

**INSTITUTO FEDERAL GOIANO DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO  
CENTRO DE EXCELÊNCIA EM BIOINSUMOS  
COORDENAÇÃO DE CAPACITAÇÃO EM BIOINSUMOS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *lato sensu* EM BIOINSUMOS  
IF GOIANO CAMPUS RIO VERDE**

**EDDY DA SILVA**

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA E DA VIABILIDADE AGRONÔMICA DE  
BACILLUS VELEZENSIS, PRIESTIA MEGATERIUM E BACILLUS  
SUBTILIS NA CULTURA DA SOJA**

**RIO VERDE, GO  
2026**

**EDDY DA SILVA**

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA E DA VIABILIDADE AGRONÔMICA DE  
BACILLUS VELEZENSIS, PRIESTIA MEGATERIUM E BACILLUS SUBTILIS NA  
CULTURA DA SOJA**

Monografia apresentada à banca examinadora do curso do Programa de Pós-Graduação *lato senso* em Bioinsumos do Instituto Federal Goiano como exigência parcial para obtenção do título de Especialista em Bioinsumos.

Orientador: Prof. Dr. Antonio N. Zamunér Filho - UFCAT

**RIO VERDE, GO  
2026**

**Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do  
Programa de Geração Automática do Sistema Integrado de Bibliotecas do IF Goiano - SIBi**

D111 Da Silva, Eddy  
Avaliação da eficiência e da viabilidade agronômica de bactérias solubilizadoras de fósforo (*Bacillus velezensis*, *Bacillus megaterium* e *Bacillus subtilis*) na cultura da soja / Eddy Da Silva. Rio Verde 2026.

1f. il.


Orientador: Prof. Dr. Prof. Dr. Antonio N. Zamunér Filho.  
Monografia (Especialista) - Instituto Federal Goiano, curso de 0230426 - Especialização em Bioinsumos - Rio Verde (Campus Rio Verde).

I. Título.

**ANEXO V - ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO**


Aos 17 dias do mês de abril de dois mil e vinte e seis, às 09 horas, reuniu-se a Banca Examinadora composta por: Prof. Dr. Antonio Nilson Zamuner Filho (orientador), Prof. Dr. Edson L. Souchie (membro interno) e Profa. Dra. Jupyracyara Jandyra de Carvalho Barros (membro externo), para examinar o Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) intitulado **AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA E DA VIABILIDADE AGRONÔMICA DE BACILLUS VELEZENSIS, PRIESTIA MEGATERIUM E BACILLUS SUBTILIS NA CULTURA DA SOJA** de **EDDY SILVA**, estudante do PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO lato sensu EM BIOINSUMOS do IF Goiano – Campus Rio Verde, sob Matrícula nº 2024102304260008. A palavra foi concedida ao(à) estudante para a apresentação oral da monografia, em seguida houve arguição do candidato pelos membros da Banca Examinadora. Após tal etapa, a Banca Examinadora decidiu pela **APROVAÇÃO**, do estudante. Ao final da sessão pública de defesa foi lavrada a presente ata, que, após apresentação da versão corrigida da monografia, foi assinada pelos membros da Banca Examinadora.

Catalão, 17 de abril de 2026.

Documento assinado digitalmente  
 **ANTONIO NILSON ZAMUNER FILHO**  
Data: 17/04/2026 14:08:38 -0300  
Verifique em <https://validar.ifgo.br>


**Prof. Dr. Antonio Nilson Zamuner Filho**

**Orientador**

Documento assinado digitalmente  
 **EDSON LUIZ SOUCHIE**  
Data: 17/04/2026 10:41:53 -0300  
Verifique em <https://validar.ifgo.br>

**Prof. Dr. Edson L. Souchie**

**Membro da Banca Examinadora**

Documento assinado digitalmente  
 **JUPYRACYARA JANDYRA DE CARVALHO BARROS**  
Data: 17/04/2026 14:32:34 -0300  
Verifique em <https://validar.ifgo.br>

**Profa. Dra. Jupyracyara Jandyra de Carvalho Barros**

**Membro da Banca Examinadora**

# TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

## IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

- |   |   |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> Tese (doutorado)                       | <input type="checkbox"/> Artigo científico              |
| <input type="checkbox"/> Dissertação (mestrado)                 | <input type="checkbox"/> Capítulo de livro              |
| <input checked="" type="checkbox"/> Monografia (especialização) | <input type="checkbox"/> Livro                          |
| <input type="checkbox"/> TCC (graduação)                        | <input type="checkbox"/> Trabalho apresentado em evento |

Produto técnico e educacional - Tipo: \_\_\_\_\_

Nome completo do autor:

EDDY DA SILVA

Matrícula:

2024102304260008

Título do trabalho:

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA E DA VIABILIDADE AGRONÔMICA DE BACILLUS VELEZENSIS, PRIESTIA  
MEDICAMENTUM E BACILLUS VELEZENSIS NA CITECITIDA EIA SILVA

## RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial:  Não  Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 07 / 05 / 2026

O documento está sujeito a registro de patente?  Sim  Não

O documento pode vir a ser publicado como livro?  Sim  Não

## DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Documento assinado digitalmente  
**gov.br**  
EDDY DA SILVA  
Data: 06/05/2026 10:52:08-0300  
Verifique em <https://validar.ifgoiano.gov.br>

RIO VERDE, GO

Local

06 / 05 / 2026

Data

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:

Assinatura do(a) orientador(a)

Documento assinado digitalmente  
**gov.br**  
ANTONIO NELSON ZAMBER FILHO  
Data: 06/05/2026 10:52:08-0300  
Verifique em <https://validar.ifgoiano.gov.br>

**EDDY DA SILVA**

Monografia apresentada à banca examinadora do curso do Programa de Pós-Graduação *lato sensu* em Bioinsumos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, como exigência parcial para obtenção do título de Especialista em Bioinsumos.

Rio Verde, 17 de abril de 2026

**BANCA EXAMINADORA**

.....  
Prof. Dr. Antonio N. Zamunér Filho (orientador) UFCAT

.....  
Prof. Dr. Edson Luiz Souchie (membro) IF Goiano

.....  
Profa. Dra. Jupyracyara Jandyra de Carvalho Barros  
(membro) UFCAT

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, fonte de sabedoria, força e equilíbrio, que sustentou minha caminhada acadêmica e profissional, mesmo nos períodos de maior exigência intelectual, cansaço e renúncia.

Aos meus pais, Eronildes Rosa e Vavá Silva, pilares da minha formação humana e moral. Seus ensinamentos, valores e sacrifícios foram determinantes para que eu chegasse até aqui. Cada conquista é reflexo da base sólida que me ofereceram, muitas vezes abrindo mão de si para que eu pudesse avançar.

Ao meu avô, Emanuel Lampião da Silva, cuja história, exemplo de vida e valores transmitidos permanecem vivos em minha trajetória. Seu legado ultrapassa gerações e se manifesta na perseverança, no respeito e na dignidade que norteiam minhas escolhas.

Aos meus irmãos, pelo apoio, compreensão e incentivo ao longo dessa jornada, com especial gratidão à Elly Ferrão, que nunca deixou de acreditar em mim, oferecendo suporte emocional, palavras de encorajamento e presença constante nos momentos mais desafiadores dessa caminhada.

Ao meu amigo e segundo pai, Gilberto Braga, pelo exemplo de caráter, pelos conselhos firmes e pela confiança depositada em mim ao longo dos anos. Sua presença foi determinante para que eu seguisse adiante com coragem e responsabilidade.

Ao meu amigo e irmão Wander Santos, pela parceria, lealdade e apoio incondicional. Sua amizade foi um ponto de equilíbrio e força nos momentos em que a jornada exigiu mais do que técnica: exigiu resiliência.

Este trabalho, voltado ao estudo e à aplicação dos bioinsumos na agricultura, também é dedicado a todos que acreditam na ciência, na inovação e na construção de uma agricultura mais sustentável, eficiente e responsável. Que o conhecimento aqui produzido contribua não apenas para o avanço acadêmico, mas para o fortalecimento do campo e para o desenvolvimento da sociedade.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por conceder sabedoria, discernimento e força ao longo de toda esta trajetória acadêmica. Nos momentos de incerteza, cansaço e silêncio, Sua presença foi sustento e direção, permitindo que este trabalho fosse conduzido com propósito, responsabilidade e perseverança.

Aos meus pais, Eronildes Rosa e Vavá Silva, pelo amor incondicional, pelos valores transmitidos e pelos inúmeros sacrifícios realizados para que eu pudesse estudar, crescer e avançar. Todo o esforço dedicado a esta pesquisa tem como base a educação, o caráter e a fé que recebi de vocês.

Ao meu avô, Emanuel Lampião da Silva, por sua história de vida, pelos ensinamentos silenciosos e pelo exemplo de dignidade e resiliência, que seguem vivos em minhas escolhas pessoais e profissionais.

Aos meus irmãos, pela compreensão, incentivo e apoio ao longo dessa caminhada, com especial agradecimento à Elly Ferrão, cuja presença constante, palavras de encorajamento e suporte emocional foram fundamentais nos períodos mais desafiadores deste percurso acadêmico.

Ao meu amigo e segundo pai, Gilberto Braga, pelos conselhos, pelo apoio sincero e pela confiança depositada em mim ao longo dos anos. Sua postura, caráter e exemplo humano foram determinantes para que eu mantivesse firmeza e clareza nos momentos de maior exigência.

Ao meu amigo e irmão Wander Santos, pela amizade leal, parceria e incentivo contínuo. Seu apoio foi essencial para manter o equilíbrio emocional e a motivação durante esta jornada.

Agradeço de forma especial ao Professor Dr. Antônio Nilson Zamunér Filho, pela orientação dedicada, pela confiança ao longo de todo o desenvolvimento deste trabalho e pela disponibilidade constante em compartilhar conhecimento. Sua condução firme e ao mesmo tempo sensível foi essencial para a construção desta monografia, contribuindo não apenas para o meu crescimento acadêmico, mas também para minha formação crítica e profissional.

Aos professores e colaboradores do Programa de Pós-Graduação em Bioinsumos, pelo rigor científico, pela dedicação ao ensino e pela contribuição intelectual que enriqueceram significativamente minha formação acadêmica e a condução desta pesquisa.

Às instituições de apoio à pesquisa, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG), Fundação de Apoio à Pesquisa (FUNAPE), Instituto Federal Goiano (IF Goiano) e ao Centro de Excelência em Bioinsumos (CEBIO), pelo suporte institucional e pelo fortalecimento das condições necessárias ao desenvolvimento da ciência, da inovação e da pesquisa aplicada, fundamentais para a consolidação deste trabalho, mesmo não sendo realizado com concessão de bolsa.

Agradeço à empresa Exata Brasil pela realização das análises de solo utilizadas neste estudo, contribuindo para a obtenção dos dados necessários ao desenvolvimento deste trabalho.

A todos os colegas, técnicos, profissionais e instituições que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste estudo sobre bioinsumos na agricultura, fortalecendo o avanço científico, a inovação tecnológica e a construção de sistemas agrícolas mais sustentáveis, eficientes e alinhados às demandas da sociedade.

Por fim, agradeço a todos que acreditam na ciência como instrumento de transformação do campo, da produção agrícola e do futuro das próximas gerações.



“O solo é um organismo vivo, e sua fertilidade depende do equilíbrio entre seus componentes físicos, químicos e biológicos.”

Ana Maria Primavesi

## **BIOGRAFIA**

Eddy Silva é Engenheiro Agrônomo, com atuação voltada à agricultura sustentável, manejo do solo e uso de bioinsumos na produção agrícola. Possui formação acadêmica orientada à área das Ciências Agrárias, com ênfase em sistemas produtivos que integram eficiência agrônômica, sustentabilidade ambiental e base científica sólida.

Natural do sertão nordestino, construiu sua trajetória acadêmica e profissional a partir de desafios sociais e econômicos, tendo a educação como principal instrumento de transformação. Foi o primeiro engenheiro agrônomo de sua família e de sua cidade natal, consolidando sua formação por meio de esforço contínuo, disciplina e compromisso com o conhecimento técnico.

Ao longo de sua carreira, atuou em diferentes frentes da agricultura, com experiência em campo, desenvolvimento técnico, transferência de tecnologia e aplicação de soluções biológicas, acumulando vivência prática aliada ao rigor científico. Seu interesse por bioinsumos, microbiologia do solo e sistemas agrícolas mais resilientes orientou sua escolha pela pós-graduação e pelo desenvolvimento desta pesquisa.

Atualmente, dedica-se ao aprofundamento científico na área de bioinsumos, com foco na construção de uma agricultura mais eficiente, biologicamente equilibrada e alinhada às demandas produtivas, ambientais e sociais contemporâneas. Acredita na ciência como ferramenta essencial para a transformação do campo e para o fortalecimento da agricultura brasileira.

