

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os tratamentos que constaram a inoculação isolada de *Azospirillum brasilense* e *Bacillus aryabhattai*, bem como a coinoculação entre Met + Azos, Met + Bac, Azos + Bac proporcionaram maiores índices de clorofila foliar, comparativamente ao tratamento controle, *Methylobacterium* isolado e a coinoculação entre Met + Bac + Azos (Tabela 3). A inoculação isolada de *Azospirillum brasilense* e coinoculação de *Azospirillum brasilense* e *Bacillus subtilis* proporcionaram maior massa seca de parte aérea e raiz (Tabela 3). De maneira similar para a massa seca de parte aérea a inoculação entre *Methylobacterium* e *Azospirillum* também proporcionou maiores valores de massa seca de parte aérea (Tabela 3). Com relação ao manejo da irrigação, a massa seca de parte aérea e massa seca de raiz foi superior nos tratamentos irrigados, não havendo diferença no índice de clorofila foliar (Tabela 3).

Tabela 3 - Índice de clorofila foliar (ICF), massa seca de parte aérea (MSPA) e raiz (MSRAIZ) em ocasião de florescimento (R1) do milho em função de inoculações com bactérias promotoras de crescimento de plantas e manejo de irrigação. Dracena, SP. 2024/25.

Inoculações	ICF	MSPA (kg ha ⁻¹)	MSRAIZ (kg ha ⁻¹)
Controle	49.0 b	5857 c	1033 c
Met	49.5 b	5990 c	1049 c
Azo	51.2 a	6436 a	1291 a
Bac	50.8 a	6201 b	1152 c
Met + Azo	50.5 a	6333 a	1203 b
Met + Bac	50.2 a	6191 b	1083 c
Azo + Bac	51.4 a	6484 a	1343 a
Met + Azo + Bac	49.1 b	5999 c	1118 c
Erro Padrão (5%)	0.39	66.7	35.6
Irrigação			
Sem	50.0 a	6109 b	1093 b
Com	50.4 a	6264 a	1226 a
D.M.S. (5%)	0.56	95.0	50.8
C.V.	5.23	6.05	8.71
Média Geral	50.2	6186	1159
Teste F – Valor P			
Inoculação (Ino)	0,001 ^{**}	0,001 ^{**}	0,001 ^{**}
Irrigação (Irri)	0,153 ^{ns}	0,002 ^{**}	0,001 ^{**}
Ino × Irri	0,751 ^{ns}	0,920 ^{ns}	0,825 ^{ns}

Controle = controle, sem inoculação; Met = inoculação com *Methylobacterium symbioticum* via foliar em V4; Azo = inoculação com *Azospirillum brasilense* nas sementes; Bac = inoculação com *Bacillus aryabhattai* 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 Tukey para o manejo de irrigação, respectivamente (P<0,05). Critérios para casa depois da vírgula: valores até 30 – 2 casas da vírgula; valores entre 30 e 100 – 1 casa da vírgula; valores acima de 100 – nenhuma casa da vírgula. **, * e ^{ns} = significativo à 1%, 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Em relação aos parâmetros morfológicos avaliados na colheita (R6), verificasse-se que os tratamentos com inoculação de *Azospirillum brasilense*, *Bacillus aryabhattai*, bem como as coinoculações Met + Azo, Met + Bac e Azo + Bac proporcionaram os maiores valores para o diâmetro do colmo (DIAMCOL), quando comparado aos tratamentos controle e a inoculação isolada de *Methylobacterium* e a coinoculação de Met + Azos + Bac (Tabela 4).

Com relação à altura de plantas e número de fileiras de grão não houve diferença significativa entre os tratamentos (Tabela 4). Já para grãos por fileiras, a inoculação de *Azospirillum brasilense*, bem como a coinoculação entre Met + Azos e Azos + Bac, apresentou melhores resultados quando comparados aos demais tratamentos (Tabela 4).

Quanto ao manejo de irrigação, o diâmetro do colmo e grão por fileira foram superiores nos tratamentos irrigados, não havendo diferença significativa para altura de plantas e número de fileira por espiga, entre irrigados e sequeiros (Tabela 4).

Tabela 4. Altura de plantas (ALT), diâmetro do colmo (DIAMCOL), número de fileiras (NFIL), grãos por fileiras (GRFIL) em ocasião de colheita (R6) em função de inoculações com bactérias promotoras de crescimento de plantas e manejo de irrigação. Dracena, SP. 2024/25.

