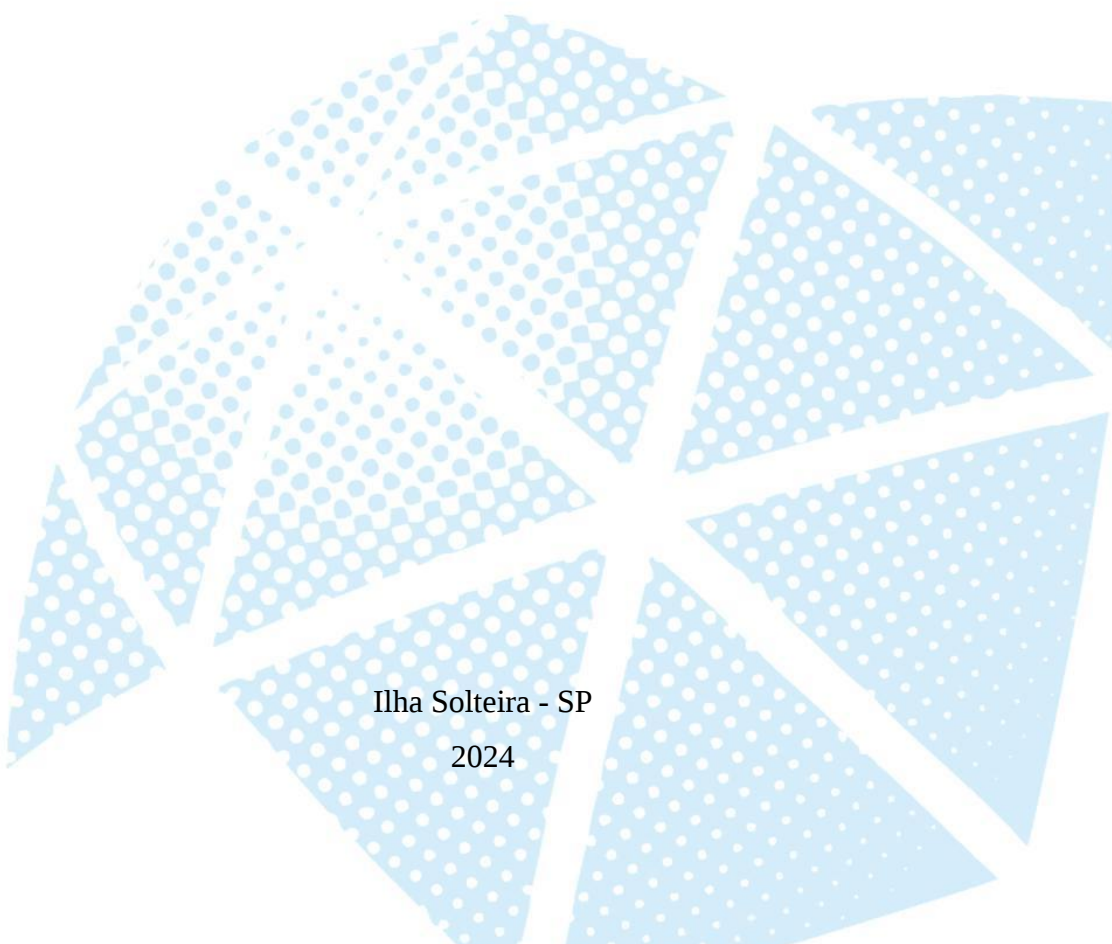


**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

LOIANE FERNANDA ROMÃO DE SOUZA

**COINOCULAÇÃO COM MICRORGANISMOS BENÉFICOS PARA REDUÇÃO DA
ADUBAÇÃO COM NPK NO FEIJOEIRO EM SOLO ARGILOSO E ARENOSO**



Ilha Solteira - SP

2024

LOIANE FERNANDA ROMÃO DE SOUZA

**COINOCULAÇÃO COM MICRORGANISMOS BENÉFICOS PARA REDUÇÃO DA
ADUBAÇÃO COM NPK NO FEIJOEIRO EM DUAS LOCALIDADES**

Dissertação de mestrado acadêmico apresentada à
Universidade Estadual Paulista (UNESP),
Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Ilha
Solteira SP, para obtenção do título Mestre(a) em
Agronomia- Especialidade: Sistemas de Produção.

Área de Concentração: Ecofisiologia, técnicas
especiais e manejo cultural em sistemas de
produção agrícola.

Orientador: Prof. Dr. Vagner do Nascimento

Coorientador: Prof. Dr. Marcelo Carvalho
Minhoto Teixeira Filho

Ilha Solteira - SP

2024

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvida pela Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação

S729c Souza, Loiane Fernanda Romão de.
Coinoculação com microrganismos benéficos para redução da adubação com NPK no feijoeiro em solo argiloso e arenoso / Loiane Fernanda Romão de Souza. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2025

82 f.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Sistemas de Produção, 2025

Orientador: Vagner do Nascimento

Coorientador: Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho

Inclui bibliografia

1. *Phaseolus vulgaris* L. 2. *Rhizobium Tropici* 3. *Azospirillum brasilense*. 4. *Bacillus subtilis*. 5. *Trichoderma harzianum*. 6. Microrganismos benéficos.

IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

A coinoculação ou inoculação mista de microrganismos benéficos pode promover o crescimento de plantas do feijoeiro e a fixação biológica de nitrogênio, propiciando o incremento na produtividade de grãos. A diminuição do uso de fertilizantes químicos reduz os custos de produção para os agricultores e o impacto ambiental. As práticas adotadas na pesquisa contribuem para a conservação do meio ambiente e a mitigação das mudanças climáticas. O desenvolvimento de novas formulações de inoculantes e o uso de tecnologias de precisão abrem novas perspectivas para a agricultura. A pesquisa beneficia pequenos agricultores, comunidades rurais e a sociedade como um todo, promovendo a segurança alimentar e o desenvolvimento sustentável.

POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

The co-inoculation or mixed inoculation of beneficial microorganisms can promote the growth of bean plants and biological nitrogen fixation, leading to increased grain productivity. The reduction in the use of chemical fertilizers decreases production costs for farmers and environmental impact. The practices adopted in the research contribute to environmental conservation and climate change mitigation. The development of new inoculant formulations and the use of precision technologies open up new perspectives for agriculture. The research benefits small farmers, rural communities, and society as a whole, promoting food security and sustainable development.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Coinoculação com microrganismos benéficos para redução da adubação com NPK no feijoeiro em solo argiloso e arenoso

AUTORA: LOIANE FERNANDA ROMÃO DE SOUZA

ORIENTADOR: VAGNER DO NASCIMENTO

COORDENADOR: MARCELO CARVALHO MINHOTO TEIXEIRA FILHO

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em Agronomia, área:
Sistemas de Produção pela Comissão Examinadora:



VAGNER DO NASCIMENTO
Documento assinado digitalmente
Data: 17/01/2025 16:49:57 -0300
Verifique em <https://validar.br.gov.br>

Prof. Dr. VAGNER DO NASCIMENTO (Participação Virtual)
Departamento de Produção Vegetal / Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas - UNESP



ELISANGELA DUPAS
Documento assinado digitalmente
Data: 17/01/2025 17:27:34 -0300
Verifique em <https://validar.br.gov.br>

Profa. Dra. ELISANGELA DUPAS (Participação Virtual)
Faculdade de Ciências Agrárias / Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD



THAIS SOTO BONI
Documento assinado digitalmente
Data: 17/01/2025 17:53:42 -0300
Verifique em <https://validar.br.gov.br>

Profa. Dra. THAIS SOTO BONI (Participação Virtual)
Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP

Ilha Solteira, 17 de janeiro de 2025

“Dedico este trabalho ao Deus de toda a ciência e aos meus amados pais por todo trabalho árduo deixado nos campos por onde passaram para que eu pudesse chegar até aqui”.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me proporcionar a oportunidade de vivenciar toda essa trajetória. À Faculdade de Engenharia da Unesp, campus de Ilha Solteira, por tornar possível a realização do meu sonho de graduação e, agora, de mestrado.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Vagner do Nascimento, e ao coorientador, Prof. Dr. Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho, sou grata pela orientação e pelos ensinamentos valiosos.

À minha família, que sempre me apoiou e incentivou a trabalhar com muito empenho e dedicação em tudo que faço. Ao meu companheiro de vida, Pedro Henrique Gomes de Carvalho, agradeço por todo o apoio e por me ajudar a tornar mais uma etapa da minha vida possível.

Aos amigos da pós-graduação que trilharam esse caminho ao meu lado, aos colegas membros do grupo de pesquisa Nutrição de Plantas da Unesp, campus de Ilha Solteira, e do Grupo de Estudos e Pesquisa em Agricultura de Cereais da Unesp, campus de Dracena, sou imensamente grata.

Aos professores do programa de pós-graduação em Agronomia, aos técnicos, servidores e funcionários da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da Unesp de Ilha Solteira (FEPE) por todo o apoio prestado no campo. Sem a colaboração de todos, este trabalho não seria possível.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001-Processo 88887.805769/2023-00.

“É justo que me custe, o que muito me vale” (Santa Teresa D’Ávila).

RESUMO

Considerando a hipótese de que a inoculação mista com microrganismos benéficos pode otimizar a fixação biológica de nitrogênio, e maximizar os efeitos da bactéria *Rhizobium tropici*. Essa prática, além de promover o crescimento vegetal e aumentar a eficiência na nutrição mineral, pode reduzir a necessidade de adubação mineral. Diante deste contexto, o objetivo desta pesquisa foi investigar os efeitos da inoculação isolada de *R. tropici* e se ocorre efeitos sinérgicos quando combinados a outros microrganismos benéficos (coinoculação) associados à substituição parcial da adubação com NPK nas características agronômicas e produtivas do feijoeiro (cv. IAC 1850). O estudo compreendeu dois experimentos, desenvolvidos em dois tipos de solos distintos, compreendendo um Latossolo Vermelho distrófico, de textura argilosa, em Selvíria-MS, e um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico, de textura arenosa, em Dracena-SP. O delineamento experimental em ambos experimentos foi em blocos ao acaso em esquema fatorial 4x4, com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos por quatro tipos de coinoculação: 1-testemunha, inoculação somente com *R. tropici* (controle), 2- *R. tropici* + *Azospirillum brasilense*, 3-*R. tropici* + *Bacillus subtilis*, e 4- *R. tropici* + *Trichoderma harzianum* associadas à substituição parcial da dose (zero, 33%, 66% e 100% da recomendação de adubação na semeadura com N-P₂O₅-K₂O para a região Centro-Sul do Brasil. Os resultados mostraram que a inoculação com *R. tropici*, especialmente em combinação com *Trichoderma harzianum*, aumentou a formação de nódulos e melhorou parâmetros agronômicos como teor de clorofila foliar, matéria seca da planta, número de vagens e grãos. A coinoculação com microrganismos benéficos possibilita a redução da adubação com NPK no feijoeiro em solo arenoso e argiloso. A coinoculação com *Azospirillum brasilense* resultou em um aumento significativo no rendimento de grãos, particularmente em solo argiloso reduzindo 66% o uso de NPK. A inoculação com doses menores de NPK foi suficiente para obter bom rendimento, sugerindo a viabilidade da redução do uso de fertilizantes minerais. Em solo argiloso, a inoculação com *R. tropici* aumenta a concentração foliar de cálcio, enquanto em solo arenoso, a coinoculação com *R. tropici* e *B. subtilis* em conjunto com a aplicação de 100% da dose de NPK otimiza a concentração de nutrientes, como nitrogênio, fósforo e enxofre. A inoculação com microrganismos benéficos, como *R. tropici*, *A. brasilense*, *B. subtilis* e *T. harzianum*, utilizando 66% da dose total promove aumento de manganês, ferro, cobre e boro, na concentração foliar de plantas de feijão, cultivada em solos arenosos.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris* L.; *Rhizobium tropici*; *Azospirillum brasilense*; *Bacillus subtilis*; *Trichoderma harzianum*; Adubação de base; microrganismos benéficos.