## RESUMO

A disponibilidade de fósforo (P) é um dos principais fatores limitantes da produtividade da soja em solos tropicais. Bactérias solubilizadoras de fósforo podem aumentar a fração disponível de P no solo e melhorar o desempenho das culturas. Objetivou-se avaliar a eficiência e a viabilidade agrônômica de *Bacillus velezensis*, *Priestia megaterium* e *Bacillus subtilis* na cultura da soja, na safra 2024/25. O experimento foi conduzido em Canarana-MT, em delineamento de blocos casualizados com seis tratamentos e cinco repetições, incluindo diferentes formas e épocas de aplicação dos inoculantes. Avaliaram-se estande, altura de plantas, massa fresca e seca da parte aérea, teores foliares e de grãos, atributos químicos do solo, produtividade e massa de mil grãos. Os teores de P no solo extraído por Mehlich-1 apresentaram valor máximo de 66,38 mg dm<sup>-3</sup> no tratamento via sulco, diferindo do tratamento aplicado em V3/V4. Para produtividade, o maior valor foi de 5.254,22 kg ha<sup>-1</sup> (87,55 sc ha<sup>-1</sup>), correspondendo a incremento de 12,16%. De modo geral, os inoculantes não alteraram significativamente os componentes de rendimento nas condições avaliadas, mas demonstraram potencial para manter a produtividade e influenciar atributos químicos do solo, dependendo das condições edafoclimáticas e do manejo adotado.

**Palavras-chave:** *Bactérias solubilizadoras de fósforo; Glycine max; Bacillus velezensis; Priestia megaterium; Bacillus subtilis; Disponibilidade de fósforo no solo.*

## ABSTRACT

Phosphorus (P) availability is one of the main factors limiting soybean productivity in tropical soils. Phosphate-solubilizing bacteria can increase the available fraction of P in the soil and improve crop performance. This study aimed to evaluate the efficiency and agronomic viability of *Bacillus velezensis*, *Priestia megaterium*, and *Bacillus subtilis* in soybean during the 2024/25 growing season. The experiment was conducted in Canarana, Mato Grosso, Brazil, using a randomized block design with six treatments and five replications, including different methods and timing of inoculant application. Plant stand, plant height, fresh and dry shoot biomass, leaf and grain nutrient contents, soil chemical attributes, yield, and thousand-grain weight were evaluated. Soil P extracted by Mehlich-1 reached a maximum value of 66.38 mg dm<sup>-3</sup> in the furrow-applied treatment, differing from the treatment applied at the V3/V4 growth stage. For yield, the highest numerical value was 5,254.22 kg ha<sup>-1</sup> (87.55 bags ha<sup>-1</sup>), corresponding to a 12.16% increase. Overall, the inoculants did not significantly alter yield components under the evaluated conditions, but they demonstrated potential to maintain productivity and influence soil chemical attributes, depending on edaphoclimatic conditions and management practices.

**Keywords:** Phosphate-solubilizing bacteria; *Glycine max*; *Bacillus velezensis*; *Priestia megaterium*; *Bacillus subtilis*; Soil phosphorus availability.

## LISTA DE TABELAS/ ILUSTRAÇÕES

TABELA 1 - Caracterização química do solo antes da implantação do experimento .....	24
FIGURA 1 - Precipitação acumulada, temperatura média mensal e umidade relativa média mensal no período de setembro de 2024 a março de 2025 .....	25
FIGURA 2 - Croqui do delineamento experimental em blocos ao acaso .....	26
TABELA 2 - Caracterização química do solo para ensaio conduzido na cultura da soja .....	26
TABELA 3 - Características químicas obtidas na análise de grãos .....	27
TABELA 4 - Teores foliares de macronutrientes e micronutrientes em R1 .....	32
TABELA 5 - Estande de plantas e altura de plantas aos 20 dias após a semeadura .....	35
TABELA 6 - Estande (plantas m <sup>-1</sup> ) e altura de plantas (cm) aos 20 DAS .....	36
TABELA 7 - Massa fresca e massa seca da parte aérea (g planta <sup>-1</sup> ) aos 80 DAS .....	38
TABELA 8 - Produtividade .....	39

## LISTA DE SIGLAS

**Al<sup>3+</sup>** – Alumínio trocável  
**B** – Boro  
**Ca** – Cálcio  
**Ca<sup>2+</sup>** – Cálcio trocável  
**CEBIO** – Centro de Excelência em Bioinsumos  
**CONAB** – Companhia Nacional de Abastecimento  
**CTC** – Capacidade de Troca Catiônica  
**Cu** – Cobre  
**DAS** – Dias Após a Semeadura  
**DTPA** – Dietilenotriamina Pentaacetato (extrator de micronutrientes)  
**Fe** – Ferro  
**g kg<sup>-1</sup>** – Gramas por quilograma  
**H+Al** – Acidez potencial  
**IF Goiano** – Instituto Federal Goiano  
**K** – Potássio  
**KCl** – Cloreto de potássio  
**mg dm<sup>-3</sup>** – Miligramas por decímetro cúbico  
**Mg** – Magnésio  
**Mg<sup>2+</sup>** – Magnésio trocável  
**Mn** – Manganês  
**MMG** – Massa de Mil Grãos  
**N** – Nitrogênio  
**P** – Fósforo  
**pH** – Potencial hidrogeniônico  
**R1 / R6** – Estádios fenológicos da soja  
**S** – Enxofre  
**S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>** – Enxofre na forma de sulfato  
**V%** – Saturação por bases  
**Zn** – Zinco

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	<b>12</b>
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>13</b>
<b>2.1 Objetivo Geral</b> .....	<b>13</b>
<b>2.2 Objetivos Específicos</b> .....	<b>13</b>
<b>3 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>14</b>
<b>3.1 Dinâmica do fósforo no solo</b> .....	<b>14</b>
<b>3.2 Formas de aplicação de fertilizantes fosfatados</b> .....	<b>16</b>
<b>3.3 Fracionamento de fósforo</b> .....	<b>18</b>
<b>3.4 Microrganismos solubilizadores de fosfato</b> .....	<b>19</b>
<b>3.5 Mecanismos microbianos envolvidos na solubilização e mineralização do fósforo no solo</b> .....	<b>21</b>
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>24</b>
<b>4.1 Localização e caracterização da área experimental</b> .....	<b>24</b>
<b>4.2 Caracterização química do solo</b> .....	<b>25</b>
<b>4.3 Delineamento experimental</b> .....	<b>25</b>
<b>4.4 Adubação e tratos culturais</b> .....	<b>29</b>
<b>4.5 Tratamentos</b> .....	<b>29</b>
<b>4.6 Avaliações</b> .....	<b>30</b>
<b>4.7 Análise estatística</b> .....	<b>31</b>
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>32</b>
<b>5.1 Análise química foliar</b> .....	<b>33</b>
<b>5.2 Estande e altura de plantas</b> .....	<b>36</b>
<b>5.3 Massa fresca e seca da parte aérea</b> .....	<b>37</b>
<b>5.4 Produtividade e massa de mil grãos</b> .....	<b>39</b>
<b>6 CONCLUSÃO</b> .....	<b>40</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>41</b>

# 1 INTRODUÇÃO GERAL

A soja é a principal cultura agrícola do Brasil, com produção concentrada na região Centro-Oeste, responsável por parcela significativa do volume nacional (CONAB, 2020). Apesar do elevado potencial produtivo, a eficiência no uso de nutrientes, especialmente do fósforo (P), ainda constitui um dos principais entraves à sustentabilidade dos sistemas de produção em solos tropicais.

O fósforo desempenha funções estruturais e metabólicas essenciais nas plantas, atuando diretamente na transferência de energia (ATP/ADP), na regulação enzimática e no desenvolvimento do sistema radicular. Entretanto, em solos altamente intemperizados, predominantes no Brasil, o P aplicado é rapidamente adsorvido por óxidos de ferro e alumínio, formando compostos de baixa solubilidade e reduzida disponibilidade às plantas. Em determinadas condições de pH, também pode ocorrer sua precipitação com cálcio. Essa dinâmica limita a eficiência da adubação fosfatada e eleva os custos de produção.

Nesse contexto, estratégias biotecnológicas têm sido propostas para aumentar a eficiência de uso do fósforo. Entre elas, destacam-se os microrganismos solubilizadores de fósforo (MSF), capazes de aumentar a disponibilidade do nutriente por meio da produção de ácidos orgânicos, liberação de prótons e síntese de fosfatases. No entanto, sua eficiência no campo depende de fatores edáficos e ambientais, bem como da interação com a microbiota nativa.

Embora resultados promissores tenham sido obtidos em condições controladas, ainda são escassos estudos conduzidos em condições de campo em solos tropicais, nos quais a dinâmica do fósforo e a resposta da cultura podem diferir significativamente. Essa lacuna limita a recomendação segura dessa tecnologia em sistemas comerciais de produção de soja.

Diante disso, este estudo teve como objetivo avaliar o efeito da inoculação com microrganismos solubilizadores de fósforo na disponibilidade de P no solo e no desempenho produtivo da soja em condições de campo.

A hipótese de trabalho é que a inoculação com MSF, isoladamente ou associada à redução da adubação fosfatada, é capaz de manter a produtividade da cultura e aumentar a eficiência de uso do fósforo.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Avaliar a eficiência agronômica de produtos biológicos à base de *Bacillus velezensis*, *Priestia megaterium* e *Bacillus subtilis*, aplicados em diferentes modos e momentos, sobre a nutrição e a produtividade da cultura da soja na safra 2024/2025.

### **2.2 Objetivos específicos**

Comparar o efeito dos produtos e dos métodos de aplicação sobre os teores foliares de macro e micronutrientes no estágio R1.

Avaliar possíveis alterações nos atributos químicos da rizosfera no estágio R1 em função dos tratamentos.

Quantificar o impacto dos tratamentos sobre o crescimento vegetativo da soja, por meio da determinação da massa fresca e seca da parte aérea aos 80 dias após a semeadura.

Analisar os componentes de rendimento no estágio R6, incluindo altura de plantas, número de vagens por planta, número de grãos por vagem e massa de mil grãos.

Determinar a produtividade de grãos corrigida para 13% de umidade e comparar os resultados entre os tratamentos biológicos e o padrão do produtor.

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 Dinâmica do fósforo no solo

Os solos brasileiros, especialmente aqueles do bioma Cerrado, apresentam baixa disponibilidade natural de fósforo (P) em razão do elevado grau de intemperismo. Nesses ambientes, o fósforo liberado pelo intemperismo de minerais primários é rapidamente adsorvido aos óxidos de ferro e alumínio, reduzindo sua permanência na solução do solo e sua disponibilidade às plantas. Como consequência, torna-se necessária a aplicação de fertilizantes fosfatados para atender à demanda nutricional das culturas agrícolas.

Entretanto, parte significativa do fósforo aplicado também passa a compor formas pouco disponíveis, em função de processos de adsorção e fixação na matriz do solo. Assim, mesmo em solos que apresentam teores elevados de fósforo total ou acúmulo residual decorrente de adubações anteriores, a fração efetivamente disponível às plantas pode permanecer limitada.

No solo, o fósforo distribui-se entre a fase sólida e a solução do solo. Apenas uma pequena fração encontra-se dissolvida na solução, forma diretamente absorvida pelas raízes, principalmente como  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  e  $\text{HPO}_4^{2-}$ . A manutenção dessa fração disponível depende do equilíbrio entre o fósforo em solução e as formas adsorvidas, caracterizando um sistema tamponado. À medida que as plantas absorvem o fósforo da solução, parte do fósforo lábil é liberada da fase sólida para restabelecer o equilíbrio. Contudo, em solos altamente intemperizados, grande parte do fósforo encontra-se associada a formas de baixa reversibilidade, limitando sua reposição à solução do solo.

A dinâmica do fósforo também é influenciada por fatores como pH, teor de matéria orgânica e atividade biológica do solo. Processos de mineralização da matéria orgânica podem contribuir para a liberação de fósforo, enquanto a imobilização microbiana pode temporariamente reduzir sua disponibilidade. Em solos tropicais, as perdas por lixiviação são geralmente reduzidas, sendo a adsorção e a fixação os principais mecanismos responsáveis pela limitação do nutriente.

Nesse contexto, a atividade de microrganismos na rizosfera assume papel relevante na modificação da dinâmica do fósforo no solo. A produção de ácidos orgânicos, a liberação de prótons e a atividade de enzimas fosfatases podem promover a solubilização de formas pouco disponíveis de fósforo, aumentando sua concentração na solução do solo e favorecendo a

absorção pelas plantas. Assim, compreender a dinâmica do fósforo no sistema solo–planta é fundamental para avaliar estratégias biológicas voltadas ao aumento da eficiência de uso desse nutriente.

A adubação fosfatada é prática essencial para suprir a demanda das culturas agrícolas, especialmente em solos tropicais que apresentam baixa disponibilidade natural de fósforo. O objetivo da aplicação de fertilizantes fosfatados é elevar a concentração do nutriente na solução do solo, garantindo níveis adequados para o crescimento e o desenvolvimento das plantas (NOVAIS et al., 2007; SOUSA; LOBATO, 2004).

As fontes fosfatadas diferenciam-se principalmente quanto à sua solubilidade em água, característica que influencia diretamente a velocidade de liberação do fósforo no solo e sua disponibilidade às plantas (TAYLOR et al., 1960; BARROW, 1973). De modo geral, essas fontes podem ser classificadas em dois grandes grupos: fontes de alta solubilidade e fontes de baixa solubilidade (PROCHNOW et al., 2004).

Entre as fontes altamente solúveis destacam-se o monoamônio fosfato (MAP), o superfosfato simples (SS) e o superfosfato triplo (ST). Esses fertilizantes são obtidos por processos de acidulação da rocha fosfática, resultando em compostos de rápida dissolução no solo e elevada eficiência agronômica no curto prazo (MALAVOLTA, 1981; RAIJ et al., 1996; REETZ, 2017). Ao serem aplicados, promovem aumento imediato da concentração de fósforo na solução do solo, favorecendo sua absorção pelas plantas (CHIEN et al., 1990).