Inoculações	ALT (m)	DIAMCOL (mm)	NFIL	GRFIL
Controle	2,52 a	26,25 b	16,91 a	40,8 c
Met	2,52 a	26,78 b	16,58 a	41,7 b
Azo	2,55 a	28,39 a	16,75 a	43,1 a
Bac	2,52 a	28,05 a	16,75 a	42,1 b
Met + Azo	2,53 a	28,03 a	16,41 a	42,8 a
Met + Bac	2,51 a	27,85 a	16,75 a	41,8 b
Azo + Bac	2,52 a	28,66 a	16,08 a	43,6 a
Met + Azo + Bac	2,51 a	26,16 b	16,41 a	40,9 c
Erro Padrão (5%)	0,05	0,38	0,18	0,34
Irrigação				
Sem	2,53 a	27,20 b	16,66 a	41,7 b
Com	2,52 a	27,85 a	16,50 a	42,5 a
D.M.S. (5%)	0,03	0,54	0,25	0,48
C.V.	2,25	3,96	3,08	4,31
Média Geral	2,52	27,52	16,58	42,1
Teste F – Valor <i>P</i>				
Inoculação (Ino)	0,425 ^{ns}	0,001 ^{**}	0,052 ^{ns}	0,001 ^{**}
Irrigação (Irri)	0,307 ^{ns}	0,021 [*]	0,199 ^{ns}	0,002 ^{**}
Ino × Irri	0,184 ^{ns}	0,942 ^{ns}	0,083 ^{ns}	0,865 ^{ns}

Controle = controle, sem inoculação; Met = inoculação com *Methylobacterium symbioticum* via foliar em V4; Azo = inoculação com *Azospirillum brasilense* nas sementes; Bac = inoculação com *Bacillus aryabhattai* 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 Tukey para o manejo de irrigação, respectivamente ($P < 0,05$). Critérios para casa depois da vírgula: valores até 30 – 2 casas da vírgula; valores entre 30 e 100 – 1 casa da vírgula; valores acima de 100 – nenhuma casa da vírgula.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A coinoculação de *Azospirillum brasilense* + *Bacillus aryabhattai* resultou nos melhores desempenhos para os parâmetros produtivos, destacando-se com os maiores valores de massa seca de palhada, massa de 100 grãos e produtividade de grãos, resultados semelhantes foram observados no tratamento com coinoculação de Met + Azos, diferenciando dos demais tratamentos (Tabela 5). Para a análise de grãos por espiga, não houve diferença significativa entre os tratamentos (Tabela 5).

Quanto ao manejo da irrigação, a massa seca de palhada, massa de cem grãos e produtividade, foram superiores nos tratamentos irrigados (Tabela 5). Para grãos por espigas não houve diferença significativa entre os tratamentos irrigados e sequeiros (Tabela 5).

Tabela 5. Número de grãos por espiga (GRESP), massa seca de palhada (MSPALHA), massa de 100 grãos (CEMGR) e produtividade de grãos de milho (PROD), em ocasião de colheita (R6) em função de inoculações com bactérias promotoras de crescimento de plantas e manejo de irrigação. Dracena, SP. 2024/25.

Inoculações	GRESP	MSPALHA (kg ha ⁻¹)	CEMGR (g)	PROD (kg ha ⁻¹)
Controle	690 a	6022 c	28,85 b	5709 b
Met	692 a	6140 c	29,46 b	5929 b
Azo	722 a	6545 a	30,4 a	6273 a
Bac	706 a	6315 b	29,76 b	6108 b
Met + Azo	702 a	6555 a	30,1 a	6289 a
Met + Bac	700 a	6272 b	29,83 b	6125 b
Azo + Bac	702 a	6635 a	30,9 a	6688 a
Met + Azo + Bac	671 a	6107 c	29,06 b	5900 b
Erro Padrão (5%)	9,08	50,01	0,30	174,81
Irrigação				
Sem	695 a	6243 b	29,51 b	5959 b
Com	701 a	6405 a	30,1 a	6297 a
D.M.S. (5%)	12,94	71,2	0,44	248
C.V.	5,68	6,24	5,94	9,07
Média Geral	698	6324	29,81	6128
Teste F – Valor P				
Inoculação (Ino)	0,053 ^{ns}	0,002 ^{**}	0,003 ^{**}	0,012 [*]
Irrigação (Irri)	0,346 ^{ns}	0,001 ^{**}	0,009 ^{**}	0,008 ^{**}
Ino × Irri	0,114 ^{ns}	0,741 ^{ns}	0,899 ^{ns}	0,921 ^{ns}