ABSTRACT

Considering the hypothesis that mixed inoculation with beneficial microorganisms can optimize biological nitrogen fixation and maximize the effects of the bacterium *Rhizobium tropici*, this practice not only promotes plant growth and increases efficiency in mineral nutrition but may also reduce the need for mineral fertilization. In this context, the objective of this research was to investigate the effects of isolated inoculation of *R. tropici* and whether synergistic effects occur when combined with other beneficial microorganisms (co-inoculation) associated with partial replacement of NPK fertilization on the agronomic and productive characteristics of the common bean (cv. IAC 1850). The study comprised two experiments conducted in two distinct soil types, including a dystrophic Red Latosol with clayey texture in Selvíria-MS and a dystrophic Red-Yellow Argisol with sandy texture in Dracena-SP. The experimental design in both experiments was a randomized block in a 4x4 factorial scheme, with four replications. The treatments consisted of four types of co-inoculation: 1-control, inoculation only with *R. tropici* (control), 2- *R. tropici* + *Azospirillum brasilense*, 3- *R. tropici* + *Bacillus subtilis*, and 4- *R. tropici* + *Trichoderma harzianum*, associated with partial replacement of the dosage (zero, 33%, 66%, and 100% of the recommended fertilization at sowing with N-P2O5-K2O for the Central-South region of Brazil). The results showed that inoculation with *R. tropici*, especially in combination with *Trichoderma harzianum*, increased nodule formation and improved agronomic parameters such as leaf chlorophyll content, plant dry matter, number of pods, and grains. Co-inoculation with beneficial microorganisms allows for a reduction in NPK fertilization in common beans grown in sandy and clayey soils. Co-inoculation with *Azospirillum brasilense* resulted in a significant increase in grain yield, particularly in clayey soil, reducing NPK use by 66%. Inoculation with lower doses of NPK was sufficient to achieve good yields, suggesting the viability of reducing the use of mineral fertilizers. In clayey soil, inoculation with *R. tropici* increases the foliar calcium concentration, while in sandy soil, co-inoculation with *R. tropici* and *B. subtilis*, along with the application of 100% of the NPK dose, optimizes the concentration of nutrients such as nitrogen, phosphorus, and sulfur. Inoculation with beneficial microorganisms, such as *R. tropici*, *A. brasilense*, *B. subtilis*, and *T. harzianum*, using 66% of the total dose promotes an increase in manganese, iron, copper, and boron in the foliar concentration of bean plants grown in sandy soils.

Keywords: *Phaseolus vulgaris* L.; *Rhizobium tropici*; *Azospirillum brasilense*; *Bacillus subtilis*; *Trichoderma harzianum*; plant growth promoting microorganisms.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Imagem da Fazenda de Ensino e Pesquisa (FEPE) da UNESP/Ilha Solteira, (A), Selvíria, Mato Grosso do Sul, onde foi realizado o primeiro experimento de campo e (B) imagem da área experimental da Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnologia (FCAT), em Dracena, São Paulo, onde foi realizado o segundo experimento de campo	26
Figura 2 – Precipitação pluvial, temperaturas máximas e mínimas do ar, obtidas durante a condução do experimento, nos meses de maio a agosto de 2023 em (A) Selvíria, Mato Grosso do Sul, Brasil e (B) Dracena, São Paulo, Brasil.....	27
Figura 3 – Efeito significativo das doses de NPK nas inoculações e coinoculações com microrganismos benéficos sob a massa seca de plantas (A) coinoculação de <i>R. tropici</i> + <i>B.subtilis</i> ; (B) inoculação de <i>R. tropici</i> + <i>T.harzianum</i> em solo argiloso; (C) inoculação de <i>R. tropici</i> e (D) coinoculação de <i>R. tropici</i> + <i>T.harzianum</i> em solo arenoso.....	36
Figura 4 – Efeito significativo das doses de NPK nas inoculações e coinoculações com microrganismos benéficos sob o teor relativo de clorofila foliar (A) inoculação de <i>R. tropici</i> ; (B) coinoculação de <i>R. tropici</i> + <i>A.brasilense</i> ; (C) coinoculação de <i>R. tropici</i> + <i>B.subtilis</i> e (D) coinoculação de <i>R. tropici</i> + <i>T.harzianum</i> em solo argiloso.....	37
Figura 5 – Efeito significativo das doses de NPK nas inoculações e coinoculações com microrganismos benéficos sob o número de nódulos por planta (A) coinoculação de <i>R. tropici</i> + <i>A. brasilense</i> ; (B) coinoculação de <i>R. tropici</i> + <i>B.subtilis</i> ; (C) coinoculação de <i>R. tropici</i> + <i>T.harzianum</i> em solo argiloso e (D) coinoculação de <i>R. tropici</i> + <i>T.harzianum</i> em solo arenoso.	41
Figura 6 – Efeito significativo das doses de NPK nas inoculações e coinoculações com microrganismos benéficos sob o número de grãos por planta (A) coinoculação de <i>R. tropici</i> ; (B) coinoculação de <i>R. tropici</i> + <i>B.subtilis</i> ; e sob o número de vagens por planta (C) coinoculação de <i>R. tropici</i> + <i>A. brasilense</i> e (D) coinoculação de <i>R. tropici</i> + <i>T.harzianum</i> em solo argiloso.....	45
Figura 7 – Efeito significativo das doses de NPK nas inoculações e coinoculações com microrganismos benéficos sob o número de vagens por planta (A) coinoculação de <i>R. tropici</i> + <i>A.brasilense</i> ; (B) coinoculação de <i>R. tropici</i> + <i>T.harzianum</i> e sob o número de grãos por vagem (C) coinoculação de <i>R. tropici</i> + <i>B.subtilis</i> ; em solo arenoso.....	46

Figura 8 – Distribuição das doses médias de NPK 0% (A), 33% (B), 66% (C), 100% (D) (da recomendação brasileira de fertilizantes NPK para feijoeiro comum) dentro da inoculação e coinoculação de microrganismos benéficos sobre a produtividade de grãos de feijoeiro em solo argiloso (Selvíria, MS). Médias seguidas da mesma letra não variam estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.....50

Figura 9 – Efeito significativo das doses de NPK nas inoculações e coinoculações com microrganismos benéficos sob a produtividade de grãos (D) inoculação de *R. tropici*; (E) coinoculação de *R. tropici*+ *A. brasilense* (F) coinoculação de *R. tropici*+ *B. subtilis* e (G) coinoculação de *R. tropici*+ *T. harzianum* em solo argiloso.....51

Figura 10 – Distribuição das médias das doses de NPK 0% (A), 33% (B), 66% (C), 100% (D) (da recomendação brasileira de fertilizantes NPK para feijoeiro comum) dentro da inoculação e coinoculação de microrganismos benéficos na produtividade de grãos de feijoeiro em solo arenoso (Dracena, SP). Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.....52

Figura 11 – Efeito significativo das doses de NPK nas inoculações e coinoculações com microrganismos benéficos sob a produtividade de grãos (A) inoculação de *R. tropici*; (B) coinoculação de *R. tropici*+ *B. subtilis* (C) coinoculação de *R. tropici*+ *T. harzianum* em solo arenoso.....53

Figura 12 – Efeito significativo das doses de NPK associados a coinoculação de microrganismos benéficos em relação a concentração de nutrientes em folhas diagnósticas de feijão coletadas no florescimento pleno (A) coinoculação de *R. tropici*+ *B. subtilis* em relação ao teor de N; (B) coinoculação de *R. tropici*+*B.subtilis* em relação ao teor de Mg e (C) coinoculação de *R. tropici*+*T.harzianum* em relação ao teor de S em solo arenoso56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Atributos químicos e físicos do solo antes da instalação do experimento, da área experimental de Selvíria, Mato Grosso do Sul, Brasil (solo argiloso) e Dracena, São Paulo, Brasil (solo arenoso), safra 2023.....	28
Tabela 2 – Valores médios de população inicial de plantas (PI) e população final de plantas (PF), do feijão comum coinoculado com microrganismos benéficos associado a redução da adubação de semeadura (NPK) em solo argiloso, (Selvíria- MS) e solo arenoso (Dracena-SP), Brasil, safra 2023	33
Tabela 3 – Valores médios de massa seca de plantas (MS) e teor relativo de clorofila foliar (TCF), do feijão comum coinoculado com microrganismos benéficos associado a redução da adubação de semeadura (NPK) em solo argiloso, (Selvíria- MS) e solo arenoso (Dracena-SP), Brasil, safra 2023.....	34
Tabela 4 – Desdobramento da interação significativa da análise de variância para massa seca de plantas, teor relativo de clorofila foliar de plantas do feijão comum coinoculado com microrganismos benéficos associados a redução da adubação de semeadura (NPK), em solo argiloso (Selvíria-MS) e solo arenoso, (Dracena-SP).....	35
Tabela 5 – Valores médios de número de nódulos por planta (NP) e massa seca de nódulos (MSN), do feijão comum coinoculado com microrganismos benéficos associado a redução da adubação de semeadura (NPK) em solo argiloso, (Selvíria- MS) e solo arenoso (Dracena-SP), Brasil, safra 2023.....	39
Tabela 6 – Desdobramento da interação significativa da análise de variância para o número de nódulos por plantas do feijão comum coinoculado com microrganismos benéficos associados a redução da adubação de semeadura (NPK), em solo argiloso (Selvíria-MS) e solo arenoso, (Dracena-SP).....	40
Tabela 7 – Valores médios de número de grãos por planta (NGP) e número de vagens por planta (NVP), do feijão comum coinoculado com microrganismos benéficos associado a redução da adubação de semeadura (NPK) em solo argiloso, (Selvíria- MS) e solo arenoso (Dracena-SP), Brasil, safra 2023.....	44
Tabela 8 – Desdobramento da interação significativa da análise de variância para o número de grãos por planta e número de vagens por planta do feijão comum coinoculado com microrganismos benéficos associados a redução da adubação de semeadura (NPK), em solo argiloso, (Selvíria-MS) e arenoso (Dracena-SP).....	44