Por outro lado, os fosfatos naturais reativos apresentam menor solubilidade e liberação mais lenta do fósforo. Obtidos principalmente por moagem da rocha fosfática, esses fertilizantes possuem menor custo, porém sua eficiência agronômica tende a ser inferior no curto prazo, especialmente em solos com alta capacidade de adsorção de fósforo (NOVAIS; SMYTH, 1999; PROCHNOW et al., 2004). Sua utilização pode apresentar efeito residual ao longo do tempo, particularmente em solos ácidos, nos quais sua reatividade é maior (RAJAN et al., 1996; SILVA, 2011).

A aplicação de fontes solúveis resulta em rápida dissolução do fertilizante e formação de uma zona de elevada concentração de fósforo ao redor do grânulo. No entanto, em solos altamente intemperizados, parte significativa desse fósforo pode ser rapidamente adsorvida

pelos coloides minerais, reduzindo sua permanência na solução do solo (NOVAIS; SMYTH, 1999; BARROW, 1983). Já as fontes de baixa solubilidade dependem mais intensamente das condições químicas do solo, do teor de umidade e do crescimento radicular para que o fósforo seja gradualmente disponibilizado (KAMINSKI; PERUZZO, 1997).

A eficiência agronômica das diferentes fontes fosfatadas é influenciada por fatores como textura e mineralogia do solo, teor de matéria orgânica, pH, manejo adotado e exigência da cultura (GOEDERT et al., 1986; SOUSA et al., 2002). Solos mais argilosos e ricos em óxidos de ferro e alumínio tendem a apresentar maior capacidade de adsorção de fósforo, reduzindo a eficiência imediata das fontes solúveis (FALCÃO; SILVA, 2004; NOVAIS et al., 2007).

De modo geral, fontes altamente solúveis são determinantes para respostas produtivas imediatas, enquanto fontes de menor solubilidade podem contribuir para efeito residual em médio e longo prazo (BOLLAND; BOWDEN, 1982; RAMOS et al., 2009). Assim, a escolha da fonte fosfatada deve considerar as características do solo, o sistema de cultivo e a estratégia de manejo adotada, buscando maximizar a eficiência de uso do fósforo e a viabilidade econômica da adubação (GOEDERT et al., 1986; SOUSA; LOBATO, 2004).

Nesse cenário, estratégias complementares que aumentem a eficiência de aproveitamento do fósforo aplicado, especialmente em solos com alto dreno do nutriente, tornam-se relevantes. A utilização de microrganismos com capacidade de solubilizar formas pouco disponíveis de fósforo surge como alternativa potencial para otimizar o uso das fontes fosfatadas já empregadas no sistema produtivo (GYANESHWAR et al., 2002; PAVINATO; ROSOLEM, 2008).

### **3.2 Formas de aplicação de fertilizantes fosfatados**

A eficiência agronômica dos fertilizantes fosfatados está diretamente relacionada à forma de aplicação no solo. Entre os métodos mais utilizados destacam-se a aplicação localizada no sulco de semeadura, em faixas e a aplicação a lanço, com ou sem incorporação (SOUSA; LOBATO, 2003). A resposta das culturas à adubação fosfatada depende de fatores como sistema de cultivo, manejo do solo, teor inicial de fósforo, fonte e dose do fertilizante, condições climáticas e desenvolvimento do sistema radicular (ANGHINONI, 2004; PAVINATO; CERETTA, 2004).

Em solos tropicais altamente intemperizados, a posição do fertilizante no perfil do solo torna-se determinante, pois o fósforo apresenta baixa mobilidade. Dessa forma, sua disponibilidade às plantas depende principalmente da distância entre o nutriente e as raízes, sendo a difusão o principal mecanismo de transporte até a superfície radicular (ANGHINONI; BARBER, 1980; NOVAIS; SMYTH, 1999).

A aplicação localizada no sulco de semeadura é amplamente adotada no Cerrado, pois posiciona o fósforo próximo às raízes em desenvolvimento, reduzindo a distância de difusão e aumentando a eficiência de absorção pelas plantas (NUNES et al., 2011). Além disso, a concentração do fertilizante em menor volume de solo reduz temporariamente a sorção do fósforo pelos coloides minerais, favorecendo sua disponibilidade imediata (FOX; KANG, 1978).

Por outro lado, a aplicação a lanço distribui o fertilizante em maior volume de solo, favorecendo a exploração radicular e podendo beneficiar a cultura em situações de deficiência hídrica (KLEPKER; ANGHINONI, 1995). Contudo, essa estratégia aumenta o contato do fósforo com os coloides do solo, elevando a ocorrência de adsorção e a formação de frações menos disponíveis (NOVAIS; SMYTH, 1999).

A eficiência relativa entre aplicação localizada e a lanço depende do teor inicial de fósforo no solo. Em condições de baixa disponibilidade, a aplicação localizada tende a proporcionar maiores rendimentos devido à maior concentração do nutriente próximo às raízes (WELCH et al., 1966; COSTA, 2008). Em solos com teores mais elevados de fósforo, as diferenças entre os métodos tornam-se menores, podendo não ocorrer resposta significativa na produtividade (RANDALL; HOEFT, 1988; ROSSI et al., 2018).

De modo geral, a forma de aplicação influencia não apenas a disponibilidade imediata do fósforo, mas também o volume de solo explorado pelas raízes e a dinâmica de transformação do nutriente. Assim, a eficiência da adubação fosfatada não depende exclusivamente da dose aplicada, mas da interação entre posicionamento do fertilizante, crescimento radicular e processos de adsorção no solo (SOUSA; LOBATO, 2004).

Nesse contexto, estratégias que favoreçam a solubilização do fósforo adsorvido na região da rizosfera tornam-se relevantes. Microrganismos capazes de atuar próximos às raízes

podem modificar a dinâmica do nutriente, aumentando sua disponibilidade mesmo quando parte do fósforo aplicado se encontra em formas pouco lábeis.

### **3.3 Fracionamento de fósforo**

O fósforo no solo ocorre predominantemente nas formas orgânica (Po) e inorgânica (Pi), distribuídas entre compartimentos com diferentes graus de disponibilidade às plantas (LEITE et al., 2016). A dinâmica dessas formas é influenciada pelo manejo do solo, adubação, exportação pela colheita e pela capacidade das plantas em acessar frações menos lábeis do nutriente (TAKAHASHI; ANWAR, 2007; TIECHER et al., 2012).

A avaliação dessa dinâmica pode ser realizada por meio do fracionamento químico do fósforo, técnica que permite separar o nutriente em compartimentos operacionais de acordo com sua energia de ligação aos constituintes do solo. Os métodos clássicos de fracionamento foram inicialmente propostos por Chang e Jackson (1957) e posteriormente aprimorados por Hedley et al. (1982) e adaptações subsequentes (CONDON; GOH, 1989; TIESSSEN; MOIR, 2008), sendo amplamente utilizados em estudos de fertilidade do solo no Brasil (GATIBONI et al., 2013).

No fracionamento de Hedley, a extração sequencial utiliza reagentes de força crescente, permitindo classificar o fósforo em frações lábeis, moderadamente lábeis e não lábeis (MIGNACCA, 2016). A resina de troca aniônica remove o fósforo prontamente disponível na solução do solo. O bicarbonato de sódio ( $\text{NaHCO}_3$ ) extrai frações lábeis de Pi e Po, associadas à reposição imediata do fósforo absorvido pelas plantas. O hidróxido de sódio (NaOH) remove fósforo ligado a óxidos de ferro e alumínio e à matéria orgânica, caracterizando frações de disponibilidade intermediária. O ácido clorídrico (HCl) extrai fósforo associado a cálcio, enquanto a digestão ácida final quantifica o fósforo residual, considerado não lábil (AMORIM, 2016; VIANA, 2016).

As frações extraídas pela resina e pelo  $\text{NaHCO}_3$  apresentam elevada correlação com a absorção de fósforo pelas plantas e atuam como principais responsáveis pela manutenção do fósforo na solução do solo (GATIBONI et al., 2007). Já as frações extraídas pelo NaOH e pelo HCl representam reservas do nutriente que podem tornar-se disponíveis apenas a médio e longo prazo, dependendo das condições químicas e biológicas do sistema (SANTOS et al., 2008).

Em solos altamente intemperizados do Cerrado, a maior parte do fósforo tende a ser retida em formas pouco lábeis associadas a oxihidróxidos de ferro e alumínio, reduzindo sua disponibilidade imediata às plantas (GUO; YOST, 1998; NUNES, 2014). Sistemas de manejo que aumentam o teor de matéria orgânica e a atividade biológica podem favorecer a conversão de frações menos disponíveis em formas mais lábeis, especialmente na camada superficial do solo (RHEINHEIMER; ANGHINONI, 2003; FU et al., 2013).

A adubação fosfatada altera significativamente a distribuição dessas frações. Incrementos nas frações lábeis e moderadamente lábeis têm sido observados após aplicações sucessivas de fertilizantes fosfatados (CONTE et al., 2003; CARNEIRO et al., 2011), enquanto áreas sob menor intervenção antrópica apresentam maior proporção de fósforo orgânico (BEUTLER et al., 2015).

Dessa forma, o fracionamento do fósforo permite compreender não apenas a quantidade total do nutriente no solo, mas principalmente sua qualidade química em termos de disponibilidade às plantas. Essa abordagem torna-se particularmente importante em estudos que avaliam fontes e estratégias de manejo da adubação fosfatada, pois possibilita identificar se o fósforo aplicado permanece disponível no curto prazo ou é rapidamente convertido em formas menos acessíveis no sistema solo-planta.

### **3.4 Microrganismos solubilizadores de fosfato**

A utilização de fontes de fósforo de menor solubilidade, associada ao manejo adequado das populações microbianas do solo, constitui estratégia viável para reduzir parcialmente a dependência de fertilizantes altamente solúveis. Essa abordagem baseia-se no aproveitamento mais eficiente dos fosfatos naturais presentes ou adicionados ao sistema produtivo, promovendo maior sustentabilidade no manejo da fertilidade fosfatada (MENDES; REIS Jr., 2003).

Diversos microrganismos do solo, incluindo bactérias, fungos e actinomicetos, participam ativamente dos processos de solubilização e mineralização do fósforo (RICHARDSON, 2001). Esses organismos atuam por meio de mecanismos como liberação de prótons, exsudação de ácidos orgânicos, produção de sideróforos e síntese de enzimas fosfatases, promovendo a conversão de formas pouco disponíveis de fósforo em frações solúveis e assimiláveis pelas plantas (BARGAZ et al., 2021). A produção de ácidos orgânicos,

como os ácidos oxálico, cítrico, glucônico e succínico, constitui um dos principais mecanismos de solubilização de fosfatos. Esses compostos promovem a quelação de cátions como  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$  e  $\text{Ca}^{2+}$ , liberando o fósforo previamente adsorvido aos constituintes minerais do solo.

Além da solubilização de formas inorgânicas, microrganismos também mineralizam fósforo orgânico por meio da produção de enzimas fosfatases, ampliando a disponibilidade do nutriente na rizosfera. Esses processos são geneticamente regulados por sistemas que controlam absorção, transporte e resposta metabólica à limitação de fósforo (BARGAZ et al., 2021).

As bactérias solubilizadoras de fósforo podem representar uma fração significativa da microbiota do solo, variando amplamente em função do tipo de solo, manejo e disponibilidade de carbono na rizosfera, enquanto os fungos solubilizadores geralmente correspondem a proporções menores (CHEN et al., 2006). Entre os gêneros bacterianos mais frequentemente relatados destacam-se *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Burkholderia*, *Azotobacter* e *Rhizobium* (GARCIA et al., 2015; KOUR et al., 2021). Entre os fungos, *Aspergillus* e *Penicillium* são amplamente reconhecidos pela elevada capacidade de solubilização de fosfatos pouco disponíveis (RAWAR et al., 2020).

Apesar de ocorrerem naturalmente no solo, as populações desses microrganismos nem sempre são suficientes para promover incrementos agronômicos significativos. Por essa razão, a inoculação de estirpes selecionadas tem sido proposta como alternativa para aumentar a eficiência de uso do fósforo (MENDES; REIS Jr., 2003).

No Brasil, um marco relevante foi o lançamento, em 2019, do inoculante comercial BiomaPhos®, desenvolvido pela Embrapa em parceria com a empresa Bioma, composto pelas estirpes BRM 119 de *Priestia megaterium* e BRM 2084 de *Bacillus subtilis* (SKORUPA; MANZATO, 2019). Essas estirpes apresentam capacidade de solubilizar fosfatos de cálcio, ferro e rocha, além de produzir enzimas fosfatases e ácido glucônico (ABREU et al., 2017; OLIVEIRA-PAIVA et al., 2020).

Ensaio conduzidos em diferentes regiões produtoras de soja demonstraram incrementos médios de produtividade da ordem de 4,3 sacas por hectare, com variações regionais que alcançaram até 10% em determinadas condições (OLIVEIRA-PAIVA et al., 2020). Estudos adicionais indicaram que a inoculação associada à redução parcial da adubação

fosfatada mineral pode resultar em acúmulo de fósforo nos grãos equivalente ao obtido com adubação plena sem o uso do inoculante, evidenciando potencial de otimização do uso do fertilizante (OLIVEIRA-PAIVA et al., 2020).