Controle = controle, sem inoculação; Met = inoculação com *Methylobacterium symbioticum* via foliar em V4; Azo = inoculação com *Azospirillum brasilense* nas sementes; Bac = inoculação com *Bacillus aryabhattai* 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 Tukey para o manejo de irrigação, respectivamente (P<0,05). Critérios para casa depois da vírgula: valores até 30 – 2 casas da vírgula; valores entre 30 e 100 – 1 casa da vírgula; valores acima de 100 – nenhuma casa da vírgula.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Conforme mencionado anteriormente, os tratamentos com inoculações isolada de *Azospirillum*, bem como as combinações de *Methylobacterium* + *Azospirillum* e *Azospirillum* + *Bacillus* foram os que mais proporcionaram aumento de produtividade de grãos (Tabela 5). Esse aumento produtivo se deu em função do aumento das variáveis que compõem o rendimento produtivo da cultura como número de grãos por espiga, massa de 100 grãos e massa seca de palhada (Tabela 5). Essas variáveis estão relacionadas diretamente com a capacidade fisiológica e produtiva da planta, resultando em maiores produtividades quando comparados ao tratamento controle, por exemplo, o tratamento com coinoculação de *Azospirillum* e *Bacillus*, resultou em um incremento produtivo de 979 kg ha⁻¹, representando 14,63% a mais de produtividade, em comparação ao tratamento controle. O seguido pelo tratamento com coinoculação de *Methylobacterium* e *Azospirillum* com um adicional de 580 kg ha⁻¹ representando ganho de 8,68%, e a inoculação isolada de *Azospirillum*, a qual obteve um incremento produtivo de 564 kg ha⁻¹, representando 8,44% a mais que o tratamento controle.

A média dos adicionais dos tratamentos com MPCPs em produtividade, resulta em 11,79 sacos por hectares, evidenciando a associação positiva entre os mecanismos de ação dos microrganismos sobre o desenvolvimento fisiológico da cultura e um aumento da eficiência no enchimento de grãos.

Porém, a coinoculação de *Azospirillum* + *Bacillus* + *Methylobacterium*, apresentou resultado semelhante ao tratamento controle, podendo ser um possível resultado de efeitos antagônicos entre os mecanismos de ação desses 3 microrganismos, e/ou uma possível competição.

Com relação ao manejo hídrico da cultura, os tratamentos irrigados, resultaram em uma produtividade adicional de 5,63 sacas de milho por hectares, ou seja, 338 kg ha⁻¹, representando 5,36% a mais que o tratamento sequeiro. Podendo ser consequência da maior disponibilidade hídrica nas fases mais críticas da cultura do milho, com envase no florescimento, durante esse período houve baixa precipitação e com elevada transpiração, o que implica em estresse hídrico em plantas dos tratamentos sequeiro (Figura 2). Déficit hídrico no ciclo da cultura pode comprometer o desenvolvimento do endosperma e o acúmulo de massa seca, reduzindo assim a massa de cem grãos e a produtividade dos tratamentos (Tabela 5).

Segundo pesquisa de Fukami *et al.* (2016), espécies como *Azospirillum* brasileiro atuam na síntese de fitohormônios, principalmente ácido indolacético (AIA),

que promove maior crescimento radicular, ampliando a capacidade de absorção de água e nutrientes o que pode retardar a ocorrência de estresse hídrico na planta, pois irá manter um potencial hídrico foliar por mais tempo, além de uma maior translocação de nutrientes para a parte superior da planta. Estudos recentes corroboram com os resultados obtidos pelos presentes tratamentos com a coinoculação de *Azospirillum* + *Bacillus*, visto que a bactérias *B. aryabhattai*, apresenta uma gama de benefícios como à disponibilização e solubilização de nutrientes, controle biológico (Park *et al.*, 2017), formando uma relação positiva com a planta promovendo uma resposta imune do sistema radicular para o aumento de espécies reativas de oxigênio, que por sua vez estimulam espécies sintetizadoras de AIA, impulsionando o crescimento da planta (Deng *et al.*, 2024). De maneira similar, os resultados positivos obtidos por Palberg *et al.* (2022), relata que as bactérias *Methylobacterium* desempenhar papéis importantes na promoção do crescimento das plantas. Por meio do complexo enzimático nitrogenase, *M. symbioticum* é capaz de converter N_2 em amônio ($N-NH_4^+$). Proporcionando uma fonte de N para as plantas hospedeiras oriundas da FBN (Torres Vera *et al.*, 2024), estimulando assim o crescimento vegetativo e maior produção de fotoassimilados, podendo refletir na produtividade.