Tabela 9 – Valores médios de número de grãos por vagem (NGV) e massa de 100 grãos (M100), do feijão comum coinoculado com microrganismos benéficos associado a redução da adubação de semeadura (NPK) em solo argiloso, (Selvíria- MS) e solo arenoso (Dracena-SP), Brasil, safra 2023.....	47
Tabela 10 – Desdobramento da interação significativa da análise de variância para o número de grãos por vagem do feijão comum coinoculado com microrganismos benéficos associados a redução da adubação de semeadura (NPK), em solo arenoso, (Dracena-SP).....	48
Tabela 11 – Valores médios da produtividade de grãos (PG) do feijão comum coinoculado com microrganismos benéficos associado a redução da adubação de semeadura (NPK) em solo argiloso, (Selvíria- MS) e solo arenoso (Dracena-SP), Brasil, safra 2023.....	49
Tabela 12 – Valores médios de concentrações foliares de N, P, K, Ca, Mg e S, em folhas diagnósticas, em relação as doses de NPK, e as coinoculações dos microrganismos benéficos (CI) em solo (1) argiloso da localidade de Selvíria-MS e solo (2) arenoso da localidade de Dracena-SP, em feijão de inverno, safra 2023.....	55
Tabela 13 – Desdobramento da interação significativa da análise de variância referente a concentração foliar de Ca, N e P do feijão comum coinoculado com microrganismos benéficos associados a redução da adubação de semeadura (NPK), em solo argiloso (Selvíria, MS) e solo arenoso (Dracena, SP).....	57
Tabela 14 – Desdobramento da interação significativa da análise de variância referente a concentração foliar de Mg e S do feijão comum coinoculado com microrganismos benéficos associados a redução da adubação de semeadura (NPK), em solo arenoso (Dracena, São Paulo).....	60
Tabela 15 – Valores médios de concentrações foliares de Cu, Fe, Mn, Zn, em folhas diagnósticas, em relação as doses de NPK, e as coinoculações dos microrganismos benéficos (CI) em solo (1) argiloso da localidade de Selvíria-MS e solo (2) arenoso da localidade de Dracena-SP, em feijão de inverno, safra 2023.....	61
Tabela 16 – Desdobramento da interação significativa da análise de variância referente a concentração foliar de Cu, Fe e Mn do feijão comum coinoculado com microrganismos benéficos associados a redução da adubação de semeadura (NPK), em solo argiloso (Selvíria, MS).....	63

Tabela 17 – Desdobramento da interação significativa da análise de variância referente a concentração foliar de Cu, Fe e Mn do feijão comum coinoculado com microrganismos benéficos associados a redução da adubação de semeadura (NPK), em solo arenoso (Dracena, SP).....64

Tabela 18 – Desdobramento da interação significativa da análise de variância referente a concentração foliar de B e Zn do feijão comum coinoculado com microrganismos benéficos associados a redução da adubação de semeadura (NPK), em solo arenoso (Dracena,SP).....65

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	19
2.1	ASPECTOS GERAIS E SOCIOECONÔMICOS DO FEIJÃO.....	19
2.2	ADUBAÇÃO DE SEMEADURA	20
2.3	COINOCULAÇÃO COM MICRORGANISMOS BENÉFICOS.....	22
2.3.1	<i>Rhizobium tropici</i>	24
2.3.2	<i>Azospirillum brasilense</i>	25
2.3.3	<i>Bacillus subtilis</i>	26
2.3.4	<i>Trichoderma harzianum</i>	27
3	MATERIAL E MÉTODOS	28
3.1	CARACTERIZAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DAS ÁREAS EXPERIMENTAIS ..	28
3.2	TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	31
3.3	INSTALAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO.....	32
4	COLETAS E AVALIAÇÕES.....	34
4.1	ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS	35
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	36
5.1	POPULAÇÃO DE PLANTAS	36
5.2	MASSA SECA DE PLANTAS E TEOR RELATIVO DE CLOROFILA FOLIAR	37
5.3	NODULAÇÃO.....	42
5.4	COMPONENTES PRODUTIVOS E PRODUTIVIDADE DE GRÃOS	46
5.5	CONCENTRAÇÃO FOLIAR DE NUTRIENTES	57
6	CONCLUSÃO.....	70
	REFERÊNCIAS.....	71
	APÊNDICE A - DADOS CURRICULARES	81
	APÊNDICE B – PRODUÇÃO BIBLIOGRÁFICA.....	81

1 INTRODUÇÃO

O feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma planta da família fabaceae de extrema importância social e econômica em muitos países, está presente em 50% dos grãos leguminosos fornecidos para milhares de pessoas, estando entre as três leguminosas mais importantes no mundo, juntamente com a soja (*Glycine max* L.) e o amendoim (*Arachis hypogaea* L.) (Machiani *et al.*, 2019; Araújo *et al.*, 2020).

É uma planta que pode crescer em diferentes condições edafoclimáticas e possui grande diversidade de grãos, em cores e diferentes tamanhos. Em diversos locais é considerada como a principal fonte acessível de proteína, vitaminas e minerais, sendo o alimento básico da população, como é o exemplo do Brasil, grande produtor e consumidor desta leguminosa, presente na alimentação básica da população (Aguiar *et al.*, 2014; De Ron *et al.*, 2015). De acordo com a CONAB (2023), o Brasil possui 2,7 milhões de hectares cultivados, produção de 3.036,7 milhões de toneladas e uma produtividade média de 1125 kg ha⁻¹.

A cultura exige um manejo adequado na adubação, sendo uma planta considerada exigente em nutrientes devido ao ciclo curto, volume de solo explorado pelas raízes e sistema radicular superficial e pouco desenvolvido (Crusciol *et al.*, 2007; Oliveira *et al.*, 2018). O manejo adequado da adubação com macronutrientes primários na semeadura, como é o exemplo do nitrogênio, fósforo e potássio é imprescindível para o crescimento inicial do sistema radicular e viabilidade das plantas durante todo o ciclo vegetativo (Grant *et al.*, 2001; Souto *et al.*, 2009).

Esses nutrientes estão diretamente relacionados a processos fisiológicos importantes, tais como, processos fotossintéticos, respiratórios, fixação biológica de nitrogênio pelas leguminosas e ativação de sítios enzimáticos (Taiz *et al.*, 2017). A baixa disponibilidade destes nutrientes no solo é um dos fatores que limitam a produtividade do feijoeiro (Maia *et al.*, 2017; Silva *et al.*, 2019).

O Brasil é responsável por cerca de 8% do consumo global de fertilizantes, ocupando a quarta posição, atrás apenas da China, Índia e dos Estados Unidos (Silva, 2022). A Associação Nacional para a Difusão de Adubos (Anda) revelou que mais de 70% dos fertilizantes usados na agricultura brasileira são importados, sendo as maiores dependências externas do país o cloreto de potássio (95%), nitrogênio (80%) e fosfato (60%). Isso justifica a busca de fontes alternativas de potássio, sobretudo que promovam a reciclagem desse e de outros nutrientes de plantas. O desembolso passou de US\$ 8,59 bilhões, em 2018, para US\$ 24,76 bilhões em 2022 (Brasil, 2022).

Por ser uma espécie de planta leguminosa, o feijão possui a capacidade de associar-se com microrganismos diazotróficos presentes no solo, denominados de rizóbios (Hungria *et al.*, 2001). Através dessa interação entre rizóbios e planta leguminosa ocorre uma troca de sinais moleculares e expressões de genes que resulta na infecção e formações de estruturas típicas nas raízes denominadas de nódulos, cuja estruturas são responsáveis pelo processo de fixação biológica de nitrogênio (Meyer, 2022).

O uso de microrganismos promotores de crescimento pode ser utilizado como uma tecnologia para trazer benefícios a planta, é uma alternativa para aumentar a produtividade e eficiência das adubações, e consequentemente reduzir os custos de produção, além de contribuir para um manejo sustentável na agricultura (Hungria *et al.*, 2013; Pankiewicz *et al.*, 2015; Galindo *et al.*, 2018).

A coinoculação é a combinação de duas ou mais espécies de microrganismos benéficos, que quando combinados produzem efeitos sinérgicos, estimulando uns aos outros através de mecanismos bioquímicos (Hungria *et al.*, 2013). Esta prática agrícola tem como base explorar seus diferentes mecanismos de ação, além da fixação biológica de nitrogênio FBN, como a solubilização de fosfato, biocontrole e reguladores de crescimento que podem influenciar positivamente no desenvolvimento da cultura (Santos *et al.*, 2019).

Diante dos benefícios verificados de *R. tropici* isoladamente ou associados a outros microrganismos benéficos, através das inoculações e coinoculações, e a carência de informações sobre os seus efeitos na cultura do feijão, a hipótese deste estudo é de que a coinoculação com microrganismos benéficos possibilita a redução da adubação com NPK no feijoeiro em solo arenoso e argiloso.

Diante do exposto, o objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos da inoculação de *Rhizobium tropici* isoladamente e quando coinoculado com microrganismos benéficos associado a redução da dose de adubação de semeadura com NPK nos componentes produtivos e na produtividade de grãos de feijão comum, em solo arenoso e argiloso.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 ASPECTOS GERAIS E SOCIOECONÔMICOS DO FEIJÃO

O gênero *Phaseolus* é pertencente a ordem *Fabales* e família *Fabaceae*. As suas espécies são amplamente distribuídas, principalmente o feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.), que também pode se desenvolver em zonas temperadas do hemisfério sul e norte (Cronquist, 1988). Estudos indicam que o número de espécies pode variar de 31 a 55 espécies, originárias do continente Americano, sendo cinco destas cultivas: *P. vulgaris* L., *P. coccineus* L., *P. acutifolius*. A Gray e *P. polyanthus* Greeman (Debouck, 1999).