Outras pesquisas também relatam efeitos positivos da inoculação com *Bacillus*, *Pseudomonas* e *Trichoderma* sobre crescimento vegetal, eficiência de aquisição de fósforo e rendimento de grãos (BONONI et al., 2020; TANUS et al., 2022). Além da mobilização de nutrientes, esses microrganismos podem sintetizar fitormônios e contribuir para maior tolerância a estresses abióticos, ampliando os efeitos sobre o desempenho das culturas (STRZELCZYK; ROZYCKI, 1985; KASIM et al., 2013).

Entretanto, a eficiência dos microrganismos solubilizadores depende de fatores como compatibilidade com a cultura, condições edafoclimáticas, disponibilidade de fontes de carbono e interação com a microbiota nativa do solo (REIS et al., 2008; NAUTIYAL et al., 2000). Assim, a resposta agrônômica pode variar conforme o ambiente e o sistema de manejo adotado.

Diante desse cenário, a avaliação da eficiência agrônômica de bactérias solubilizadoras de fósforo na cultura da soja torna-se fundamental para compreender seu potencial como ferramenta complementar ao manejo da adubação fosfatada, especialmente em solos com elevado histórico de acúmulo e fixação do nutriente.

### **3.5 Mecanismos microbianos envolvidos na solubilização e mineralização do fósforo no solo**

A solubilização e a mineralização do fósforo no solo são processos mediados principalmente por microrganismos solubilizadores de fósforo, que atuam tanto sobre formas inorgânicas quanto orgânicas desse nutriente. No ambiente edáfico, o fósforo inorgânico encontra-se predominantemente associado a ferro, alumínio e cálcio, formando compostos como Fe-P, Al-P e Ca-P, cuja disponibilidade às plantas é limitada em função da baixa solubilidade. Para tornar esse fósforo acessível, os microrganismos utilizam diferentes estratégias metabólicas capazes de promover a dissolução desses compostos e aumentar a concentração de fosfato na solução do solo.

Um dos principais mecanismos envolve a produção e exsudação de ácidos orgânicos de baixo peso molecular, como os ácidos cítrico, glucônico, oxálico e tartárico. Esses compostos são gerados a partir de diferentes vias metabólicas, incluindo fermentação, respiração de compostos orgânicos e oxidação direta de açúcares. A liberação desses ácidos promove a acidificação da rizosfera e a quelação de cátions como  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$  e  $\text{Ca}^{2+}$ , além de favorecer reações de troca aniônica, resultando na liberação do fósforo anteriormente adsorvido ou precipitado no solo (RAWAT et al., 2020).

Microrganismos também podem produzir ácidos inorgânicos, como ácido sulfúrico, nítrico e carbônico, embora esse mecanismo seja, em geral, menos eficiente que a ação dos ácidos orgânicos. Além disso, bactérias oxidantes de enxofre podem gerar ácido sulfúrico a partir da oxidação de compostos reduzidos de enxofre, contribuindo para a solubilização de fosfatos ligados ao ferro (STAMFORD et al., 2003; BASHAN et al., 2013).

Outro mecanismo relevante está relacionado à liberação de prótons durante a assimilação de amônio. No metabolismo microbiano, a incorporação de  $\text{NH}_4^+$  para a síntese de aminoácidos pode resultar na acidificação do meio extracelular, favorecendo a dissolução de fosfatos pouco solúveis (DAS et al., 2019).

Processos indiretos também participam da ciclagem do fósforo. A lise celular microbiana em condições de estresse ambiental libera fósforo previamente incorporado à biomassa, tornando-o novamente disponível no sistema solo-plantas. Adicionalmente, a via de oxidação direta da glicose, que converte glicose em ácido glucônico e posteriormente em ácido 2-cetoglucônico, desempenha papel importante na solubilização de fosfatos, uma vez que esses compostos apresentam elevada capacidade de quelação de cátions metálicos associados ao fósforo.

Os microrganismos ainda produzem exopolissacarídeos em resposta a condições de estresse. Esses polímeros extracelulares podem formar complexos com íons metálicos do solo, reduzindo sua interação com o fósforo e contribuindo para sua disponibilização. De forma complementar, a produção de sideróforos constitui mecanismo adicional relevante, pois esses compostos apresentam alta afinidade por  $\text{Fe}^{3+}$ , competindo pelas ligações com o ferro e favorecendo a liberação do fosfato para a solução do solo.

De maneira integrada, as principais estratégias adotadas pelos microrganismos solubilizadores de fósforo incluem a exsudação de ácidos orgânicos e prótons, a produção de sideróforos, a secreção de enzimas extracelulares e a mineralização de substratos orgânicos.

No que se refere ao fósforo orgânico, que pode representar entre 20% e 30% do fósforo total do solo, sua disponibilização ocorre predominantemente por meio da mineralização enzimática. As fosfatases não específicas desempenham papel central nesse processo, sendo classificadas em fosfatases ácidas, mais comuns em solos de pH baixo, e fosfatases alcalinas, predominantes em solos com pH mais elevado. Essas enzimas catalisam a desfosforilação de fosfoésteres e ligações fosfoanidrido presentes em compostos orgânicos, liberando fósforo inorgânico assimilável (CRUZ; ISHII, 2012).

As fitases constituem outro grupo importante de enzimas, responsáveis pela hidrólise do fitato, um dos principais reservatórios de fósforo orgânico no solo e a principal forma de armazenamento de fósforo em sementes e pólen. Sua atuação resulta na liberação progressiva de fósforo inorgânico e inositol, contribuindo para a nutrição vegetal (CALVO et al., 2014). Além disso, fosfonatases e liases carbono-fósforo catalisam a quebra da ligação C-P presente em organofosforados, ampliando a disponibilidade de fósforo a partir de compostos mais recalcitrantes (KARUNAKARAN et al., 2013).

A interação entre bactérias e fungos tem se mostrado particularmente eficiente na solubilização e mineralização do fósforo insolúvel. Evidências indicam que consórcios microbianos, especialmente aqueles envolvendo fungos micorrízicos arbusculares e bactérias solubilizadoras de fósforo, potencializam a disponibilização do nutriente no solo. O silício pode atuar como elemento modulador nesse contexto, ao estimular a atividade fotossintética das plantas e aumentar a exsudação de compostos orgânicos na rizosfera (ETESAMI et al., 2020).

De acordo com a revisão apresentada por Etesami et al. (2021), a estratégia integrada envolvendo silício, fungos micorrízicos arbusculares e bactérias solubilizadoras promove aumento significativo da mineralização do fósforo orgânico e da absorção de fósforo pelas plantas, quando comparada ao uso isolado de cada componente. Esse sistema atua de forma sinérgica, estimulando a produção de fosfatases, intensificando a atividade enzimática na rizosfera e favorecendo os mecanismos de transporte e absorção de fósforo.

## **4 MATERIAL E MÉTODOS**

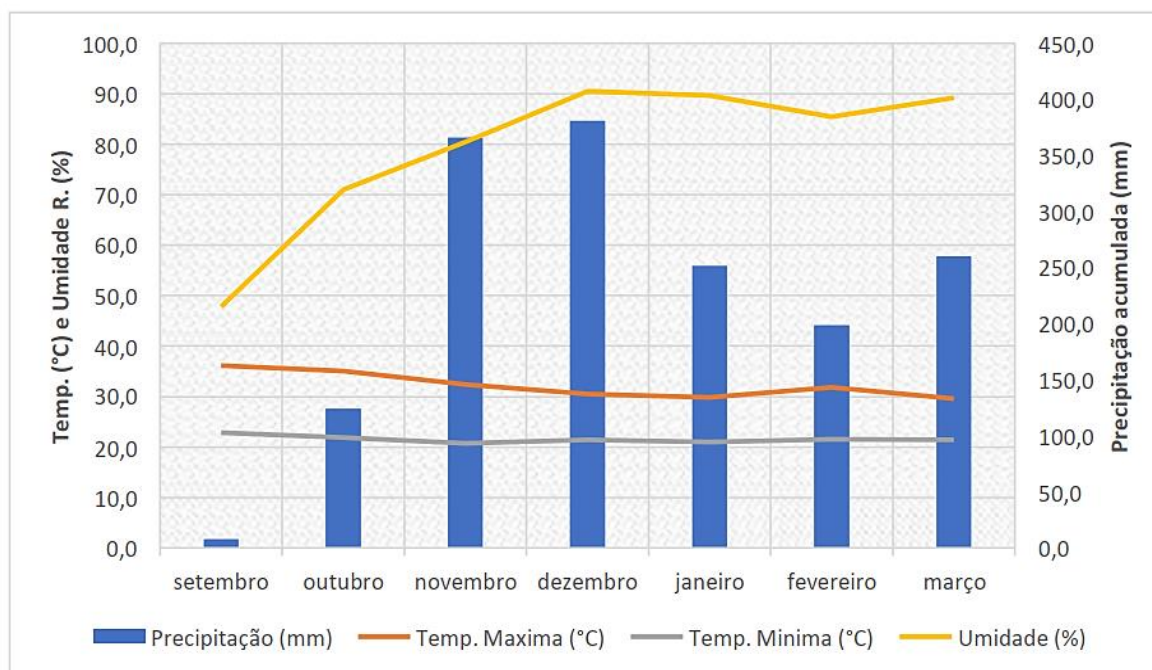
### **4.1 Localização e caracterização da área experimental**

O experimento foi conduzido na área experimental da Meta Consultoria Agrícola, no município de Canarana, MT (13°32'35,4"S; 52°12'09,8"W), a aproximadamente 420 m de altitude.

O solo da área é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, de textura média, sendo previamente coletadas amostras na camada de 0–20 cm para caracterização química (pH em CaCl<sub>2</sub>, P e K extraíveis, Ca, Mg, Al, matéria orgânica, CTC e V%). A área vinha sendo cultivada sob sucessão soja–milho safrinha nos últimos 5 anos.

A semeadura foi realizada em 26 de novembro de 2024, utilizando a cultivar TMG 2379 IPRO®, de hábito de crescimento indeterminado e moderadamente suscetível a doenças de final de ciclo, com população final estimada de 262.000 plantas ha<sup>-1</sup>.

As condições climáticas observadas durante o ciclo da cultura caracterizaram-se por precipitação acumulada de aproximadamente 1.620 mm e temperatura média em torno de 27 °C (Figura 1), valores compatíveis com a faixa considerada adequada para o desenvolvimento da cultura da soja na região. Observa-se que os maiores volumes de precipitação ocorreram entre os meses de novembro e janeiro, período que coincidiu com fases importantes do desenvolvimento da cultura, contribuindo para a manutenção da disponibilidade hídrica no solo. As temperaturas máximas variaram entre 30 e 35 °C, enquanto as mínimas oscilaram próximas de 20 a 23 °C, condições que favorecem o crescimento vegetativo e o desenvolvimento reprodutivo da soja.



**Figura 1.** Precipitação acumulada (mm), temperatura média mensal (°C) e umidade relativa média mensal (%) no período de setembro de 2024 a março de 2025. Fonte: Estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

## 4.2 Caracterização química do solo

Antes da implantação do experimento, foram coletadas amostras de solo na camada de 0–20 cm para caracterização química da área experimental. As análises foram realizadas conforme metodologia descrita pela EMBRAPA (2017). De modo geral, o solo apresentou média a alta fertilidade, com destaque para o elevado teor de fósforo disponível. Os resultados estão apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1.** Caracterização química do solo (0–20 cm) antes da implantação do experimento.

pH (CaCl <sub>2</sub> )	MO (g dm <sup>-3</sup> )	P (mg dm <sup>-3</sup> )	K	Ca	Mg	H+Al	CTC	V (%)	Al
5,4	28	62	4,2	42	18	38	102	63	0

Unidades: K, Ca, Mg, H+Al e CTC em mmolc dm<sup>-3</sup>.