Tais mecanismo foram especialmente vantajosos durante o florescimento, fase crítica da fenologia do milho, quando a demanda hídrica é elevada e déficits podem comprometer a definição do número de grãos por espiga. Na presente pesquisa, as maiores produtividades foram obtidas nos tratamentos que coincidiram com maior acúmulo de biomassa (MSPA) em R1, sugerindo que o vigor fisiológico inicial pode ter condicionado a maior eficiência reprodutiva e de enchimento de grãos. Segundo Hungria *et al.* (2010), os efeitos benéficos de MPCPs são mais evidentes em condições adversas, como a escassez de água, justificando os resultados positivos obtidos no estudo, principalmente com os tratamentos contendo *Azospirillum*.

Já os resultados dos tratamentos com coinoculação de *Azospirillum* + *Bacillus* + *Methylobacterium*, corroboram os resultados obtidos por Yuan *et al.* (2021), podendo ser consequência da competição por recurso e limitação da colonização, outro fator que pode ter interferido é a produção de metabólicos inibitórios, como sideróforos (Duan *et al.*, 2021), além de uma possível incompatibilidade metabólica, como como diferenças no pH ideal ou resposta à oxigenação, podendo comprometer o desempenho conjunto dos MPCPs na fisiologia das plantas (Yadav *et al.*, 2023).

Pesquisas também corroboram a hipótese de que a limitação hídrica diminui a

expansão foliar, pois o déficit hídrico pode induzir ao fechamento de estômatos, reduzindo a entrada de CO₂, consequentemente a redução de fotossíntese total da planta, minimizando a massa de parte aérea, além de um menor desenvolvimento radicular, promovendo menor massa de raiz (Taiz *et al.*, 2017). O estresse hídrico durante período de florescimento e com ênfase na fase de polinização, reduzem a produção da cultura, pois nesse período ocorre a definição do rendimento produtivo da planta, como o exemplo a número de grãos por fileira que é determinado duas semanas antes do pendoamento (Magalhães; Durães, 2006). Segundo Santos *et al.* (2020), a escassez hídrica interfere na emissão dos estigmas, o qual é um órgão responsável pelo sucesso da fecundação, além de um baixo sincronismo entre o florescimento masculino e o feminino, afetando assim a produtividade. Além de que a disponibilidade hídrica para a cultura no período de enchimento de grão pode afetar a atividade fotossintética e a alocação de fotoassimilados para a formação de grãos, especialmente em R2 (grão leitoso) e R5 (grão farináceo), interferindo na deposição de amido no grão, resultando em diminuição da massa dos grãos, reduzindo assim o rendimento produtivo (Taiz *et al.*, 2017).

Dessa forma, a presente pesquisa reforça a importância de estratégias de manejo que integrem o uso de bactérias promotoras de crescimento de plantas e a suplementação hídrica, principalmente em regiões tropicais de solo arenoso com distribuição irregular de chuvas. Novos estudos devem ser desenvolvidos, focando em respostas de coinoculação com diversas bactérias visando promover múltiplos benefícios, em resposta às condições irrigadas e de sequeiro, visando entender melhor os mecanismos de atuação das BPCPs em diferentes cenários de manejo.

6 CONCLUSÕES

A inoculação e coinoculação com bactérias promotoras de crescimento de plantas, especialmente com a coinoculação com *Azospirillum brasilense* e *Bacillus aryabhattai*, *Azospirillum brasilense* e *Metylobacterium symbioticum* e a inoculação isolada de *A. brasilense* promovem benefícios no desempenho fisiológico e produtivo do milho, em função do maior índice de clorofila foliar, acúmulo de biomassa, desenvolvimento radicular e enchimento de grãos, refletindo em maior produtividade de grãos.

Como esperado, o manejo de irrigação também se mostrou fator determinante para o aumento da produtividade, embora os efeitos das bactérias tenham sido consistentes mesmo em condição de sequeiro.

A combinação de inoculação e/ou coinoculação com manejo hídrico adequado configura-se como uma estratégia promissora para mitigar os efeitos do estresse hídrico e otimizar o cultivo do milho em ambientes tropicais de solos arenosos.

7 REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP. **Produção de etanol de milho no Brasil. 2023.** Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br>. Acesso em: 31 mar. 2025.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements.** Rome: FAO, 1998. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 56).