A morfologia de *P. vulgaris* conforme descrito por Silva (1999), é composta por características como: sistema radicular formado por uma raiz principal da qual desenvolvem raízes secundárias e terciárias lateralmente. O caule é herbáceo, formado por nós e entrenós, ramificações ao qual dão origem as folhas. As folhas são simples e opostas, as simples são características de folhas primárias da plântula e as compostas são constituídas por três folíolos. As flores são formadas por cinco pétalas e pode apresentar cores como branca, rósea ou violeta que se reúne em cachos, que pode variar conforme a cultivar de feijão. O fruto é um legume denominado vagem, a cor é característica da cultivar podendo ser uniformemente distribuída ou não e varia de acordo com o grau de maturação, podendo ser verde, verde com estrias, vermelha e violeta. A semente pode apresentar diversas formas e tamanhos: arredondadas, elípticas, reniforme e oblonga e tamanhos de <20g a grandes >40g, possui uma ampla diversidade de cores, preto, bege, roxo, róseo, vermelho, até branco.

O desenvolvimento vegetativo do feijoeiro pode ser dividido em duas fases principais: vegetativa (V0 a V4) e reprodutiva (R5 a R9). A fase vegetativa culmina com a abertura da terceira folha trifoliolada e o início da formação dos botões florais. Já na fase reprodutiva, iniciada em R5, a planta desenvolve ramos secundários e os primeiros botões florais, culminando na abertura das primeiras flores (Oliveira *et al.*, 2018).

O feijão, produto agrícola de fundamental importância socioeconômica para o Brasil, desempenha um papel central na segurança alimentar da população, sendo a principal fonte de proteína vegetal, carboidrato, vitaminas e minerais para milhões de brasileiros. Seu cultivo, além de gerar empregos e renda, contribui para a diversificação da produção agrícola e o desenvolvimento sustentável do país (Araújo *et al.*, 2020; Los *et al.*, 2018).

O feijão comum (*Phaseolus vulgaris*) possui ampla adaptação edafoclimática, é capaz de crescer em diferentes condições de solo e variações climáticas (Shamseldin, Velázquez,

2020), podendo ser cultivado durante todo o ano em grande parte dos estados brasileiros, uma vez que a cultura do feijão não apresenta sensibilidade ao fotoperíodo, desde que não ocorram limitações de temperatura e umidade (Abrantes *et al.*, 2011). É cultivado em diversos sistemas de produção podendo ser produzido desde pequenos agricultores para consumo familiar e geração de renda a grandes produtores, com baixos e altos níveis tecnológicos de produção Souza (Wanjala *et al.*, 2019).

O cultivo do feijão comum pode ser realizado em três safras anuais, o que a torna uma cultura atípica e bastante atrativa. A safra “das águas” ou primeira safra, ocorrem dos meses de agosto a novembro, nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste. A safra “da seca” ou segunda safra ocorrem aos meses de dezembro a abril nas regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste e em algumas regiões no Norte do Brasil. A terceira safra, “safra irrigada ou de inverno” ocorrem dos meses de abril a julho no Centro-Sul do Brasil (Embrapa, 2012).

O Brasil possui uma área de 2.699,5 milhões de hectares, uma produtividade média de 1.125 kg ha⁻¹ e uma produção de 3.036,7 milhões de toneladas, considerando as três safras cultivadas (Conab, 2023). De acordo com estudos e diagnósticos realizados nas principais regiões produtoras de feijão, foi evidenciado que cerca de 60% da produção nacional de feijão é proveniente da agricultura familiar, setor que utiliza poucos insumos e baixa tecnologia (Comissão Técnica Sul-Brasileira de Feijão – CTSBF, 2012).

Diante deste cenário é necessário procurar estratégias para proporcionar uma agricultura sustentável com a finalidade de contribuir com o viés, econômico e social e que podem favorecer o cultivo do feijão comum no Brasil, com aumento nos incrementos de produtividade, dada a importância que a cultura possui à nível nacional através da coinoculação de microrganismos benéficos e redução de fertilizantes minerais.

2.2 ADUBAÇÃO DE SEMEADURA

De acordo com o Conselho Nacional de Abastecimento CONAB (2023), o Brasil é um dos maiores produtores mundiais de feijão, no entanto, o rendimento médio da cultura ainda é baixo. Entre as razões da baixa produtividade de grãos está relacionada à utilização inadequada ou ausência de aplicação de fertilizantes especialmente o nitrogênio.

A adubação com nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) é realizada juntamente na semeadura e em parte na adubação de cobertura (Maia *et al.*, 2017). O nitrogênio é considerado o macronutriente de extrema importância no desenvolvimento, produtividade e biomassa das plantas da família das fabáceas (leguminosas) e a sua deficiência é o principal fator que limita

a sua produtividade (Maia *et al.*, 2017; Jena *et al.*, 2022), o nitrogênio é acumulado em grande quantidade nos grãos e parte aérea, cerca de 80 kg ha⁻¹ são extraídos do solo e 65% de N são exportados para os grãos (Soratto *et al.*, 2013; Ferreira *et al.*, 2021).

Para a agricultura tropical a recomendação de NPK para a cultura do feijão leva em consideração a classe de teores de nutrientes, assim como a expectativa de produtividade, o nitrogênio é recomendado aplicação parte na semeadura e o restante em cobertura, na dose de 10 a 40 kg ha⁻¹ na semeadura e de 80 a 120 kg ha⁻¹ em cobertura. O fósforo é recomendado nas doses de 20 a 140 kg ha⁻¹ na semeadura, e o potássio também pode variar de 30 a 140 kg ha⁻¹, respectivamente na semeadura (Wutke *et al.*, 2022).

O feijoeiro consegue adquirir o nitrogênio necessário ao seu desenvolvimento através de quatro fontes, 1) via solo, através da decomposição da matéria orgânica; 2) pela fixação não-biológica, ocasionadas por descargas elétricas; 3) via fertilizantes nitrogenado e 4) via fixação biológica do nitrogênio da atmosfera (Hungria *et al.*, 2007).

O principal método de fornecimento de N no feijoeiro tem sido por meio da adubação mineral aplicada no solo, sendo a ureia e o sulfato de amônio são as principais fontes de N encontradas atualmente, o que encarece a sua utilização na agricultura (Maia *et al.*, 2017). O nitrogênio pode ser facilmente perdido por lixiviação, volatilização e desnitrificação, essas perdas representam altos custos econômicos e ambientais (Nyawade *et al.*, 2020; Silva *et al.*, 2020). Essa cultura ainda depende de fertilizantes nitrogenados minerais, as perdas no solo podem chegar até 70% do total aplicado (Carvalho *et al.*, 2018).

Os fertilizantes nitrogenados possuem um custo elevado, baixa eficiência de sua utilização pelas plantas, apenas 50% são assimilados, alto gasto de fonte energéticas na sua fabricação e estão relacionados a poluição ambiental (Hungria *et al.*, 2007; Reetz *et al.*, 2017; Stewart *et al.*, 2017; Hungria; Nogueira *et al.*, 2019).

O fósforo P é um dos nutrientes imprescindíveis no início do ciclo vegetativo, influencia a qualidade fisiológica das sementes, a baixa disponibilidade pode restringir o desenvolvimento reduzindo o tamanho e a viabilidade das plantas (Grant *et al.*, 2001; Souto *et al.*, 2009). As doses de P sugeridas nas recomendações oficiais das principais regiões produtoras variam de 20 kg ha⁻¹ a 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅, dependendo da expectativa de produtividade.

O potássio K é o segundo elemento mais absorvido pelo feijoeiro, é responsável pela ativação de sítios enzimáticos que estão relacionados com os processos fotossintéticos e respiratórios, desempenha um papel importante na tolerância ao estresse hídrico, a deficiência deste nutriente pode restringir o mecanismo de fixação biológica de nitrogênio pelas leguminosas (Zörb *et al.*, 2014; Taha *et al.*, 2016; Taiz *et al.*, 2017). As doses de K sugeridas

para o feijão nas recomendações oficiais de adubação das principais regiões produtoras variam entre 20 kg ha⁻¹ a 100 kg ha⁻¹ de K₂O, as quais são definidas em função do teor de K trocável no solo e da expectativa de produtividade da cultura (Wutke *et al.*, 2022).

O foco da agricultura sustentável é encontrar ferramentas que visam aumentar a produtividade, minimizando os impactos ambientais e que seja economicamente viável, um exemplo disso é o a Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN), o que é uma alternativa capaz de reduzir o uso de fertilizantes nitrogenados em leguminosas (Araujo *et al.*, 2020; Raza *et al.*, 2021; Paudyal e Gupta 2018; Soratto *et al.*, 2022).

Por ser uma espécie de planta leguminosa, a cultura do feijão pode estabelecer relações simbióticas com microrganismos específicos através da fixação biológica de nitrogênio, as bactérias do gênero *Rhizobium* possuem um complexo enzimático denominado dinitrogenase, o nitrogênio atmosférico capturado é reduzido a amônia, seguido da incorporação em formas nitrogenadas que são assimilados pelas plantas, é uma aplicação que potencializa a fixação biológica de nitrogênio pelas plantas (Hungria *et al.*, 2013).

As bactérias fixadoras de N no feijoeiro não apresentam a mesma eficiência quando comparada com a cultura da soja para incorporação de N₂ atmosférico, o que faz necessário realizar aplicações de fertilizantes nitrogenados para suprir a demanda de N para obter altas produtividades, ainda há preocupações sobre a capacidade da fixação biológica de nitrogênio para sustentar o crescimento da planta e o rendimento de colheita (Fageria *et al.*, 2014, Hungria *et al.*, 2013; Guimarães *et al.*, 2017).

Como alternativa sustentável aos fertilizantes nitrogenados, aumentou o uso de inoculantes microbianos ou biofertilizantes, produtos contendo microrganismos com capacidade de estabelecer diferentes tipos de associação com as plantas, fornecendo nitrogênio a partir do processo de fixação biológica de nitrogênio (FBN) (Örmeno-Orrili *et al.*, 2013; Brunj *et al.*, 2015; Kaschuk e Hungria, 2017). É uma alternativa capaz de reduzir a aplicação de N inorgânico, substituir ou reduzir a adubação total ou parcialmente, reduzindo os custos de produção, contaminação ambiental e proporcionar altos rendimentos na cultura (Hungria *et al.*, 2013; Mercante *et al.*, 2017; Coelho *et al.*, 2021).