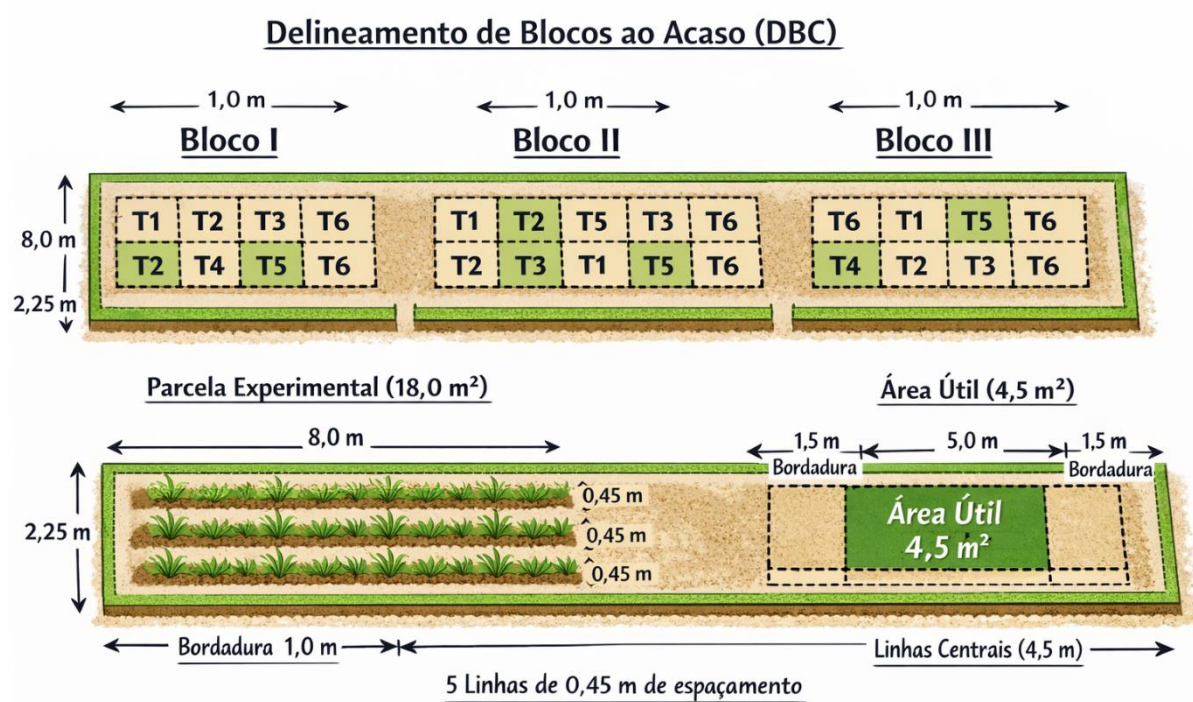
## 4.3 Delineamento experimental

O experimento foi conduzido em delineamento de blocos ao acaso (DBC), com seis tratamentos e cinco repetições. As características químicas do solo da área experimental

encontram-se apresentadas na Tabela 1. Cada unidade experimental apresentou dimensões de 8,0 m de comprimento por 2,25 m de largura, composta por cinco linhas espaçadas em 0,45 m, totalizando 18,0 m<sup>2</sup> de área total. A área útil correspondeu às duas linhas centrais, com 5,0 m de comprimento, desconsiderando-se 1,5 m de bordadura nas extremidades, perfazendo 4,5 m<sup>2</sup>. Entre parcelas e blocos foram mantidas bordaduras de 1,0 m.

A disposição das parcelas no campo, bem como a definição da área útil e das bordaduras, está apresentada na Figura 1.

A casualização dos tratamentos dentro de cada bloco foi realizada por meio de sorteio simples.



**Figura 2.** Croqui do delineamento experimental em blocos ao acaso (DBC), evidenciando a disposição dos tratamentos, dimensões das parcelas, área útil e bordaduras adotadas no experimento.

**Tabela 2.** Características químicas de solos, N ( Nitrogênio), P (Fósforo), K ( Potássio), Ca (Calcio), Mg Magnésio), S (Enxofre)B (Boro), Cu (Cobre), Fe (Ferro), Mn Magnésio), Zn (Zinco), Na (Sódio), para ensaio conduzido na cultura da soja, safra 24/25.

ID	CaCl <sub>2</sub>	NH <sub>4</sub> Cl 1M	SMP	Mehlich <sup>1</sup>		Resina	Acetato de amônio	Água quente	Mehlich <sup>1</sup>						
	cmolc/dm <sup>3</sup>					mg/dm <sup>3</sup>									
	ph	Ca	Mg	Al	H+Al	K	P(meh)	P(res)	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Na
T1	5,45 a	3,12 a	1,61 a	0,04 a	1,97 a	24,75 a	55,22 ab	57,70 a	4,70 a	0,32 a	0,28 a	16,88 a	10,70 a	5,20 ab	6,13 a
T2	5,45 a	3,47 a	1,67 a	0,04 a	2,52 a	24,25 a	56,68 ab	56,70 a	3,47 a	0,33 a	0,20 a	16,47 a	12,72 a	5,02 ab	5,73 a
T3	5,70 a	3,78 a	1,97 a	0,00 a	2,10 a	25,50 a	66,38 a	73,50 a	3,75 a	0,35 a	0,23 a	15,37 a	11,20 a	6,93 a	5,78 a
T4	5,43 a	3,45 a	1,65 a	0,00 a	2,82 a	27,00 a	50,85 ab	50,35 a	3,57 a	0,31 a	0,25 a	17,65 a	12,50 a	4,60 ab	7,00 a
T5	5,45 a	3,27 a	1,67 a	0,00 a	2,45 a	22,25 a	61,25 ab	55,10 a	3,90 a	0,31 a	0,20 a	16,15 a	11,83 a	5,05 ab	7,88 a
T6	5,70 a	3,28 a	1,69 a	0,00 a	1,85 a	17,50 a	44,45 b	55,80 a	4,25 a	0,32 a	0,20 a	13,82 a	9,43 a	4,00 b	8,25 a
C.V.	3,18	8,42	12,61	310,11	33,65	29,25	14,14	17,61	27,41	7,01	27,32	16,34947	23,15	21,92	20,67

**Tabela 3.** Características químicas obtidas na análise de grãos, N ( Nitrogênio), P (Fósforo), K ( Potássio), Ca (Calcio), Mg Magnésio), S (Enxofre) B (Boro), Cu (Cobre), Fe (Ferro), Mn Magnésio), Zn (Zinco), para ensaio conduzido na cultura da soja, safra 24/25.

ID.	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	g.kg <sup>-1</sup>						mg.kg <sup>-1</sup>				
T1	60,53 ab	5,98 a	19,65 a	2,62 a	2,95 a	2,60 a	43,19 a	3,98 b	87,61 a	19,08 c	38,08 b
T2	59,58 bc	6,15 a	19,44 a	2,50 a	2,90 a	2,67 a	41,76 a	4,46 ab	82,62 a	19,53 bc	38,99 ab
T3	59,08 c	6,11 a	19,24 bc	2,70 a	2,75 a	2,50 a	43,32 a	3,84 b	83,45 a	21,64 ab	38,30 b
T4	60,04 abc	5,79 a	18,59 c	2,66 a	2,74 a	2,55 a	42,74 a	4,40 ab	87,99 a	21,10 bc	37,97 b
T5	60,71 ab	5,91 a	17,91 d	3,01 a	2,91 a	2,81 a	43,34 a	5,02 a	85,35 a	23,88 a	40,27 a
T6	61,15 a	6,13 a	18,72 bc	2,95 a	3,00 a	2,68 a	43,58 a	4,08 b	83,11 a	20,71 bc	38,10 b

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Na Tabela 1 são apresentados os dados da análise química do solo. Observa-se que os teores de Ca (cálcio) e Mg (magnésio) encontram-se em níveis adequados em todos os tratamentos. O nutriente S (enxofre) apresentou nível médio nos tratamentos 1 e 6, enquanto o B (boro) apresentou nível médio em todos os tratamentos. Para Mn (manganês) e Zn (zinco), verificaram-se teores elevados em todos os tratamentos avaliados. Por outro lado, os elementos Cu (cobre), K (potássio) e Fe (ferro) apresentaram baixos teores em todos os tratamentos. Baixos níveis de S (enxofre) também foram observados nos tratamentos 2, 3, 4 e 5. Na análise de P (fósforo) pelo extrator Mehlich-1, verificaram-se teores elevados no solo, com o maior valor observado no tratamento 3 (66,38 mg dm<sup>-3</sup>), diferindo estatisticamente apenas do tratamento 6. Já para o P (fósforo) determinado por resina, não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos.

#### 4.4 Adubação e tratos culturais

Antes da semeadura, foi realizada a adubação de base com a aplicação de 200 kg ha<sup>-1</sup> do fertilizante formulado 12-40-00, correspondendo ao fornecimento de 80 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

Os tratos culturais e fitossanitários foram realizados de maneira uniforme em todos os tratamentos, seguindo o manejo adotado na área experimental e o cronograma operacional da propriedade.

No dia 26/11/2024 foi realizado o manejo inicial de plantas daninhas com aplicação de Zapp Q 620® (3,0 L ha<sup>-1</sup>) associado a Dual Gold® (1,2 L ha<sup>-1</sup>). Em 16/12/2024 foi realizada nova aplicação de Zapp Q 620® (2,0 L ha<sup>-1</sup>), em mistura com Maximza® (50 mL ha<sup>-1</sup>) e Enermax® (10 L ha<sup>-1</sup>).

No dia 31/12/2024 foi realizada aplicação de Score Flexi® (0,15 L ha<sup>-1</sup>), Metomil (1,0 L ha<sup>-1</sup>), Transição® (1,0 L ha<sup>-1</sup>) e Galil® (0,35 L ha<sup>-1</sup>). Em 10/01/2025 foi conduzida nova aplicação contendo Orkestra® (0,30 L ha<sup>-1</sup>), Assist® (0,2 L ha<sup>-1</sup>), Exalt® (0,15 L ha<sup>-1</sup>), Boro (1,0 L ha<sup>-1</sup>), Active K® (0,5 L ha<sup>-1</sup>), Galil® (0,35 L ha<sup>-1</sup>) e clorotalonil (1,0 L ha<sup>-1</sup>).

Posteriormente, em 27/01/2025, foi realizada aplicação de Evolution® (2,0 kg ha<sup>-1</sup>), Metomil (1,0 L ha<sup>-1</sup>), Assist® (0,2 L ha<sup>-1</sup>) e Curbix® (0,7 L ha<sup>-1</sup>). Por fim, nos dias 13/02/2025 e 01/03/2025, foram realizadas aplicações de Approach Prima® na dose de 0,30 L ha<sup>-1</sup>.

#### 4.5 Tratamentos

Os tratamentos consistiram na aplicação de produto biológico à base de *Bacillus spp.*, em diferentes modos e momentos de aplicação.

O tratamento T1 (padrão do produtor) correspondeu ao manejo convencional da propriedade, sem aplicação de inoculantes biológicos, sendo realizado apenas o tratamento industrial de sementes com fungicida e inseticida, conforme prática adotada na área experimental.

No tratamento T2, o produto Biomaphos® foi aplicado via tratamento de sementes, na dose de 100 mL para cada 60.000 sementes, conforme recomendação do fabricante. Considerando a população de 262.000 plantas ha<sup>-1</sup>, a dose correspondeu a aproximadamente 437 mL ha<sup>-1</sup>.

As aplicações no sulco (T3 e T4) foram realizadas por meio de sistema acoplado à semeadora, com direcionamento do jato diretamente no sulco de deposição das sementes, imediatamente antes do fechamento.

O tratamento T5 consistiu na aplicação do produto imediatamente após a semeadura, direcionado sobre a linha de plantio, utilizando o mesmo volume de calda adotado nas aplicações no sulco.

A aplicação foliar (T6), realizada nos estádios V3–V4, foi conduzida com pulverizador costal ou autopropelido, utilizando volume de calda de 150 L ha<sup>-1</sup>, pressão de trabalho de 3 bar e velocidade de deslocamento de 5 km h<sup>-1</sup>. As condições ambientais no momento da aplicação foram: temperatura entre 25 e 28 °C, umidade relativa de 61% e velocidade do vento inferior a 8 km h<sup>-1</sup>.

## 4.6 Avaliações

O estande foi determinado aos 20 dias após a semeadura (16/12/2024), por meio da contagem de plantas em dois segmentos de 2 m nas linhas centrais (total de 4 m por parcela), sendo os valores convertidos para plantas ha<sup>-1</sup> com base no espaçamento entre linhas (0,45 m).

No estágio fenológico R1 (35 DAS), foram coletados cinco trifólios por parcela, correspondentes à 3ª ou 4ª folha completamente expandida a partir do ápice, com pecíolo. As amostras foram acondicionadas em sacos de papel, secas em estufa a 65 °C até massa constante, moídas em moinho tipo Wiley e encaminhadas ao Laboratório de Análise de Tecido Vegetal. Foram determinados os teores de N (método Kjeldahl), P (colorimetria), K (fotometria de chama), Ca e Mg (espectrometria de absorção atômica), S (turbidimetria) e micronutrientes (Fe, Zn, Mn e Cu por espectrometria de absorção atômica), após digestão nitroperclórica. Os resultados foram expressos em g kg<sup>-1</sup> para macronutrientes e mg kg<sup>-1</sup> para micronutrientes.

No mesmo estágio, foi coletado solo da rizosfera de oito plantas por parcela, na camada de 0–20 cm. O solo aderido às raízes foi cuidadosamente separado por agitação manual, constituindo uma amostra composta por parcela. Após secagem ao ar, destorroamento e peneiramento em malha de 2 mm, as amostras foram submetidas à análise química de fertilidade, determinando-se: pH em CaCl<sub>2</sub> 0,01 mol L<sup>-1</sup>; fósforo (P) e potássio (K) extraíveis por Mehlich-1; cálcio (Ca<sup>2+</sup>), magnésio (Mg<sup>2+</sup>) e alumínio (Al<sup>3+</sup>) trocáveis extraídos com KCl 1 mol L<sup>-1</sup>; enxofre na forma de sulfato (S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) extraído com fosfato monocálcico;

micronutrientes (Fe, Zn, Mn e Cu) extraídos por DTPA (pH 7,3); matéria orgânica por oxidação úmida com dicromato de potássio; e acidez potencial (H+Al) pelo método SMP. A capacidade de troca catiônica (CTC a pH 7,0) e a saturação por bases (V%) foram calculadas a partir dos resultados obtidos. Os dados foram expressos em  $\text{mg dm}^{-3}$ ,  $\text{cmolc dm}^{-3}$  ou  $\text{g dm}^{-3}$ , conforme o parâmetro avaliado.