ARA, I.; MOHAMMAD, R. S.; YASIR, M.; NOOR, M. A.; ZUBAIR, M.; BAZAI, Z. A.; ZUBAIR, M.; BASHIR, S.; SHAHID, M.; KIM, H. U.; ALI, Q.; JAMIL, M.; HUSSAIN, T.; HASSAN, M. N.; RAZA, Application, adoption and opportunities for improving decision support systems in irrigated agriculture: a review. **Agricultural Water Management**, v. 257, 107161, 2021. Disponível em: [10.1016/j.agwat.2021.107161](https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107161). Acesso em: 1 abr. 2025.

ARAUJO, F. F.; OLIVEIRA, C. A.; BASTOS, L. L. S.; SILVA, A. S.; TAVARES, M. S. *Bacillus subtilis* changes the root architecture of soybean grown on nutrient-poor substrate. **Rhizosphere**, v. 18, p. 100348, 2021.

ARROBAS, M.; CORREIA, C. M.; RODRIGUES, M.Â. *Methylobacterium symbioticum* applied as a foliar inoculant was little effective in enhancing nitrogen fixation and lettuce dry matter yield. **Sustainability**, v. 16, p. 4512, 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DO MILHO – ABIMILHO. **Estatísticas do milho. 2022.** Disponível em: <https://www.abimilho.com.br/estatisticas>. Acesso em: 31 mar. 2025.

BAZZO, J. H. B.; SÁ, M. E.; ARF, O.; GABRIEL, A. P. C.; FERREIRA, J. P.; NASCENTE, A. S. Inoculação e coinoculação de *Azospirillum* e *Bradyrhizobium*, via sementes e em cobertura, na qualidade fisiológica de sementes de soja. **Revista Cultura Agrônômica**, Ilha Solteira, v. 29, n. 4, p. 426-436, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.32929/2446-8355.2020v29n4p426-436>. Acesso em: 06 abr. 2025.

BHATTACHARYYA, C.; BARIQUELO, A.; DESAI, D.; TANDON, H.; KUMAR, R.; GUPTA, S.; BORKAR, M.; TRIPATHI, P.; JHA. Genome-guided insights into the plant growth promotion capabilities of the physiologically versatile *Bacillus aryabhattai* strain AB211. **Frontiers in Microbiology**, v. 8, p. 411, 2017.

BIANCHO, L. E.; MOURA, M. R. L.; SANTOS, V. C.; CRUZ, D. A.; PONTES, L. F. D. Manejo da irrigação e da adubação nitrogenada em cultivo de milho safrinha. **UNIFUNEC Científica Multidisciplinar**, v. 11, n. 13, p. 1–15, 2022.

CANTARELLA H, ZAMBROSI F.C.B., QUAGGIO J.A., DUARTE A.P. Cereais. In: Cantarella H, Quaggio JA, Mattos Jr D, Boaretto RM, van Raij B. **Boletim 100: Recomendações técnicas de adubação e calagem para o estado de São Paulo.** 3. ed. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas. 2022. pp. 213-238. (Boletim Técnico 100).

CHRISTIANSEN, J. E. (1942). **Irrigation by Sprinkling**. University of California, Agricultural Experiment Station, Bulletin 670, 124 p.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos 2024/2025**. 4º. Levantamento. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>. Acesso em: 23 mai. 2025.

CUNHA, E. Q. E. Erosão hídrica em sistemas de cultivo de grãos em solos arenosos no noroeste do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 5, p. 1573–1584, 2012.

DENG, C.; ZHANG, W.; WANG, X.; CHEN, Y.; YANG, L.; MA, X. Mechanisms of ROS-mediated interactions between *Bacillus aryabhattai* LAD and maize roots to promote plant growth. **BMC Microbiology**, v. 24, n. 327, 2024. DOI: 10.1186/s12866-024-03479-y. Acesso em: 10 maio 2025.

DENG, C.; ZHANG, W.; MA, X.; CHEN, Y. The promotion of proper carbon nitrogen ratio in the synthesis of extracellular polysaccharide by nitrogen-fixing strains WN-F. **Biotechnology Bulletin**, v. 34, p. 194–199, 2018.

DONAGEMMA, G. K.; RIBEIRO, M. R.; SANTOS, H. G.; SHIMBO, A. Y.; OLIVEIRA, J. B. Caracterização, potencial agrícola e perspectivas de manejo de solos leves no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, p. 1003–1020, 2016.