2.3 COINOCULAÇÃO COM MICRORGANISMOS BENÉFICOS

A coinoculação é uma técnica que consiste na aplicação simultânea de diferentes microrganismos benéficos, como *Rhizobium* e *Azospirillum*, com o objetivo de potencializar os efeitos positivos da inoculação. Essa prática promove o desenvolvimento radicular, a nodulação

e a fixação biológica de nitrogênio, além de estimular a produção de fitohormônios que favorecem o crescimento vegetal. Ao reduzir a necessidade de fertilizantes nitrogenados e promover um desenvolvimento mais vigoroso das plantas, a coinoculação contribui para a sustentabilidade dos sistemas de produção agrícola, como evidenciado pelos estudos de Candido *et al.*, (2020) e Chibeba *et al.*, (2015).

Uma das alternativas para aumentar a produtividade de grãos em fabáceas seria a coinoculação com bactérias simbióticas e assimióticas, ou seja, seria a associação entre bactérias de efeito sinérgico que irá produzir um efeito mais relevante do que se fossem utilizadas de forma isolada (Hungria *et al.*, 2013). Os primeiros estudos sobre coinoculação com bactérias simbióticas e associativas em fabáceas foi na cultura da soja (Benintende *et al.*, 2010) mas essa técnica pode ser introduzida no manejo da cultura do feijão, reduzindo a aplicação de adubos nitrogenados minerais e proporcionando uma agricultura com menor impacto ambiental (Chaparro *et al.*, 2021).

A inoculação convencional de *R. tropici* pode reduzir o uso de fertilizantes nitrogenados na cultura do feijoeiro, e quando inoculados em associação com outras bactérias promotoras de crescimento, podem aumentar a eficiência com ganhos na nodulação (número e massa de nódulos), biomassa da parte aérea e raízes (Steiner *et al.*, 2019; Barbosa *et al.*, 2020; Mortinho *et al.*, 2022). As pesquisas com a coinoculação em soja e feijão são recentes, tendo início em 2009, com a finalidade de inovar as tecnologias de produção, possuindo ensaios que mostram incrementos na produtividade de grãos do feijoeiro de até 14,7% com a prática de coinoculação com *Azospirillum*.

Em pesquisa realizada pela Associação Nacional dos Produtores e Importadores de Inoculantes (ANPII), verificou-se um crescimento de 55,56% no uso de coinoculações no Mato Grosso entre 2018 a 2020, isso mostra a sua importância para a agricultura no berço da produção agrícola no Brasil. O nitrogênio é considerado um nutriente essencial para as plantas, precedentemente, ele é fornecido de forma mineral e extraído através de combustíveis fósseis onde processos intensivos são ocorridos favorecendo o efeito estufa, diferente do uso de inoculantes que desempenham a associação com as plantas e fornecem nitrogênio atmosférico de forma biológica e limpa (Van Deynze *et al.*, 2018), tendo em vista a sua alta porcentagem na atmosfera.

Em estudo realizado por Buso *et al.* (2021), observaram que a cultura da soja coinoculada apresentaram maiores quantidades de matéria seca da raiz comparado ao ensaio somente inoculado com *Bradyrhizobium spp.* fazendo ênfase a maior exploração da raiz no

solo, atingindo profundidades maiores e suportando condições adversas como os estresses hídricos.

Considerando os benefícios observados, de acordo com Hungria *et al.* (2013), a inoculação de sementes de feijão com *Rhizobium tropici* aumentou a produtividade de grãos em 98 kg ha⁻¹ (8,3%), e quando associado com *Azospirillum brasilense* resultou em aumento de 285 kg ha⁻¹ (19,6%). Outros autores como Mortinho *et al.* (2022), também observaram aumentos no rendimento de grãos com a coinoculação de *R. tropici*+*A. brasilense*, reduzindo a dose da adubação de semeadura com NPK em 50%. Em complemento, Silva *et al.* (2023) concluíram que a inoculação de *Trichoderma harzianum* com redução de 50% da dose de fertilizantes, proporcionou efeitos positivos na fenologia e biomassa de *P. vulgaris* através da conversão de exudatos de raízes em substâncias promotoras de crescimento vegetal.

2.3.1 *Rhizobium tropici*

As bactérias do gênero *Rhizobium spp.* pertencentes à ordem Rhizobiales e à família Rhizobiaceae, estabelecem uma relação de simbiose com leguminosas, colonizando suas raízes e formando estruturas especializadas chamadas nódulos. Dentro desses nódulos, as bactérias convertem o nitrogênio atmosférico (N₂) em formas utilizáveis pelas plantas, um processo conhecido como fixação biológica do nitrogênio.

A bactéria *R. tropici* foi encontrada em plantas de feijão em três regiões diferentes da França, em solos com características ácidas e arenosas (Anyango, 1995). No Brasil, as espécies de *Rhizobium leguminosatum* bv. phaseoli, *R. eli* e *R. tropici* destacam-se como os principais rizóbios associados à cultura do feijoeiro, sendo responsáveis pela nodulação e fixação biológica do nitrogênio (Hungria *et al.*, 2003).

O feijoeiro diferente de outras leguminosas, não apresenta alta especificidade por um único tipo de rizóbio, sendo capaz de formar associações simbióticas com diversas espécies, embora com diferentes níveis de eficiência (Mercante *et al.*, 1998). A baixa frequência de resposta do feijoeiro à inoculação com rizóbios em condições de campo depende de diversos fatores, sendo influenciada por fatores como estresse hídrico, altas temperaturas, ataques de pragas e doenças, curto ciclo da cultura e a competição com as populações nativas de rizóbios presentes no solo (Mercante, 1993; Hungria *et al.*, 1993).

Dentre as diversas espécies de bactérias capazes de estabelecer uma relação simbiótica com o feijoeiro, fixando o nitrogênio atmosférico, encontra-se a *R. tropici*. Através de um programa de seleção de estirpes de rizóbios nativos, desenvolvido em conjunto pela Embrapa

Soja e pelo IAPAR, foi possível identificar a estirpe PRF 81 (=SEMIA 4080) como uma variante de *R. tropici* com potencial para a inoculação de feijoeiro. Em ensaios de campo com elevada densidade de populações nativas de rizóbios (10^3 - 10^6 células g⁻¹ de solo), a inoculação com a estirpe PRF 81 resultou em incrementos significativos na produção de grãos de feijão, alcançando até 900 kg ha⁻¹, o que justificou sua recomendação para uso comercial a partir de 1998 (Hungria *et al.*, 2013).

A estabilidade genética superior de *R. tropici* em comparação com outras espécies tem contribuído para o sucesso da inoculação do feijoeiro, contudo, a recomendação de inoculantes com uma única estirpe para todas as regiões do país, desconsiderando a diversidade de cultivares e condições edafoclimáticas, tem ocasionado uma ampla variação na eficiência da simbiose *Rhizobium*-leguminosa, demonstrando limitações do potencial simbiótico nesta interação.

2.3.2 *Azospirillum brasilense*

O gênero *Azospirillum* spp., especialmente *A. brasilense*, é destaque entre as bactérias promotoras de crescimento vegetal. Essas bactérias associam-se a mais de 113 espécies de plantas, abrangendo 35 famílias botânicas, e são amplamente estudadas por seu potencial de estimular o crescimento das plantas (Cassán *et al.*, 2010; Bashan *et al.*, 2010; Peres *et al.*, 2016).

Essa rizobactéria pode estabelecer associações tanto na rizosfera, colonizando a superfície das raízes, quanto no interior dos tecidos radiculares, ocupando os espaços intercelulares (Rondina *et al.*, 2020). É capaz de sintetizar fitohormônios que estimulam o alongamento e a ramificação das raízes, aumentando a área de contato com o solo e a capacidade de absorção de nutrientes e água (Ribaldo *et al.*, 2006; Bashan *et al.*, 2016).

As respostas morfológicas das raízes a *Azospirillum* spp. influenciam significativamente o desenvolvimento radicular através da produção e secreção de diversos reguladores de crescimento vegetal. Entre eles, destacam-se as auxinas, como o ácido indol-3-acético, o etileno e o óxido nítrico. Essas moléculas atuam como sinais químicos, desencadeando uma série de respostas morfológicas nas raízes, como o alongamento celular e a formação de ramificações (Molina-Favero *et al.*, 2008; Vacheron *et al.*, 2013; Cassán *et al.*, 2014; Fukami *et al.*, 2018).

A rizobactéria *Azospirillum* spp. possui a capacidade de fixar N₂ por meio do processo de fixação biológica de nitrogênio (Pankievicz *et al.*, 2015; Bashan *et al.*, 2016). A formação de biofilmes é a principal papel da *Azospirillum* spp. em condições favoráveis. A presença de uma película característica nesses biofilmes sugere que a bactéria está em um microambiente

com uma concentração de oxigênio que permite o funcionamento da enzima nitrogenase, essencial para a fixação biológica do nitrogênio (Cassán *et al.*, 2010; Bashan *et al.*, 2010; Hungria, Nogueira 2022).

Hungria *et al.* (2013), relata que essa bactéria representa um caso de sucesso também com leguminosas como a soja e o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) pela coinoculação com rizóbios no Brasil. No entanto Peres *et al.* (2016), ressalta que há carência de informações de sua interação com rizóbios, quando ambos são aplicados na cultura do feijão comum.

A coinoculação com estirpes Ab-V5 e AbV6 de *A. brasilense* são adotados em 25% da cultura da soja no país, com grandes benefícios na produtividade de grãos (Santos *et al.*, 2021). A estirpe Ab-V5 apresenta maior capacidade de fixação biológica de nitrogênio, enquanto a Ab-V6 se destaca como grande produtora de ácido indol acético (Fukami *et al.*, 2018). A coinoculação de bactérias do gênero *Rhizobium* spp. (simbióticas) com as do gênero *Azospirillum* spp. (associativas), na cultura do feijão comum produzem efeitos sinérgicos que superam os resultados obtidos, comparado quando utilizadas isoladamente, potencializa a nodulação e produtividade da cultura (Bárbaro *et al.*, 2008; Bashan, 2005).

2.3.3 *Bacillus subtilis*

A bactéria denominada *Bacillus subtilis* é amplamente estudada como promotora de crescimento de plantas, o gênero *Bacillus* spp. é um dos gêneros mais abundantes no solo, entre os quais *B. subtilis* foi identificado na rizosfera de plantas distintas (Earl *et al.*, 2008; Todovora, Kozhuhadora, 2010; Sivasakthi *et al.*, 2014). É um microrganismo modelo para estudar a produção de metabólitos secundários, esporulação, desenvolvimento de biofilmes, ligado às raízes das plantas (Kovács, 2019).