Aos 80 DAS (14/02/2025), avaliou-se a massa fresca e seca da parte aérea. As plantas coletadas em 2 m lineares por parcela foram cortadas rente ao solo e pesadas imediatamente para determinação da massa fresca. Posteriormente, as amostras foram secas em estufa de circulação forçada a 65 °C por 72 h até massa constante. A massa seca total foi dividida pelo número de plantas amostradas, e os resultados foram expressos em  $\text{g planta}^{-1}$ .

No estádio R6, foram coletadas 10 plantas aleatoriamente na área útil de cada parcela para determinação da altura de plantas (cm), medida do colo ao ápice da haste principal, número total de vagens por planta, número de grãos por vagem e classificação das vagens em função do número de grãos (1, 2, 3 ou 4 grãos).

A colheita foi realizada manualmente na área útil de 4,5 m<sup>2</sup> por parcela. Após trilha, a massa de grãos foi determinada e a produtividade calculada em  $\text{kg ha}^{-1}$ , com correção da umidade para 13% por meio da fórmula:

$$P_{\text{corr}} = P_{\text{bruta}} \times [(100 - U_{\text{bruta}}) / (100 - 13)]$$

A massa de mil grãos (MMG) foi determinada conforme as Regras para Análise de Sementes, utilizando-se oito repetições de 100 sementes por parcela, com posterior extrapolação para mil sementes e correção da umidade para 13%.

#### **4.7 Análise estatística**

Os dados foram submetidos à análise de variância conforme o modelo do delineamento em blocos ao acaso:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + B_j + \varepsilon_{ij}$$

Em que  $T_i$  representa o efeito fixo de tratamentos e  $B_j$  o efeito aleatório de blocos.

Foram verificados os pressupostos de normalidade dos resíduos (Shapiro–Wilk) e homogeneidade de variâncias (Bartlett ou Levene). Quando necessário, aplicaram-se transformações antes da ANOVA.

As médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando o programa AgroEstat (Barbosa & Maldonado Junior, 2020).

## **5 RESULTADOS E DISCURSÃO**

A análise química do solo indicou elevada disponibilidade de fósforo, com valores de até 66,38 mg dm<sup>-3</sup> (Mehlich-1), classificados como altos para a cultura da soja. Essa condição evidencia que o fósforo não se encontrava como fator limitante ao desenvolvimento das plantas no sistema experimental.

Não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos para produtividade de grãos e massa de mil grãos ( $p > 0,05$ ), indicando que a inoculação com bactérias solubilizadoras de fósforo não promoveu incrementos consistentes no rendimento da cultura nas condições avaliadas.

Esse comportamento pode ser explicado pela elevada disponibilidade do nutriente no solo, que reduz a dependência da cultura por mecanismos biológicos de solubilização. Em ambientes com alta disponibilidade de fósforo, a difusão do nutriente na solução do solo tende a ser suficiente para atender à demanda da cultura, limitando a expressão funcional de microrganismos solubilizadores e, conseqüentemente, sua eficiência agronômica.

Além disso, solos com maior nível de fertilidade tendem a apresentar microbiota nativa ativa, o que pode reduzir a eficiência de estirpes introduzidas devido à competição na rizosfera.

Embora alguns tratamentos tenham apresentado valores numericamente superiores de produtividade, essas diferenças não foram estatisticamente significativas, indicando que podem ser atribuídas à variabilidade experimental e não ao efeito dos tratamentos.

Resultados semelhantes são relatados na literatura, indicando que os benefícios da inoculação com microrganismos solubilizadores de fósforo são mais expressivos em solos com baixa disponibilidade do nutriente ou em sistemas com restrição nutricional.

## 5.1 Análise química foliar

Para a avaliação do estado nutricional da cultura da soja no estágio R1, os resultados da análise foliar encontram-se apresentados na Tabela 4.

**Tabela 4.** Teores foliares de macronutrientes ( $\text{g kg}^{-1}$ ) e micronutrientes ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) em R1, soja, safra 2024/2025.

ID	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	$\text{g.kg}^{-1}$						$\text{mg.kg}^{-1}$				
T1	61,77 ab	5,42 a	13,45 a	10,03 a	7,60 a	3,38 a	49,54 a	2,15 a	224,47 a	34,26 a	57,14 a
T2	60,60 b	5,15 a	13,33 a	9,65 a	7,30 a	3,18 a	50,49 a	1,65 a	213,58 a	36,99 a	55,93 a
T3	61,87 ab	5,55 a	13,73 a	9,75 a	8,00 a	3,30 a	61,40 a	1,68 a	217,62 a	36,53 a	56,36 a
T4	64,57 a	5,30 a	14,83 a	9,50 a	7,13 a	3,22 a	44,60 a	1,70 a	203,76 a	41,86 a	58,94 a
T5	64,45 a	5,30 a	13,78 a	9,45 a	7,57 a	3,15 a	47,25 a	1,72 a	191,34 a	39,33 a	56,84 a
T6	62,97 ab	5,35 a	14,85 a	10,02 a	8,00 a	3,07 a	61,29 a	1,41 a	185,79 a	34,38 a	55,08 a
C.V.(%)	2,05	6,23	13,67	6,95	7,40	4,73	31,22	39,19	10,09	18,35	7,95

\* Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste *Tukey*.

De modo geral, não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos para a maioria dos nutrientes ( $p > 0,05$ ), com exceção de pequenas variações nos teores de N.

Os teores de N, Ca e S situaram-se dentro das faixas consideradas adequadas para a cultura da soja. Por outro lado, P, Mg, Fe e Zn apresentaram valores elevados, enquanto K, Cu e Mn apresentaram teores relativamente baixos em todos os tratamentos. A interpretação agrônômica desses resultados é apresentada na sequência.

Os resultados da análise química dos grãos encontram-se apresentados na Tabela 5.

De modo geral, a ausência de diferenças significativas entre os tratamentos para a maioria dos nutrientes indica que os diferentes modos e momentos de aplicação do produto biológico não promoveram alterações expressivas no estado nutricional das plantas no estágio R1.

Os teores de N, Ca e S dentro das faixas consideradas adequadas sugerem que a cultura apresentou suprimento nutricional satisfatório durante a fase inicial de desenvolvimento reprodutivo, o que é essencial para a formação de estruturas produtivas. Por outro lado, os elevados teores de P, Mg, Fe e Zn podem estar associados à boa disponibilidade desses nutrientes no solo, favorecendo sua absorção pelas plantas.

Em contrapartida, os baixos teores de K, Cu e Mn observados em todos os tratamentos indicam possível limitação na disponibilidade ou absorção desses elementos, o que pode estar relacionado a fatores como interação entre nutrientes, condições de solo ou características fisiológicas da cultura.

A ausência de resposta significativa aos tratamentos pode indicar que, em condições de adequada fertilidade do solo, a aplicação de microrganismos promotores de crescimento apresenta efeito limitado sobre o estado nutricional foliar, especialmente no curto prazo.

**Tabela 5** – Estande de plantas (pl m<sup>-1</sup>) e altura de plantas (cm) aos 20 dias após a semeadura (DAS) na cultura da soja, safra 2024/2025.

ID	Estande	Altura de planta
	pl.m <sup>-1</sup>	(cm)
T1	10,84 a	90,13 a
T2	10,91 a	87,25 a
T3	10,69 a	86,13 a
T4	10,97 a	86,88 a
T5	10,22 a	88,25 a
T6	10,69 a	88,38 a
C.V. (%)	4,06	6,82

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste *Tukey*.

De modo geral, não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos para as variáveis estande de plantas e altura de plantas aos 20 DAS ( $p > 0,05$ ). Os resultados indicam que os diferentes modos e momentos de aplicação dos produtos biológicos não influenciaram o estabelecimento inicial da cultura.

Esse comportamento sugere que a emergência e o desenvolvimento inicial das plantas ocorreram de forma uniforme entre os tratamentos, possivelmente em função das condições adequadas de semeadura e do manejo adotado na área experimental.

## 5.2 Estande e altura de plantas

Os dados de estande e altura de plantas aos 20 DAS estão apresentados na Tabela 7. Não foram detectadas diferenças entre os tratamentos para estande (plantas m<sup>-1</sup>) nem para altura de plantas (cm), pelo teste de Tukey ( $p > 0,05$ ). O maior estande foi observado no T4 (10,97 plantas m<sup>-1</sup>) e a maior altura no T1 (90,13 cm), porém sem diferença estatística em relação aos demais tratamentos.

**Tabela 6.** Estande (plantas m<sup>-1</sup>) e altura de plantas (cm) aos 20 DAS, soja, Canarana-MT, safra 2024/2025. Delineamento em blocos ao acaso (5 repetições).

ID	Estande	Altura de planta
	pl.m <sup>-1</sup>	(cm)
T1	10,84 a	90,13 a
T2	10,91 a	87,25 a
T3	10,69 a	86,13 a
T4	10,97 a	86,88 a
T5	10,22 a	88,25 a
T6	10,69 a	88,38 a
C.V. (%)	4,06	6,82

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste *Tukey*.

A inexistência de diferenças significativas entre os tratamentos para estande de plantas e altura aos 20 DAS demonstra que os produtos biológicos aplicados, independentemente da forma de aplicação, não influenciaram o estabelecimento inicial da cultura.

Esse resultado sugere que a emergência e o crescimento inicial das plantas foram mais dependentes das condições edafoclimáticas e da qualidade da semente do que propriamente dos tratamentos avaliados. Em condições favoráveis, como boa umidade do solo e adequada profundidade de semente, a cultura tende a apresentar desenvolvimento uniforme, reduzindo a possibilidade de resposta a tratamentos biológicos nesse estágio inicial.

Além disso, é importante considerar que os efeitos de microrganismos do gênero *Bacillus spp.* frequentemente estão associados a processos como promoção de crescimento radicular e aumento da eficiência na absorção de nutrientes, cujos impactos podem se manifestar de forma mais evidente em estádios mais avançados da cultura.

### 5.3 Massa fresca e seca da parte aérea

A ausência de efeito significativo dos tratamentos sobre a massa fresca e a massa seca da parte aérea indica que a inoculação com bactérias solubilizadoras de fósforo não promoveu alterações expressivas no crescimento vegetativo da soja nas condições avaliadas. Embora o tratamento T5 tenha apresentado as maiores médias de biomassa, com 29,09 g planta<sup>-1</sup> de massa fresca e 7,54 g planta<sup>-1</sup> de massa seca, essas diferenças não foram estatisticamente significativas em relação aos demais tratamentos. Esse comportamento sugere que os processos fisiológicos associados ao crescimento inicial da cultura, como expansão foliar, alongamento de hastes e acúmulo de biomassa, não foram limitados pela disponibilidade de fósforo no sistema. Em situações nas quais o nutriente não constitui fator restritivo ao desenvolvimento das plantas, a contribuição de microrganismos solubilizadores tende a ser menos evidente, uma vez que o principal mecanismo de ação desses organismos está relacionado ao aumento da fração disponível de fósforo no solo. Além disso, o coeficiente de variação relativamente elevado observado para essas variáveis indica maior variabilidade entre parcelas experimentais, característica comum em avaliações de biomassa em condições de campo e que pode reduzir a sensibilidade estatística para detectar diferenças entre tratamentos. Dessa forma, embora alguns manejos tenham apresentado incrementos numéricos na biomassa, os resultados sugerem que, nas condições experimentais avaliadas, a inoculação com *Bacillus spp.* não alterou de forma consistente o crescimento vegetativo da cultura.

Com vistas a avaliar o crescimento vegetativo, quantificaram-se a massa fresca e a massa seca da parte aérea aos 80 DAS (Tabela 8). Não houve efeito dos tratamentos sobre essas variáveis ( $p > 0,05$ ). Embora o T5 tenha apresentado as maiores médias (29,09 g planta<sup>-1</sup> para massa fresca e 7,54 g planta<sup>-1</sup> para massa seca), não houve diferença estatística em relação aos demais tratamentos.

**Tabela 7.** Massa fresca e massa seca da parte aérea (g planta<sup>-1</sup>) aos 80 DAS, soja, safra 2024/2025.

ID	M. fresca da parte aérea		M. seca da parte aérea
		(g)	
T1	22,87 a		6,09 a
T2	25,31 a		6,46 a
T3	22,57 a		5,99 a
T4	25,33 a		6,36 a
T5	29,09 a		7,54 a
T5	21,43 a		5,50 a
C.V. (%)	22,59		22,20

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de *Tukey*.

## 5.4 Produtividade e massa de mil grãos

As médias de produtividade e massa de mil grãos estão apresentadas na Tabela 8. A ausência de resposta significativa à inoculação com *Bacillus spp.* pode estar associada ao elevado teor inicial de fósforo no solo (até 66 mg dm<sup>-3</sup> de P Mehlich-1), condição na qual a disponibilidade do nutriente provavelmente não constituiu fator limitante ao crescimento da cultura. Estudos conduzidos em solos com níveis adequados ou elevados de fósforo frequentemente relatam respostas reduzidas à inoculação com microrganismos solubilizadores, uma vez que o benefício desses microrganismos tende a ser mais pronunciado em ambientes com baixa disponibilidade do nutriente.

O T4 apresentou a maior produtividade média (5.254,22 kg ha<sup>-1</sup> ou 87,55 sc ha<sup>-1</sup>), correspondendo a incremento de 12,16% em relação ao T1 (padrão do produtor). O maior valor de massa de mil grãos foi observado no T3 (180,41 g), sem diferença estatística.