DOORENBOS, J., & KASSAM, A. H. (1979). **Yield Response to Water**. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 33. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

DUAN, L.; HUANG, Y.; WANG, J.; ZHU, Y.; LI, X.; XU, G.; ZHOU, X.; LI, Y. Annulment of bacterial antagonism improves plant beneficial functions of a *Bacillus* consortium. **Frontiers in Microbiology**, v. 13, 9040612, 2022. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9040612>. Acesso em: 13 maio 2025.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2017. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Manual de métodos de análises de solos**. 3.ed. revista. Rio de Janeiro.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Rotação de culturas**. Brasília, DF: Embrapa, 2015. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/milho/producao/rotacao-de-culturas>. Acesso em: 02 abr. 2025.

EPAGRI. **Pragas e doenças do milho: diagnose, danos e estratégias de manejo**. Florianópolis: Epagri, 2018. Disponível em: <https://publicacoes.epagri.sc.gov.br/BT/article/view/430>. Acesso em: 1 abr. 2025.

EUROSTAT. **Agriculture, forestry and fishery statistics**. Luxemburgo: Publications Office of the European Union, 2024. Disponível em: <https://ec.europa.eu/eurostat>. Acesso em: 30 mar. 2025.

FERREIRA, A.; SANTOS, G. C.; LIMA, C. M.; REIS, V. M. Biofertilizantes microbianos: aspectos agronômicos. In: SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E.; REIS, V. M. dos (org.). **Fertilidade do solo e nutrição de plantas no Cerrado**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2022. cap. 15, p. 649–688.

FUMAGALLI, M.; SILVA, P. R. F.; SILVA, A. A.; ZANON, A. J. Desempenho produtivo do milho híbrido simples em função de espaçamentos entre fileiras e populações de plantas. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 16, n. 3, p. 426–439, 2017.

GALINDO, F. S.; SILVA, A. L.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; BASSO, C. J.; FERREIRA, J. P.; HENRIQUE, R. S.; ROSSI, F.; BISPO, R. B.; PAGLIARI, P. H. Co-inoculação microbiana em milho cultivado em campo: uma nova abordagem para otimizar a eficiência do uso de fertilizantes nitrogenados. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 217, 109261, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2024.109261>. Acesso em: 13 abr. 2025.

GALINDO, F. S.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; BASSO, C. J.; ROSSI, F.; PAGLIARI, P. H.; MENDONÇA, J. A.; FERREIRA, J. P.; HUNGRIA, M. Enhancing agronomic efficiency and maize grain yield with *Azospirillum brasilense* inoculation under Brazilian savannah conditions. **European Journal of Agronomy**, v. 134, p. 126471, 2022.

GALINDO, F. S.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; ROSSI, F.; FERREIRA, J. P.; BASSO, C. J.; PAGLIARI, P. H. Impact of nitrogen fertilizer sustainability on corn crop yield: the role of beneficial microbial inoculation interactions. **BMC Plant Biology**, v. 24, n. 268, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12870-024-04971-3>. Acesso em: 06 abr. 2025.

GENUCHTEN, M. Th. (1980). A Closed-form Equation for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils. **Soil Science Society of America Journal**, 44(5), 892–898.

GONÇALVES, G. M. B. **Desempenho agrônômico e adaptativo e divergência genética de populações de milho local derivadas de MPA1 em processo de melhoramento genético**. 2013. 48f. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; SOUSA, D. M. G.; ARAÚJO, R. S. I. Inoculation with selected strains of *Azospirillum brasilense* and *A. lipoferum* improves yields of maize and wheat in Brazil. **Plant and Soil**, v. 331, p. 413–425, 2010. DOI: [10.1007/s11104-009-0262-0](https://doi.org/10.1007/s11104-009-0262-0).

JINAL, H. N.; AMARESAN, N.; SANKARANARAYANAN, A. *Methylobacterium*. In: **Beneficial Microbes in Agro-Ecology**. Academic Press, 2020. p. 509–519.

KAPPES, CLAUDINEI. **Sistemas de cultivo de milho safrinha no Mato Grosso**. In: MILHO SAFRINHA 2013: avanços e perspectivas. Embrapa, 2013. Disponível em: <https://www.cpao.embrapa.br/cds/milhosafirinha2013/palestras/5CLAUDINEIKAPPES.pdf>. Acesso em: 31 mar. 2025.

KOESTER, R. P.; SKONECZKA, J. A.; MARRA, M.; DIERS, B. W.; AINSWORTH, E. A. Historical gains in soybean (*Glycine max* Merr.) seed yield are driven by linear

increases in light interception, energy conversion, and partitioning efficiencies. **Journal of Experimental Botany**, v. 65, p. 3311–3321, 2014.