Além de vários benefícios para as plantas, apresenta alta capacidade de formar esporos resistentes, tornando-se alvo promissor para aplicação agrícola. Os esporos de *B. subtilis* são altamente resistentes a vários estresses abióticos, como seca, temperatura ou limitações de nutrientes (Schisler *et al.*, 2004). A *B. subtilis* é conhecida por fixar nitrogênio e promover a nodulação por outras bactérias, e assim melhora a colonização de rizobactérias simbióticas nativas (Elkoca *et al.*, 2007). É capaz de solubilizar o fósforo por meio da produção de vários ácidos que o convertem numa forma solúvel (Saied *et al.*, 2018).

Alguns estudos mostram que *B. subtilis* aumenta o teor de ferro nas plantas, facilitando a mobilidade do ferro por meio da acidificação da rizosfera e induzindo a regulação positiva de genes e de aquisição de ferro nas plantas (Freitas *et al.*, 2015). A coinoculação de bactérias do

gênero *Rhizobium spp.* e *Bacillus spp.* podem estimular a simbiose e o processo de fixação de nitrogênio (FBN) na cultura do feijão, aumentar a nodulação e competitividade do rizóbio, essa interação oferece múltiplos efeitos positivos na rizosfera da planta (Araújo *et al.*, 2009).

2.3.4 *Trichoderma harzianum*

O fungo *Trichoderma harzianum* é um microrganismo de vida livre que coloniza e decompõem a serrapilheira, o gênero *Trichoderma spp.* possui mais de 250 espécies, são habitantes naturais do solo, sendo o agente de biocontrole mais estudado no mundo, possuem a capacidade de estabelecer relações simbióticas com as plantas, esse fungo filamentoso produz um micélio branco de crescimento rápido que adquire uma coloração verde à medida que se desenvolve (Howel, 2007; Reino *et al.*, 2007; Machado *et al.*, 2012).

Seu mecanismo de ação inclui principalmente o micro parasitismo, antibiose, competição e indução de resistência em plantas hospedeiras. (Howel, 2003; Bisen, 2015; Keswani, 2014). Este fungo pode influenciar positivamente na germinação de sementes, no desenvolvimento e produtividade da cultura, devido à produção de substâncias promotoras de crescimento e melhoria na nutrição das plantas, principalmente pela solubilização de fósforo, através da liberação de ácidos orgânicos (Silva *et al.*, 2012; Bonini *et al.*, 2020) e síntese de ácido indol acético (Chagas *et al.*, 2016).

A inoculação com *T. harzianum* contribui com o controle biológico de patógenos do solo, pois modifica a arquitetura da raiz estimulando a sinalização de auxinas (Kumar *et al.*, 2021), e também aumenta as atividades enzimáticas, produção de metabólitos secundários, aquisição de nutrientes e eficiência de uso pelas raízes (Meng *et al.*, 2019).

As estirpes do fungo *T. harzianum* possui grande importância econômica para agricultura, pois são agentes de controle biológico agindo contra fungos fitopatogênicos, podem colonizar raízes de plantas para estimular o crescimento e proteção contra infecções (Santos *et al.*, 2012; Silva *et al.*, 2012).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DAS ÁREAS EXPERIMENTAIS

O estudo compreendeu dois experimentos, que foram ambos desenvolvidos em condições de campo durante o período de outono-inverno, em duas localidades distintas, em solos pertencentes a duas classificações distintas e de texturas contrastantes (argilosa e arenoso).

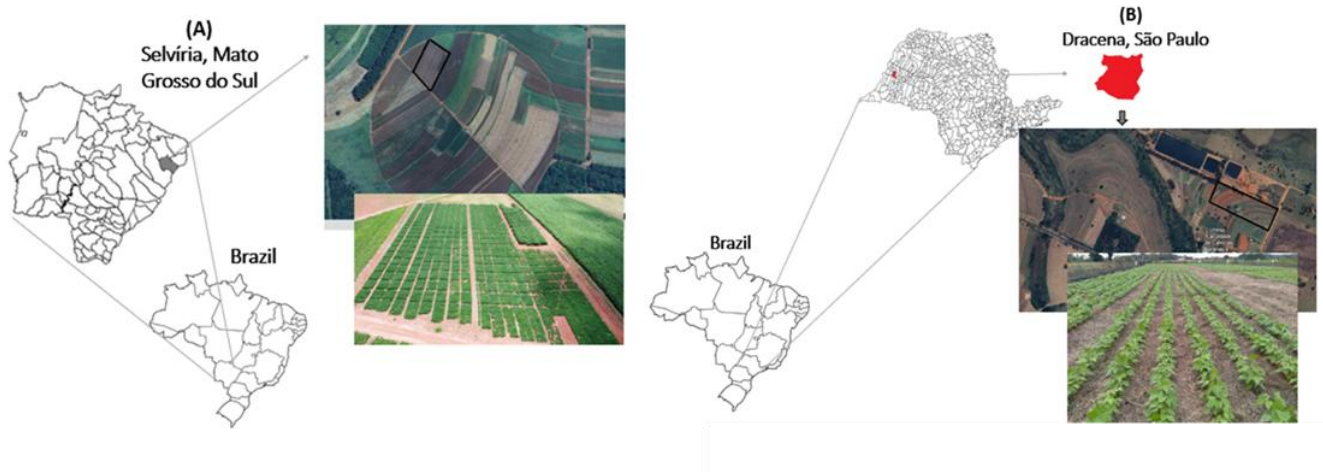
A área experimental de solo argiloso está situada na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, no município de Selvíria, Mato Grosso do Sul (51° 22' de longitude Oeste e 20° 22' de Latitude Sul), com altitude de 335 m (Figura 1A). Já a área experimental de solo arenoso situa-se na Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológica, Universidade Estadual Paulista, localizada no município de Dracena, São Paulo, (51° 52' de Longitude Oeste e 21° 29' de Latitude Sul), com altitude de 420 m (Figura 1B).

O clima dos locais, conforme a classificação de Köpen, é o tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno, do tipo fundamental Aw, com precipitação pluvial média e temperatura média anual de 1.332 mm e 23°C em Selvíria, MS e 1.261 mm e 24°C em Dracena, SP, respectivamente. O solo da área experimental de Selvíria, MS é classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico, de textura argilosa e da área experimental de Dracena, SP é classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico típico (Santos *et al.*, 2018).

A área experimental de Selvíria, MS encontra-se sob sistema plantio direto consolidado há 17 anos, possui histórico de cultivo de rotação de culturas de soja, milho, feijão e trigo, tendo sido cultivado milheto na safra antecessora (verão). Já a área experimental de Dracena, SP apresenta histórico de cultivo de feijão, milho e pastagem, sendo cultivado milho na safra antecessora (verão).

Os dados climáticos de precipitação pluvial e temperaturas máximas e mínimas do ar das duas localidades, ocorridos durante o período de condução dos experimentos constam na Figura 2A e 2B.

Figura 1 – Imagem da Fazenda de Ensino e Pesquisa (FEPE) da UNESP/Ilha Solteira, (A), Selvíria, Mato Grosso do Sul, onde foi realizado o primeiro experimento de campo e (B) imagem da área experimental da Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnologia (FCAT), em Dracena, São Paulo, onde foi realizado o segundo experimento de campo



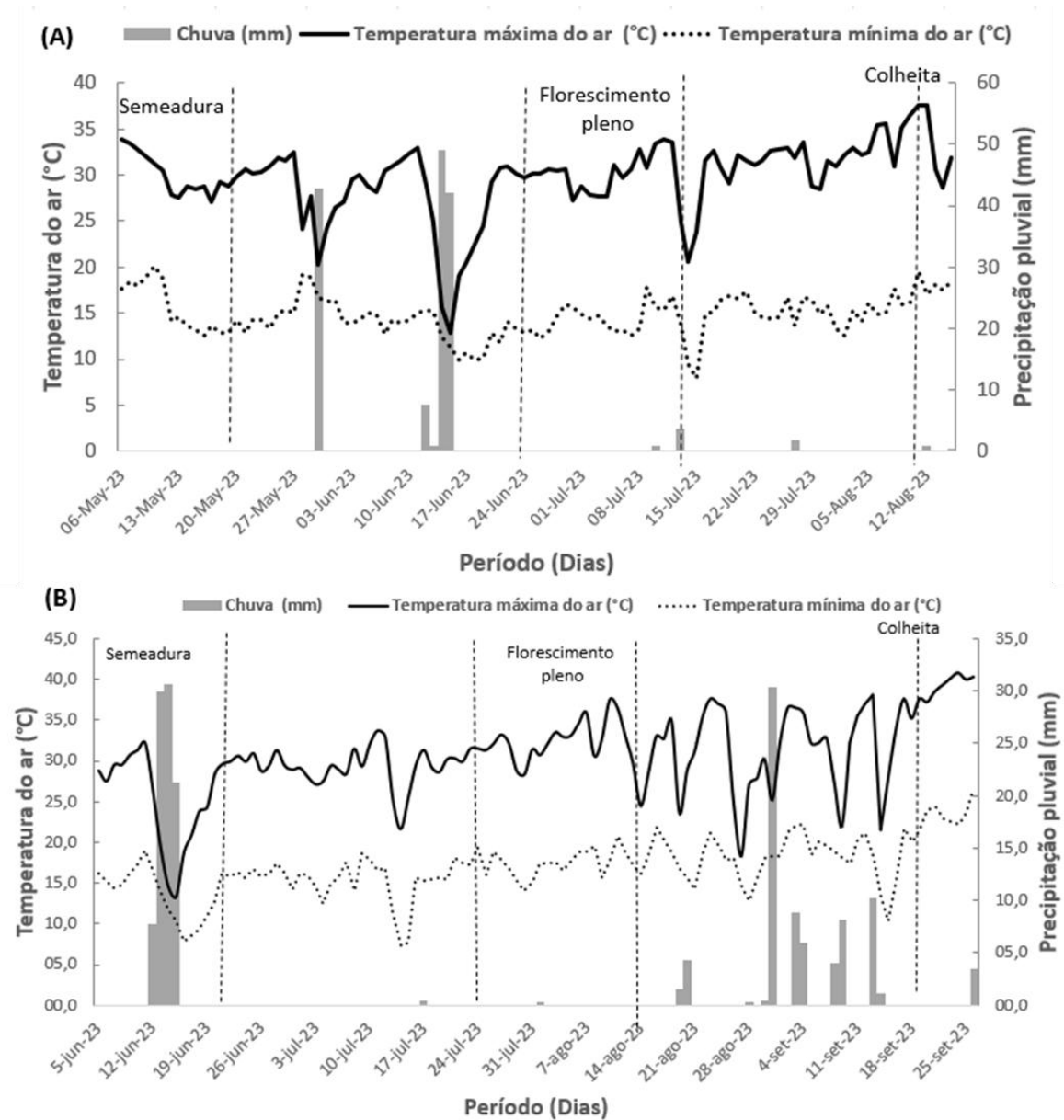
Fonte: adaptado de QGIS (2019) e Google Earth (2024).