**Tabela 8.** Produtividade (kg ha<sup>-1</sup> e sc ha<sup>-1</sup>), incremento de produção (%) em relação ao T1 e massa de mil grãos (g), soja, safra 2024/2025.

ID	PRODUTIVIDADE		Incremento (%)	MMG (g)
	(Kg.ha <sup>-1</sup> )	(sc.ha <sup>-1</sup> )		
T1	4683,09 a	78,06 a	0,00	162,26 a
T2	4936,70 a	82,28 a	5,41	159,35 a
T3	5021,18 a	83,74 a	7,28	180,41 a
T4	5254,22 a	87,55 a	12,16	153,18 a
T5	4911,97 a	81,87 a	4,88	159,04 a
T6	5015,98 a	83,60 a	7,10	156,43 a
C.V. (%)	8,68	8,68		7,77

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

De modo geral, os tratamentos com *Bacillus spp.* não promoveram diferenças estatisticamente significativas para as variáveis avaliadas, incluindo crescimento inicial, estado nutricional, componentes de rendimento e produtividade, nas condições edafoclimáticas da safra 2024/2025. As variações observadas entre médias indicam tendências pontuais, cuja relevância agrônômica será discutida à luz da literatura na seção seguinte.

## 6 CONCLUSÃO

Nas condições edafoclimáticas em que o experimento foi conduzido, a inoculação com bactérias solubilizadoras de fósforo associadas ao manejo de adubação fosfatada não promoveu diferenças estatisticamente significativas no crescimento vegetativo, na nutrição mineral ou na produtividade da cultura da soja. Esse comportamento está provavelmente relacionado ao elevado teor inicial de fósforo disponível no solo, que atingiu valores considerados altos para sistemas de produção da cultura, reduzindo a limitação nutricional e, conseqüentemente, o potencial de resposta à ação de microrganismos solubilizadores.

Embora alguns tratamentos tenham apresentado incrementos numéricos de produtividade em relação ao manejo padrão do produtor, esses efeitos não foram suficientes para caracterizar ganhos agronomicamente consistentes nas condições avaliadas. Dessa forma, os resultados indicam que a eficiência da inoculação com *Bacillus spp.* como estratégia para aumentar a disponibilidade de fósforo pode ser dependente do nível inicial de fertilidade do solo, sendo potencialmente mais expressiva em ambientes com menor disponibilidade desse nutriente. Assim, novos estudos conduzidos em solos com diferentes níveis de fósforo disponível são importantes para ampliar a compreensão do potencial agrônômico desses bioinsumos em sistemas de produção de soja.

## REFERÊNCIAS

ABREU, C. S.; FIGUEIREDO, J. E. F.; OLIVEIRA, C. A.; SANTOS, V. L.; GOMES, E. A.; RIBEIRO, V. P.; BARROS, B. A.; LANA, U. G. P.; MARRIEL, I. E. Maize endophytic bacteria as mineral phosphate solubilizers. **Genetics and Molecular Research**, v. 16, n. 1, p. 1-13, 2017

ALMEIDA, R. G.; MACEDO, M. C. M.; ALVES, F. V. Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta com ênfase na produção de carne. In: II CONGRESO COLOMBIANO Y I SEMINARIO INTERNACIONAL SILVOPASTOREO, 2012, Medellín. Anais... Medellín, Colômbia: Universidad Nacional de Colombia. Disponível em: <http://www.unalmed.edu.co/~biorum/memorias.html>. 18p. 2012.

ALVARENGA, R. C.; PORFÍRIO-DA-SILVA, V.; GONTIJO NETO, M. M.; VIANA, M. C. M.; VILELA, L. Sistemas Integração Lavoura-Pecuária-Floresta: condicionamento do solo e a intensificação da produção de lavouras. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 31, n. 257, p. 1-9, 2010.

ASSIS, P. C. R.; STONE, L. F.; DE MOURA OLIVEIRA, J.; WRUCK, F. J.; MADARI, B. E.; HEINEMANN, A. B. Atributos físicos, químicos e biológicos do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. **Agrarian**, v. 12, n. 43, p. 57-70, 2019.

BALBINO, L.C.; BARCELLOS, A. O. de; STONE, L. F. Marco referencial: integração lavoura-pecuária-floresta (iLPF). Brasília, DF: Embrapa, 2011. 130p.

BARGAZ, A.; WISSAL ELHAISOUI, W.; KHOURCHI, S.; BENMRID, B.; BORDEN, K. A.; RCHIAD, Z. Benefits of phosphate solubilizing bacteria on belowground crop performance for improved crop acquisition of phosphorus. **Microbiological Research**, v. 252, n. 12684, 2021.

BIOMA – BiomaPhos. Disponível em: [≤https://www.bioma.ind.br/produto/biomaphos>](https://www.bioma.ind.br/produto/biomaphos)

BOLO, P.; KIHARA, J.; MUCHERU-MUNA, M.; NJERU, E. M.; KINYUA, M.; SOMMER, R. Application of residue, inorganic fertilizer and lime affect phosphorus solubilizing microorganisms and microbial biomass under different tillage and cropping systems in a Ferralsol. **Geoderma**, v. 390, n. 114962, 2021.

BONONI, L.; CHIARAMONTE, J. B.; PANSA, C. C.; MOITINHO, M. A.; MELO, I. S. Phosphorus-solubilizing *Trichoderma* spp. from Amazon soils improve soybean plant growth. *Scientific Reports*, v. 10, article 2858, 2020.

CARVALHO, R. M. M.; SILVA, M. R.; CARVALHO, F. C. T.; REBOUÇAS, R. H.; SOUSA, O. V. Bactérias Solubilizadoras de Fosfato em solo rizosférico da Caatinga. *Revista Geonorte – Edição Especial V. v. 7, n. 26, p. 48-60, 2016.*

CHEN, Y. P.; REKHA, P. D.; ARUN, A. B.; SHEN, F. T.; LAI, W. A.; YOUNG, C. C. Phosphate solubilizing bacteria from subtropical soil and their tricalcium phosphate solubilizing abilities. **Applied Soil Ecology**, v. 34, n. 1, p. 33-41, 2006.

CISNEROS, C. A.; SANCHÉZ, M. P.; MENJIVAR, J. C. F. Influencia de microorganismos solubilizadores de fósforo del suelo y su absorción por plántulas de café. **Bioagro**, v. 28, n. 2, p. 95-106, 2016.

CONTINI, E.; ARAGÃO, A. O agro brasileiro alimenta 800 milhões de pessoas. Disponível em: [www.gov.br/pt-br/noticias/agricultura-epecuaria/2021/03/participacao-brasileira-saltou-de-us-20-6-bilhoes-para-us-100-bilhoes/populacao-alimentada-pelo-brasil.pdf](http://www.gov.br/pt-br/noticias/agricultura-epecuaria/2021/03/participacao-brasileira-saltou-de-us-20-6-bilhoes-para-us-100-bilhoes/populacao-alimentada-pelo-brasil.pdf). Acesso em: 10 ago. 2022

CONWAY, G. R. The properties of agroecosystems. *Agricultural systems*, Essex v. 24, n. 2, p. 95-117, 1987.

DIEL, D. BEHLING, M.; FARIAS NETO, A. L.; ISERNHAGEM, E. C. C. Distribuição horizontal e vertical de fósforo em sistemas de cultivos exclusivos de soja e de integração lavoura-pecuária-floresta. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.49, n.8, p.639-647, 2014

DOMINGUES NETO, F. J.; YOSHIMI, F. K.; GARCIA, R. D.; MIYAMOTO, Y. R.; DOMINGUES, M. C. S. Desenvolvimento e produtividade do milho verde safrinha em resposta à aplicação foliar com *Azospirillum brasilense*. Enciclopédia Biosfera, Goiânia, v. 9, n. 17, p. 1030-1040, 2013.

DOMINGUES, T. F.; MEIR, P.; FELDPAUSCH, T. R.; SAIZ, G.; VEENENDAAL, E. M.; SCHRODT, F.; BEID, M.; DJAGBLETEY, G.; HIEN, F.; CAMPAORE, H.; DIALLO, A.; GRACE, J.; LLOYD, J. Co-limitation of photosynthetic capacity by nitrogen and phosphorus in West Africa Woodlands. *Plant, Cell and Environment*, v. 33, p. 959-980, 2010.

DUARTE, C. F. D.; CECATO, U.; HUNGRIA, M.; FERNANDES, H. J.; BISERRA, T. T.; MAMÉDIO, D.; ... NOGUEIRA, M. A. Inoculação de bactérias promotoras do crescimento vegetal em *Urochloa Ruziziensis*. *Research, Society and Development*, v. 9, n. 8, p. e630985978-e630985978, 2020.

DUPRAZ, Christian; LIAGRE, Fabien. *Agroforesterie: des arbres et des cultures*. France Agricole Editions, 2008.

EMBRAPA. Integração lavoura-pecuária-floresta: noções técnicas 2019. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/tema-integracao-lavoura-pecuaria-floresta-ilpf/nota-tecnica>>. Acesso em: 10 set. 2019.

ETESAMI, H.; MAHESHWARI, D. K. Use of plant growth promoting rhizobacteria (PGPRs) with multiple plant growth promoting traits in stress agriculture: action mechanisms and future prospects. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 156, p. 225-246, 2018.

FARIAS NETO, A. L.; NASCIMENTO, A. F.; ROSSONI, A. L.; MAGALHÃES, C. A. S.; ITUASSÚ, D. R.; HOOGERHEIDE, E. S. S.; ... CARNEVALLI, R. A. Primeiras contribuições para o desenvolvimento de uma Agropecuária Sustentável. Brasília: Embrapa, 2019. 825 p.

FONTANELI, R. S.; DOS SANTOS, H. P.; NASCIMENTO JUNIOR, A. D.; DE

CASTRO, R. L.; CAIERÃO, E.; KORCELSKI, C., ... RODIGHEIRO, K. Integração lavoura-pecuária-floresta: intensificação sustentável para a sobrevivência humana. Embrapa Trigo-Artigo em periódico indexado (ALICE), 2019.

GATIBONI, L.C.; KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D.S.; FLORES, J.P.C. Biodisponibilidade de formas de P acumuladas em solo sob sistema plantio direto. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.31, p.691-699, 2007.

GATIBONI, Luciano Colpo et al. Fósforo da biomassa microbiana e atividade de fosfatases ácidas durante a diminuição do fósforo disponível no solo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 43, p. 1085-1091, 2008.

GHERI, E. O.; CRUZ, M. C. P.; FERREIRA, M. E.; PALMA, L. A. S. Nível crítico de fósforo no solo para *Panicum maximum* Jacq. cv. Tanzânia. Pesquisa agropecuária Brasileira, v.35, n.9, p.1809-1816, 2000.

GHOSH, P. K.; MAITI, T. K.; PRAMANIK, K.; GHOSH, S. K.; MITRA, S.; DE, T. K. The role of arsenic resistant *Bacillus aryabhatai* MCC3374 in promotion of rice seedlings growth and alleviation of arsenic phytotoxicity. Chemosphere, v. 211, p. 407-419, 2018.

GLOBALFERT. Importação de fertilizantes bate recorde em 2020. Análises. Disponível em: [www.globalfert.com.br/analises/importacao-de-fertilizantesbate-recorde-em-2020/](http://www.globalfert.com.br/analises/importacao-de-fertilizantesbate-recorde-em-2020/). Acesso em: 21 ago. 2022.

GNIAZDOWSKA, A.; KRAWCZAK, A.; MIKULSKA, M. & RYCHTER, A.M. Low phosphorus nutrition alters beans plants' ability to assimilate and translocate nitrate. J. Plant Nut., 22:551-563, 1999.

GOEDERT, W. J.; SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. Fósforo. In: GOEDERT, W.J., ed. Solos dos cerrados: tecnologias e estratégias de manejo. São Paulo, Nobel, 1986. p.129-166.

GOMES, E.; SILVA, U.; MARRIEL, I.; OLIVEIRA, C.; LANA, U. Rock phosphate solubilizing microorganisms isolated from maize rhizosphere soil. Revista Brasileira de Milho

e Sorgo, v. 13, n. 1, p. 69-81, 2014.

GONZAGA E. N. Densidade e atividade bacteriana em solos de sistemas de produção agrícola no norte de Mato Grosso. 2015. 33f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Federal do Mato Grosso. Sinop. 2015

GREINER, R. Phytate-degrading enzymes: regulation of synthesis in microorganisms and plants. In: TURNER, B. L.; RICHARDSON, A. E.; MULLANEY, E. J. (Ed.). Inositol phosphates: linking agriculture and environment. London: CAB International, 2006. p. 78-96.

HARGER, Nelson et al. Avaliação de fontes e doses de fósforo no crescimento inicial do milho. Semina: Ciências Agrárias, v. 28, n. 1, p. 39-44, 2007.

JORGUERA, M. A.; CROWLEY, D. E.; MARSCHNER, P.; GREINER, R.; FERNANDEZ, M. T.; ROMERO, D.; MENEZES-BLACKBURN, D.; MORA, M. L. Identification of propeller phytase-encoding genes in culturable *Paenibacillus* and *Bacillus spp.* From the rhizosphere of pasture plants on volcanic soils. FEMS Microbiology Ecology, Amsterdam, v. 75, p. 163-172, 2011.