LAL, R. Soil erosion and the global carbon budget. **Environment International**, v. 29, n. 4, p. 437- 450, 2003.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M. Fisiologia da produção. *In*: CRUZ, J. C. et al. (Org.). **A cultura do milho**. 1. ed. Sete Lagoas: EMBRAPA Milho e Sorgo, 2006. p. 159–191.

MARIANO, R. L. R.; SILVA, D. P.; NUNES, M. A. P. Importância de bactérias promotoras de crescimento e de biocontrole de doenças de plantas para uma agricultura sustentável. **Anais da Academia Pernambucana de Ciências Agrônômicas**, v. 1, p. 89–111, 2004.

MENDES, W. C.; LIMA, R. S. N.; SANTOS, G. R.; PEREIRA, R. C. Lixiviação de nitrato em função de lâminas de irrigação em solos argiloso e arenoso. **Irriga**, v. 1, n. 2, p. 47–56, 2015. DOI: 10.15809/irriga.2015v1n2p47. Disponível em: [10.15809/irriga.2015v1n2p47](https://doi.org/10.15809/irriga.2015v1n2p47). Acesso em: 1 abr. 2025.

MILKEN, Y. C.; OLIVEIRA, J. R.; NASCIMENTO, M. T.; ALMEIDA, L. A. **Seleção de cultivares de trigo como opção de terceira safra com irrigação**. *In*: INOVAGRI INTERNATIONAL MEETING, 8., CONIRD, 32., 2023, Fortaleza. Anais [...]. Fortaleza: Inovagri, 2023.

MIRANDA, R. A.; RODRIGUES, J. A. S.; REZENDE, M. C.; MOURA, C. D. S. **Sustentabilidade da cadeia produtiva do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2021. 27 p. (Documentos / Embrapa Milho e Sorgo, n. 261). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1132079/1/Doc-261.pdf>. Acesso em: 1 abr. 2025.

MIRANDA, R. A. Uma história de sucesso da civilização. **A Granja**, v. 74, n. 829, p. 24–27, jan. 2018.

NATARAJAN, S.; ZHANG, B.; WANG, Y.; XU, D.; RAMANJANEYA, H. Transgenic soybeans and soybean protein analysis: an overview. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 61, p. 1736–1743, 2013.

OLIVEIRA, A. A.; GODOY, L. J. G.; LIMA, L. G. C.; VILAR, C. C.; CAMPOS, D. D. Nitrogênio e formas de aplicação de *Azospirillum brasilense* em milho cultivado em solo arenoso. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 13, e56411335819, 2022. Disponível em: [10.33448/rsd-v11i13.35819](https://doi.org/10.33448/rsd-v11i13.35819). Acesso em: 01 abr. 2025.

PALBERG, D.; STRADER, D. A.; BERG, M.; KASPRZAK, T. A survey of *Methylobacterium* species and strains reveals widespread production and varying profiles of cytokinin phytohormones. **BMC Microbiology**, v. 22, p. 49, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12866-022-02454-9>. Acesso em: 9 mai. 2025.

PAREDES-PÁLIZ, K. I.; ARIAS, J. A.; FERNÁNDEZ, P. L.; GARCÍA, M. E. Bacterial inoculants for enhanced seed germination of *Spartina densiflora*: implications for restoration of metal polluted areas. **Marine Pollution Bulletin**, v. 110, p. 396–400, 2016.

PARK, Y. G.; MOON, B. J.; LEE, Y. S.; KIM, H. Y.; LEE, S. C. *Bacillus aryabhattai* SRB02 tolerates oxidative and nitrosative stress and promotes the growth of soybean by modulating the production of phytohormones. **PLoS One**, v. 12, e0173203, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0173203>. Acesso em: 7 maio 2025.

PEREIRA FILHO, I. A. **Cultivo de milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2015. 9 p. (Sistema de Produção, n. 9). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/486917>. Acesso em: 31 mar. 2025.

R Core Team. 2015. **R: a Language and Environment for Statistical Computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <https://www.r-project.org/>. Acesso em: 14 mar. 2025.

RITCHIE SW, HANWAY JJ, BENSON GO. 1993. **How a corn plant develops**. Ames: Iowa State University of Science and Technology. (Special Report, 48).

SANTOS, D. F. dos; OLIVEIRA, M. G. A.; FERNANDES, R. B. A.; COSTA, F. M.; ALVES, R. C. Deficiência hídrica em milho: impacto na produtividade e nas fases fenológicas. **Revista Agro@mbiente**, v. 14, n. 2, p. 1–10, 2020.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. S. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p.