Nota: mapa criado utilizando o software QGIS e o Google Earth. Equipe de Desenvolvimento do QGIS (2019).

Sistema de Informação Geográfica QGIS. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>.

Imagem obtida do Google Earth.

Figura 2 – Precipitação pluvial, temperaturas máximas e mínimas do ar, obtidas durante a condução do experimento, nos meses de maio a agosto de 2023 em (A) Selvíria, Mato Grosso do Sul, Brasil e (B) Dracena, São Paulo, Brasil



Fonte: produção da própria autora.

Antes da instalação dos experimentos, foi realizada a caracterização dos atributos químicos e físicos do solo das duas áreas experimentais, por meio da coleta de uma amostra composta, proveniente de 20 amostras simples de solo deformadas, em toda a área experimental, segundo a metodologia proposta por Raji *et al.* (2001), nas camadas de 0,00-0,20 e 0,20-0,40 m. (Tabela 1).

Tabela 1 – Atributos químicos e físicos do solo antes da instalação do experimento, da área experimental de Selvíria, Mato Grosso do Sul, Brasil (solo argiloso) e Dracena, São Paulo, Brasil (solo arenoso), safra 2023

Solo argiloso	P	MO	pH	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺ +	H+Al	Al ³⁺	SB	S-SO ₄	CTC
	mg dm ⁻³	g dm ⁻³	CaCl ₂		-----		mmol _c dm ⁻³	-----		g dm ⁻³	mmol _c dm ⁻³
Camada (m)											
0,00-0,20	24	20	5.4	2.6	43	16	25	0	61.6	7	86.6
0,20-0,40	13	18	5.3	1.3	20	12	25	0	33.3	12	58.3
	V	m	B	Cu²⁺	Fe³⁺	Mn²⁺ +	Zn²⁺	Argila	Silte	Areia	
	%	%	-----		mg dm ⁻³	-----	-----	-----	g kg ⁻¹	-----	
0,00-0,20	71	0	0.07	5.6	21	24.5	1.2	471	90	439	
0,20-0,40	57	0	0.08	5.6	21	24.8	1.2	471	90	439	
Solo arenoso	P	MO	pH	K⁺	Ca²⁺	Mg²⁺ +	H+Al	Al³⁺	SB	S-SO₄	CTC
	mg dm ⁻³	g dm ⁻³	CaCl ₂	-----	-----	-----	mmol _c dm ⁻³	-----	-----	g dm ⁻³	mmol _c dm ⁻³
Camada (m)											
0,00-0,20	13	11	5.9	1.4	14	7	11	0	22.4	4	33.4
0,20-0,40	6	10	5.5	1.2	10	5	12	0	16.2	4	28.2
	V	m	B	Cu²⁺	Fe³⁺	Mn²⁺ +	Zn²⁺	Argila	Silte	Areia	
	%	%	-----	-----	mg dm ⁻³	-----	-----	-----	g kg ⁻¹	-----	
0,00-0,20	67	0.26	0.4	12	9.3	0.7	0,7	105	73	822	
0,20-0,40	57	0	0.21	0.5	12	9.8	0,5	140	71	788	

Fonte: Propria autora.

Nota: Considerando o baixo teor de boro constatado no solo argiloso de Selvíria, MS, nas duas camadas estudadas de 0,00-0,10 e de 0,20-0,40 m, de acordo com a análise do solo do Instituto Agronômico de Campinas (IAC), todos os tratamentos receberam aplicação foliar de 1 kg ha⁻¹ de boro (ácido bórico) no pré-florescimento.

3.2 TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, dispostos em esquema fatorial 4x4, com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos por quatro tipos de coinoculação (1- testemunha, inoculação somente com *Rhizobium tropici* (controle), 2- *R. tropici* + *Azospirillum brasilense*, 3- *R. tropici* + *Bacillus subtilis*, e 4- *R. tropici* + *Trichoderma harzianum*) associado à aplicação de 0%, 33%, 66% e 100% da quantidade de adubação de base com N-P₂O₅-K₂O recomendada para o feijoeiro na semeadura.

A adubação mineral foi realizada no sulco de semeadura do feijão, com base na análise de fertilidade inicial do solo e exigência da cultura, seguindo a recomendação de Wutke *et al.*, (2022), considerando-se os respectivos tratamentos previamente estabelecidos, foi utilizado uma mistura física de um formulado NPK comercial 08-28-16, sem micronutriente. As adubações com NPK foram realizadas em doses de (zero) como tratamento controle, seguida

de 33%, 66% e 100%, em que a dose de 100% foi conforme os resultados da análise do solo e produtividade de grãos esperada na faixa de 4.000 a 5.000 kg ha⁻¹ para cada localidade estudada.

Na adubação de semeadura para a localidade de Selvíria, MS, a dose recomendada de 100%, 66% e 33% de NPK (N-P₂O₅-K₂O) em solo argiloso foi de 235, 155 e 78 kg ha⁻¹, respectivamente. Na localidade de Dracena, SP, a dose recomendada de 100%, 66% e 33% de NPK em solo arenoso foi de 357, 235 e 118 kg ha⁻¹, respectivamente.

As parcelas experimentais foram constituídas por seis linhas de cinco metros de comprimento, sendo consideradas como área útil as quatro linhas centrais, desprezando-se 0,5 m, em ambas as extremidades de cada linha. O espaçamento entrelinhas foi de 0,45 m, com distribuição de sementes para a obtenção de 10 plantas por metro de linha.

Na pré-semeadura, procedeu-se a dessecação química das plantas daninhas em toda área experimental, utilizando-se os herbicidas glyphosate na dose de 1.800 g ha⁻¹ do ingrediente ativo (i.a.) e 2,4-D na dose de 670 g ha⁻¹ do (i.a.), aos 15 dias antes da semeadura (DAS), seguido do preparo da área com desintegrador mecânico de resíduos vegetais (Triton).

3.3 INSTALAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

O experimento foi realizado com o cultivar de feijão, IAC 1850 com hábito de crescimento indeterminado tipo II e grãos do tipo carioca, recomendado e adaptado as duas regiões. As sementes foram tratadas previamente com inseticida e fungicida, com o produto químico Standak® Top, piraclostrobina (2,5 g ha⁻¹ i.a.), tiofanato metílico (22,5 g ha⁻¹ i.a.) e fipronil (25 g ha⁻¹ i.a.), com base nas recomendações do fabricante para a cultura. Na sequência após a secagem do tratamento de sementes com inseticida e fungicida, foi realizada a inoculação das sementes de feijão com *Rhizobium tropici* (SEMIA 4077) como inoculante turfoso na dose de 200 gramas para 100 kg de sementes (garantia de 2 x 10⁹ UFC g⁻¹). Para adesão da bactéria as sementes, foi acrescentada uma solução açucarada a 10% nas sementes.

As coinoculações das sementes inoculadas com os microrganismos benéficos foram realizadas conforme a recomendação do fabricante da formulação utilizada. Para a coinoculação com *Azospirillum brasilense* (estirpes Ab-V5 e Ab-V6) foi utilizado na dose de 100 mL de inoculante líquido para 100 kg sementes (garantia de 2x 10⁸ UFC mL⁻¹); a inoculação com *Bacillus subtilis* (estirpe CCTB04) ocorreu na dose de 100 mL para 100 kg de sementes (garantia de 1x10⁸ UFC mL⁻¹); e a inoculação com *Trichoderma harzianum* (estirpe T-22) foi na dose de 100 g de inoculante (pó-molhável) para 100 kg de semente (garantia de 1 x 10⁸ UFC

mL⁻¹). As inoculações e coinoculações das sementes foram feitas à sombra duas horas antes da semeadura do feijão.

A semeadura do primeiro experimento foi realizada em 06 de maio de 2023 em Selvíria, MS, essa área possui histórico de 17 anos de Sistema Plantio Direto, com cultivo de culturas como soja, trigo, milho, feijão e milheto. O segundo experimento em Dracena, SP foi semeado no dia 05 de junho de 2023, na forma de semeadura direta, sem preparação do solo antes da instalação. Os dois experimentos foram semeados de forma mecânica utilizando trator e semeadora-adubadora, de seis linhas, com a regulagem de 15 sementes por metro.

A adubação nitrogenada em cobertura foi realizada nas entrelinhas do feijão, na dose de 45 kg ha⁻¹ de nitrogênio, na forma de ureia, em todos os tratamentos, após 30 dias da emergência das plantas em ambos os experimentos. No experimento em solo argiloso, devido ao solo apresentar textura arenosa foi realizado o parcelamento da aplicação da adubação nitrogenada em cobertura, usando 50% da dose quando as plantas atingiram o estágio fenológico V3 e 50% no estágio fenológico V4-5, conforme recomendação de Wutke *et al.*, (2022).

A área localizada em Selvíria, MS, (solo argiloso) foi irrigada por pivô central, com lâmina média de 14 mm a cada três dias ou quando necessário. A segunda área experimental localizada em Dracena, SP, (solo arenoso) foi irrigada através de aspersão convencional com 80% de eficiência, cujo aspersor utilizado foi o Agropolo, modelo NY25 com bocais de 2,8 x 2,5 mm, composto por duas linhas com oito aspersores em cada, no espaçamento de 12 metros entre os aspersores, de forma a obter uma boa uniformidade de aplicação com uma lâmina líquida de 4,9 mm h⁻¹ em uma pressão de serviço de 2,0 kgf cm⁻².