KALAYU, G. Phosphate solubilizing microorganisms: promising approach as biofertilizers. International Journal of Agronomy, v. 2019, article ID 4917256, 2019.

KASIM, W. A. et al. Control of Drought Stress in Wheat Using Plant-Growth Promoting Bacteria. Journal of Plant Growth Regulation, v.32, n.1, p.122-130. 2013.

KHAN, M. S.; ALMAS ZAIDI, A.; AHMAD, M.; OVES, M.; WANI, A. A. Plant growth promotion by phosphate solubilizing fungi – current perspective. Archives of Agronomy and Soil Science, v.56, n. 1, p73-98, 2010.

KICHEL, A.N.; ALMEIDA, R.G.; COSTA, J.A.A. Integração lavoura-pecuária-floresta e sustentabilidade na produção de soja. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 6, 2012, Cuiabá, MT. Anais... Cuiabá, MT: Embrapa; Aprosoja, 2012. p. 1-3. 1 CD-ROM.

KICHEL, A. N.; MIRANDA, C. H. B. Sistemas de integração agricultura & pecuária. Campo Grande: Embrapa Gado e Corte, 2001.

KOWALSKA, J.; TYBURSKI, J.; MATYSIAK, K.; TYLKOWSKI, B.; MALUSA, E. Field Exploitation of Multiple Functions of Beneficial Microorganisms for Plant Nutrition and Protection: Real Possibility or Just a Hope? *Frontiers in Microbiology*, v. 11, article 1904, 2020

LINKOHR, B. I. et al. Nitrate and phosphate availability and distribution have different effects on root system architecture of arabidopsis. *Plant Journal*, v.29, n.6, p. 751-760, 2002.

LINKOHR, B., L.; WILLIAMSON, A.; FITTER, A.; LEYSER, H. Nitrate and phosphate availability and distribution have different effects on root system architecture of Arabidopsis. *The Plant Journal*, v. 29, n. 6, p. 751–760. 2002

LOPES, A. S. Manual Internacional de fertilidade do solo. 2 ed. POTAFOS: Piracicaba. 1998. 177p.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; GIÁCOMO, S. G.; PERIN, A.; ANJOS, L. H. C. dos. Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo sob plantio direto com integração lavoura-pecuária. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 46, n. 10, p. 1269-1276, 2011.

MACEDO, R. L. G.; VALE, A. B.; VENTURIN, N. Eucalipto em sistemas agroflorestais. Lavras: UFLA, 2010. 331p.

MACHADO, P. L. O. A.; MADARI, B. E.; BALBINO, L. C. Manejo e conservação do solo e água no contexto das mudanças ambientais – Panorama Brasil. In: PRADO, R. B.; TURETTA, A. P. D.; ANDRADE, A. G. (Org.). Manejo e conservação do solo e da água no contexto das mudanças ambientais. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2010. p. 41-52.

MALAVOLTA, E. ABC da adubação. São Paulo: Agronômica Ceres, 1989. 292 p.

MALAVOLTA, E. Elementos de nutrição mineral de plantas. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251 p.

MARIANO, R. D. L. R.; DA SILVEIRA, E. B.; DE ASSIS, S. M. P.; GOMES, A. M. A.; NASCIMENTO, A. R. P.; DONATO, V. M. T. S. Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica, v. 1, p. 89-111, 2004.

MASCHIO, Heitor Alves. Fornecimento de fósforo mineral associado à inoculação de microrganismos solubilizadores de fosfato na cultura do sorgo. 2021.

McGILL, W.B.; COLE, C.V. Comparative aspects of cycling of organic C, N, S and P through soil organic matter. Geoderma, v.26, p.267-286, 1981.

MENDES, I. de C.; DOS REIS JUNIOR, F. B. Microrganismos e disponibilidade de fósforo (P) nos solos: uma análise crítica. 2003.

MENDES, I. de C.; DOS REIS JUNIOR, F. B. Microrganismos e disponibilidade de fósforo (P) nos solos: uma análise crítica. 2003.

NARLOCH, Charles. Interação microrganismos solubilizadores de fosfatos-fungos ectomicorrízicos e o crescimento de Pinus taeda L. 2002.

NAUTIYAL, C. S. et al. Stress induced phosphate solubilization in bacteria isolated from alkaline soils. FEMS Microbiology Letters, v. 182, p. 291-296, 2000.

NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; NEVES, J.C.L. & COUTO, C. Níveis críticos de fósforo no solo para o eucalipto. R. Arv, 6:29-37, 1982.

OLIVEIRA, C. A.; ALVES, V. M. C.; MARRIEL, I. E.; GOMES, E. A.; SCOTTI, M. R. S. M.; CARNEIRO, N. M.; GUIMARÃES, C. T.; SCHAFFERT, R. E.; SÁ, N. M. A. Phosphate solubilizing microorganisms isolated from rhizosphere of maize cultivated in an oxisol of the Brazilian cerrado biome. Soil Biology and Biochemistry, Oxford, v. 25, p. 1-6, 2009.

OLIVEIRA-PAIVA, C. A. et al. Metodologia de aplicação de microrganismos solubilizadores de fósforo em sementes visando melhor aproveitamento deste nutriente pelas

plantas. Embrapa Milho e Sorgo-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E), 2013.

OLIVEIRA-PAIVA, C. A.; ALVES, V. M. C.; MARRIEL, I. E.; GOMES, E. A.; SCOTTI, M. R.; CARNEIRO, N. P.; GUIMARÃES, C. T.; SCHAFFERT, R. E.; SÁ, N. M. H. Phosphate solubilizing microorganisms isolated from rhizosphere of maize cultivated in an oxisol of the Brazilian Cerrado Biome. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 41, n. 9, p. 1782-1787, 2009.

OLIVEIRA-PAIVA, C. A.; COTA, L. V.; MARRIEL, I. E.; GOMES, E. A.; SOUSA, S. M. de; LANA, U. G. de P.; SANTOS, F. C. dos; PINTO JÚNIOR, A. S.; ALVES, V. M. C. Viabilidade técnica e econômica do Biomaphos® (*Bacillus subtilis* CNPMS B2084 e *Bacillus megaterium* CNPMS B119) nas culturas de milho e soja. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2020a. 20 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 210

PANDEY, P.; MAHESHWARI, D. K. Bioformulation of Burkholderia sp. MSSP with a multispecies consortium for growth promotion of *Cajanus cajan*. *Canadian Journal of Microbiology*, Ottawa, v. 53, p. 213-222, 2007.

PANTANO, Glauca et al. Sustentabilidade no uso do fósforo: uma questão de segurança hídrica e alimentar. *Química Nova*, v. 39, p. 732-740, 2016.

PATERNIANI, Ernesto. Agricultura sustentável nos trópicos. *Estudos avançados*, v. 15, p. 303-326, 2001.

PAVINATO, P. S.; CHERUBIN, M. R.; SOLTANGHEIS, A.; ROCHA, G. C.; CHADWICK, D. R.; JONES, D. L. Revealing soil legacy phosphorus to promote sustainable agriculture in Brazil. *Scientific Reports*, v. 10, article 15615, 2020. DOI: 10.1038/s41598-020-72302-1.

PEREIRA, Hamilton Seron. Fósforo e potássio exigem manejos diferenciados. *Visão agrícola*, n. 9, 2009.

PINEDA, M. E. B. La solubilización de fosfatos como estrategia microbiana para promover el crecimiento vegetal. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. v. 15, n. 1, p. 101-113, 2014.

PORFÍRIO-DA-SILVA, V. et al. Arborização de pastagens com espécies florestais madeireiras: implantação e manejo. Colombo: Embrapa Florestas, 2009.

PORFÍRIO-DA-SILVA, V.; MEDRADO, M. J. S.; NICODEMO, M. L. F.; DERETI, R. M. Arborização de pastagens com espécies florestais madeireiras: implantação e Manejo. Embrapa Pecuária Sudeste-Folderes/Folhetos/Cartilhas (INFOTECA-E), 2010.

PRIMAVESI, A. A pecuária de corte brasileira e o aquecimento global. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2007. 42 p.

PRIMAVESI, A. Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais. São Paulo: NBL Editora, 2002. 263 p.

REIS, M. R.; SILVA, A. A.; GUIMARÃES, A. A.; COSTA, M. D.; MASSENSINI, A. M.; FERREIRA, E. A. Ação de herbicidas sobre microrganismos solubilizadores de fosfato inorgânico em solo rizosférico de cana-de-açúcar. Planta Daninha, Viçosa-MG, v. 26, n. 2, p. 333-341, 2008.

REIS, V. M. Uso de bactérias fixadoras de nitrogênio como inoculante para aplicação em gramíneas. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2007. 22p

RHEINHEIMER, D. S.; ANGHINONI, I. Distribuição do fósforo inorgânico em sistemas de manejo de solo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 36, p. 151-160, 2001.

RHEINHEIMER, D.S.; GATIBONI, L.C.; KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. Ciência Rural, v.38, p.576-586, 2008.

RICHARDSON, A. E. Prospects for using soli microorganisms to improve the

acquisition of phosphorus by plants. Australian Journal of Plant Physiology, Victoria, v. 28, p. 897-906, 2001.

SANTI, C.; BOGUSZ, D.; FRANCHE, C. Biological nitrogen fixation in non-legume plants. Annals of Botany, v.111, p.743-767, 2013.

SANTOS, D. R.; GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. Ciência Rural, v.38, n.2, p.576-586, 2008.

SCHUMACHER, Mauro Valdir; CECONI, Denise Ester; SANTANA, Cedinara Arruda. Influência de diferentes doses de fósforo no crescimento de mudas de angico-vermelho (*Parapiptadenia rigida* (Benth) Brenan). Revista árvore, v. 28, p. 149-155, 2004.

SILVA FILHO, G. N.; NARLOCH, C.; SCHARF, R. Solubilização de fosfatos naturais por microrganismos isolados de cultivos de *Pinus* e *Eucalyptus* de Santa Catarina. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 37, n. 6, p. 847-854, 2002

SILVA FILHO, G. N.; VIDOR, C. Solubilização de fosfatos por microrganismos na presença de fontes de carbono. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG, v. 24, n. 2, p. 311- 319, 2000.

SILVA, Adriano Alves; DELATORRE, Carla Andréa. Alterações na arquitetura de raiz em resposta à disponibilidade de fósforo e nitrogênio. Revista de Ciências Agroveterinárias, v. 8, n. 2, p. 152-163, 2009.

SILVA, E. F. D.; LOURENTE, E. P. R.; MARCHETTI, M. E.; MERCANTE, F. M.; FERREIRA, A. K. T.; FUJII, G. C. Frações lábeis e recalcitrantes da matéria orgânica em solos sob integração lavoura-pecuária. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 46, p. 1321-1331, 2011.

SKORUPA, L. A.; MANZATTO, C. V. Avaliação da Adoção de Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) no Brasil. In Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta no Brasil: Estratégias Regionais de Transferência de Tecnologia, Avaliação da Adoção

e de Impactos; Embrapa: Brasília, 2019.

SOUCHIE, E. L.; AZCÓN, R.; BAREA, J. M. Solubilização de fosfatos em meios sólido e líquido por bactérias e fungos do solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.40, n.11, p.1149-1152, 2005

SOUZA, J. F. D.; PERUSSO, R. L. S.; BONINI, C. D. S.; SOUZA, C. D.; LUPATINI, G. C.; ANDRIGHETTO, C., ... PEDRO, F. G. Atributos físicos, matéria orgânica do solo e produção de capim marandu em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta. *Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas*, v. 13, n. 1, p. 51-64, 2019.

STOCKDALE, E. A.; SHEPARD, M. A.; FORTUNE, S.; CUTTLE, S. P. Soil fertility in organic farming systems: fundamentally different? *Soil Use and Management*, Oxford, v. 18, p. 301-308, 2002.

STRZELCZYK, E. & ROZYCKI, H. - Production of B-group vitamins by bacteria isolated from soil, rhizosphere, and mycorrhizosphere of Pine (*Pinus sylvestris* L.). *Zbl. Mikrobiol.*, 140: 293-301, 1985.

SWETHA, S.; PADMAVATHI, T. Study of acid phosphatase in solubilization of inorganic phosphates by *Piriformospora indica*. *Polish Journal Microbiology*, v. 65, p. 407–412. 2016.

TANUS, T. A. R. Rizobactérias no desenvolvimento e qualidade de mudas de *Peltophorum dubium* (Spreng) Taub. 2022. 17f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia Agrônômica) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. 2022.

VERARDI, Júnior et al. Nova fonte de fósforo na agricultura: validação no solo e na máquina. In: 6º Mostra de Iniciação Científica, Tecnológica e de Inovação. 2016.

VILELA, L.; BARCELOS, A. O.; SOUSA, D. M. G. de. Benefícios da integração entre lavoura e pecuária. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2001.

VITTI, G. C.; WIT, A.; FERNANDES, B. E. P. Eficiência agronômica dos termofosfatos e fosfatos reativos naturais. In: SIMPÓSIO SOBRE FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA. 1., 2004, Piracicaba. Anais... Piracicaba: POTAFOS, 2004. p.690-694.

WARREN, C. R. How does P affect photosynthesis and metabolite profiles of *Eucalyptus globules*? *Tree Physiology*, v. 31, p. 727-739, 2011.