SILVA, F. G.; ARAÚJO, J. R.; LIMA, R. C.; OLIVEIRA, L. P. Tensão de água no solo para o reinício da irrigação de milho verde no semiárido. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 17, n. 2, p. 190–200, 2018. Disponível em: <https://rbms.sede.embrapa.br/index.php/ojs/article/view/879>. Acesso em: 31 mar. 2025.

SILVA, L. E. B.; SANTOS, G. J.; RIBEIRO, J. M. M.; SOUZA, A. G. Desenvolvimento da cultura do milho (*Zea mays* L.): revisão de literatura. **Diversitas Journal**, v. 5, n. 3, p. 1636–1657, jul./set. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.17648/diversitas-journal-v5i3-869>. Acesso em: 31 mar. 2025.

SILVA, M. R. R.; SOUZA, A. P.; LOPES, E. L.; CAVALCANTE, A. C. R. Influência da irrigação e cobertura morta do solo sobre as características agrônômicas e produtividade de milho. **Irriga**, Ilha Solteira, v. 1, n. 1, p. 170–180, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.15809/irriga.2012v1n01p170>. Acesso em: 31 mar. 2025.

SILVA, S.; MELO, R. F.; BATISTA, A. T.; GUEDES, H. L.; PAIVA, J. A. Parâmetros produtivos do milho sob déficit hídrico em diferentes fases fenológicas no semiárido brasileiro. **Irriga**, Botucatu, ed. esp. Nordeste, v. 1, n. 1, p. 30–41, maio 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2021v1n1p30-41>.

SINGH, N.; GIRI, B. S.; SINGH, R. S.; PANDEY, P. K.; TRIPATHI, M.; GAUTAM, R. K. Arsenic mediated modifications in *Bacillus aryabhattai* and their biotechnological applications for arsenic bioremediation. **Chemosphere**, v. 164, p. 524–534, 2016.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

TORRES VERA, R.; HUAMAN, J.; RIVERA, M.; GUZMAN, F. A.; CHUMACERO, D.; LLANOS, F. Application and effectiveness of *Methylobacterium symbioticum* as a biological inoculant in maize and strawberry crops. **Folia Microbiologica**, v. 69, p. 121–131, 2024.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE – USDA. **Foreign Agricultural Service** – FAS.2023. Disponível em: <https://www.fas.usda.gov/>. Acesso em: 31 mar. 2025.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE – USDA. National agricultural statistics service. **Crop production**. Disponível em: <http://www.nass.usda.gov/Publications/index.php>. Acesso: 31 mar. 2025.

VAN RAIJ B, ANDRADE JC, CANTARELLA H, QUAGGIO JA. 2001. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas, Instituto Agrônomo, 285p.

VETTORAZI, J. C. F. **Seleção recorrente recíproca em milho (Zea Mays L.) monitorada por marcadores SSR–EST's associados a produtividade**. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas), Universidade Estadual do Norte Fluminense-UENF, 90p. 2016.

VIAPIANA, K. **Avaliação de híbridos de milho sob co-inoculação de Azospirillum spp. e Trichoderma spp.** 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, 2023.

WRACHIEN, D.; RAINE, S. R.; TOLEDO, J. C.; SILVA, F. T. Impacts of population growth and climate change on food production and irrigation and drainage needs: a world-wide view. **Irrigation and Drainage**, p. 1–15, 2021. Disponível em: <https://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/445>. Acesso em: 1 abr. 2025.

YADAV, A. N.; VERMA, P.; SHARMA, A.; PRASAD, R.; SANGWAN, P. Plant growth-promoting rhizobacteria and *Trichoderma* shift phyllosphere microbiota and disease resistance. **Global Life Research**, v. 5, n. 2, p. 142–155, 2023. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/glr2.12081>. Acesso em: 13 maio 2025.

YUAN, Z.; LI, H.; WANG, Q.; LIU, Z.; WU, F. Richness and antagonistic interactions co-affect plant growth promotion. **Applied Soil Ecology**, v. 168, 104151, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0929139321004236>. Acesso em: 13 maio 2025.

ZHANG, D.; LI, W.; LIU, Y.; ZHOU, Y.; WANG, D. Molecular characterization of magnesium chelatase in soybean [*Glycine max* (L.) Merr.]. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, p. 720, 2018.

ZHOU, X.; GUO, Y.; TIAN, X.; LI, L.; YANG, H.; LIU, X. Cultivable bacterial diversity of *Paris polyphylla* var. *chinensis* with 16S rRNA sequence analysis. **Chinese Traditional and Herbal Drugs**, v. 48, p. 3807–3814, 2017.