4 COLETAS E AVALIAÇÕES

a) População inicial e final de plantas: Aproximadamente oito dias após a emergência das plantas e no momento da colheita, foi estimado o número de plantas para avaliação da população de plantas ha^{-1} inicial e final, na área útil das parcelas.

b) Nodulação e massa seca de nódulos: No florescimento pleno (estádio fenológico R6), quando as plantas atingiram 50% das flores abertas, foi realizado a coleta de raízes de cinco plantas de cada parcela, com o auxílio de um enxadão. As raízes foram destacadas da planta inteira, e os nódulos foram retirados e lavados para contagem, e posteriormente foram secos em estufa de ventilação forçada a 65 °C, por 72 h, seguido de pesagem em balança de precisão de 0,01g.

c) Teor relativo de clorofila foliar: O índice de clorofila foliar foi determinado indiretamente também no estágio de florescimento pleno nas plantas de feijão, por meio de leituras do clorofilômetro portátil ClorofiLOG®, modelo CFL 1030, (Falker Automação Agrícola ®) adotando o terceiro trifólio completamente expandido a partir do ápice de cinco plantas na área útil da parcela.

d) Massa seca de plantas: Por ocasião do florescimento pleno, cinco plantas foram coletadas em local pré-determinado na área útil das parcelas, foram acondicionadas em sacos de papel, devidamente identificadas e submetidas à secagem em estufa de ventilação forçada à temperatura média de 65°C, por 72h. Posteriormente as amostras foram pesadas e os valores convertidos em g planta^{-1} .

e) Componentes de produção: Por ocasião da colheita foram coletadas cinco plantas na área útil das parcelas para avaliação de: número de vagens por planta (foi determinado por meio da relação do número total de vagens/ número de plantas); número de grãos por planta (foi determinado através da relação número total de grãos/número de plantas); número médio de grãos por vagem (foi calculado através da relação do número total de grãos/ número total de vagens) e massa de cem grãos, obtido por meio da coleta ao acaso e pesagem de amostra de cem grãos por parcela.

f) Produtividade de grãos: As plantas da área útil foram colhidas e deixadas para secagem a pleno sol. Após a secagem, foram submetidas a trilha mecânica, e os grãos foram pesados e os dados transformados em kg ha^{-1} a 13% de base úmida.

g) Concentrações foliar de nutrientes: determinado através da coleta de 12 folhas diagnósticas do terceiro trifólio coletado no florescimento pleno do feijoeiro (estádio fenológico R6), conforme recomendação de (Ambrosano *et al.*, 1997), determinados conforme

metodologia proposta por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997) sendo estas secas em estufa de ventilação de ar forçado à 65 °C, por 72h, sendo posteriormente moídas em moinho tipo Wiley para determinação do teor de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn.

4.1 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

Os dados foram submetidos à análise de variância (teste F) após a normalidade e homocedasticidade dos dados as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância para a inoculação do *R. tropici* e coinoculação dos microrganismos benéficos.

Quando constatada interação significativa entre as fontes de variação, procedeu-se o desdobramento, comparando as médias pelo teste de Tukey, adotando-se 5% de significância, de acordo com Pimentel Gomes e Garcia (2002). Para isto, utilizou-se o programa Sisvar (Ferreira, 2019).

As doses da adubação com NPK utilizada na semeadura foi analisada por regressão polinomial, ajustando-se aos modelos de equações lineares e quadráticas significativas pelo teste F, plotados em gráficos com o auxílio do programa SigmaPlot® (Systat Software SigmaPlot 15).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 POPULAÇÃO DE PLANTAS

A emergência das plantas do feijão nos dois locais de cultivo ocorreu uniformemente no sexto dia após a semeadura (DAS). O florescimento pleno do feijão ocorreu aos 40 e 42 dias após a emergência das plantas (DAE), respectivamente, no solo argiloso e arenoso. A colheita do feijão foi realizada aos 96 DAE no cultivo em Latossolo Vermelho e aos 94 DAE no Argissolo Vermelho-Amarelo.

Analizando a população inicial e final de plantas de feijão “de inverno”, constatou-se que houve diferenças significativas para o efeito isolado das doses de NPK para a população inicial de plantas cultivadas em solo argiloso (Selvíria-MS) e para a população final de plantas em solo arenoso (Dracena-SP) (Tabela 1).

Destaque maior para a coinoculação de *R. tropici* + *B. subtilis* (177 mil plantas ha⁻¹) que apresentou maior população final de plantas em relação ao *R. tropici* + *A. brasilense* (152 mil plantas ha⁻¹). Nota-se que a população inicial e final em solo argiloso (Selvíria-MS) apresentaram valores superiores em relação ao solo arenoso (Dracena- SP).

Os valores oscilaram de 146 a 255 mil plantas ha⁻¹ para a população inicial de plantas e 125 a 177 mil plantas ha⁻¹ para a população final de plantas nas duas localidades, porém em ambas localidades apresentaram números de população inicial e final de plantas suficientes para uma boa condução dos experimentos (Tabela 1).

Na ausência de adubação com NPK, dose (zero) foi evidenciado maior número de plantas na população inicial em solo argiloso e obteve maior estande final de plantas em solo arenoso (Tabela 1).

Tabela 2 – Valores médios de população inicial de plantas (PI) e população final de plantas (PF), do feijão comum coinoculado com microrganismos benéficos associado a redução da adubação de semeadura (NPK) em solo argiloso, (Selvíria- MS) e solo arenoso (Dracena-SP), Brasil, safra 2023

	Solo argiloso		Solo arenoso	
	PI	PF	PI	PF
Plantas ha ⁻¹ x 1000				
Coinoculação de microrganismos (CI)				
<i>R. tropici</i>	249	154	146	136
<i>R. tropici</i> + <i>A.brasilense</i>	211	152	157	142
<i>R. tropici</i> + <i>B.subtilis</i>	227	177	151	137
<i>R. tropici</i> + <i>T.harzianum</i>	215	173	156	139
Doses de NPK				
0%	255 ⁽¹⁾	159	155	146 ⁽²⁾
33%	246	175	152	145
66%	202	156	151	138
100%	199	167	153	125
Valores de F				
CI	0,078 ^{ns}	0,040 ^{ns}	0,253 ^{ns}	0,598 ^{ns}
NPK	0,0004*	0,275 ^{ns}	0,070 ^{ns}	0,000*
CI x NPK	0,666 ^{ns}	0,856 ^{ns}	0,497 ^{ns}	0,284 ^{ns}
Diferença mínima significativa (5%)				
CI	40,60	27,53	16,10	12,03
CV (%)	19,07	17,77	11,19	9,21
Média Geral	225,65	164,20	152,56	138,47
Erro Padrão	10,75	7,29	4,26	3,18

Fonte: produção da própria autora.

Nota: CI: Coinoculação; PI: População inicial de plantas; PF: População final de plantas * significativo a 5% de significância; ns – não significativo pelo teste F. Médias seguidas da mesma letra dentro de coinoculação não diferem estatisticamente a 5 % de significância.⁽¹⁾ $y = 15,59x^2 - 78,69x + 258,79$ ($R^2 = 88,06\%$);⁽²⁾ $y = -26,66x^2 - 5,92x + 145,82$ ($R^2 = 83,33\%$).

5.2 MASSA SECA DE PLANTAS E TEOR RELATIVO DE CLOROFILA FOLIAR

Em ambos os solos (argiloso e arenoso) houve interações significativas de níveis de NPK x Coinoculação (CI) dos microrganismos benéficos para a massa seca de plantas. Em relação ao teor relativo de clorofila foliar, apenas o solo argiloso apresentou interação significativa conforme demonstrado na (Tabela 2).

Tabela 3 – Valores médios de massa seca de plantas (MS) e teor relativo de clorofila foliar (TCF), do feijão comum coinoculado com microrganismos benéficos associado a redução da adubação de semeadura (NPK) em solo argiloso, (Selvíria- MS) e solo arenoso (Dracena-SP), Brasil, safra 2023

	Solo argiloso		Solo arenoso	
	MS	TCF	MS	TCF
	g planta ⁻¹	g planta ⁻¹		
Coinoculação de microrganismos (CI)				
<i>R. tropici</i>	12,4	41,3	7,4	46,4
<i>R. tropici</i> + <i>A.brasilense</i>	11,5	33,8	7,1	46,7
<i>R. tropici</i> + <i>B.subtilis</i>	11,3	34,6	6,4	46,2
<i>R. tropici</i> + <i>T.harzianum</i>	11,4	33,2	6,7	46,8
Doses de NPK				
0%	11,4	41,1	5,6	57,9 ⁽³⁾
33%	11,4	37,8	7,3	48,0
66%	11,8	28,2	7,2	41,6
100%	12,1	35,7	7,5	38,6
Valores de F				
CI	0,633 ^{ns}	0,000*	0,425 ^{ns}	0,983 ^{ns}
NPK	0,601 ^{ns}	0,000*	0,009*	0,000*
CI x NPK	0,006*	0,000*	0,039*	0,165 ^{ns}
Diferença mínima significativa (5%)				
CI	2,58	5,09	1,66	4,44
CV (%)	23,50	15,12	25,42	10,12
Média Geral	11,64	35,75	6,92	46,54
Erro Padrão	0,68	1,35	0,44	1,17

Fonte: produção da própria autora.

Nota: CI:Coinoculação; MS: massa seca de plantas; TCF: teor relativo de clorofila foliar * significativo a 5% de significância; ns – não significativo pelo teste F. Médias seguidas da mesma letra dentro de coinoculação não diferem estatisticamente a 5 % de significância. ⁽³⁾ $y = 15,68x^2 - 34,95x + 57,87 (R^2 = 100\%)$.

Analisando o desdobramento da coinoculação dos microrganismos para a massa seca de plantas de feijão em solo argiloso, nota-se que os maiores incrementos de massa seca ocorreram nas doses de 0% e 33% do NPK, sob a inoculação de *R. tropici*. As maiores médias de massa seca (14,3 e 13,4 g planta⁻¹, respectivamente), foram observadas nos tratamentos que não receberam adubação com NPK (dose zero) e naqueles que receberam 33% da dose recomendada de NPK (Tabela 3).

Tabela 4 – Desdobramento da interação significativa da análise de variância para massa seca de plantas, teor relativo de clorofila foliar de plantas do feijão comum coinoculado com microrganismos benéficos associados a redução da adubação de semeadura (NPK), em solo argiloso (Selvíria-MS) e solo arenoso, (Dracena-SP)

Massa seca de plantas – Selvíria, MS				
g planta ⁻¹				
Solo argiloso	Doses de NPK			
Coinoculação	0%	33%	66%	100%
<i>R. tropici</i>	14,3a	13,4a	11,2	10,8
<i>R. tropici</i> + <i>A.brasilense</i>	11,5ab	12,8ab	9,0	12,8
<i>R. tropici</i> + <i>B.subtilis</i>	11,9ab	7,7b	12,9	12,6
<i>R. tropici</i> + <i>T.harzianum</i>	7,8b	77,8ab	12,3	13,6
DMS (5%) Coinoculação dentro de NPK- 5,16				
Teor relativo de clorofila foliar – Selvíria, MS				
Solo argiloso	Doses de NPK			
Coinoculação	0%	33%	66%	100%
<i>R. tropici</i>	58,9a	40,1	33,6	32,4ab
<i>R. tropici</i> + <i>A.brasilense</i>	30,8b	38,3	27,0	38,9ab
<i>R. tropici</i> + <i>B.subtilis</i>	39,1b	34,1	24,1	41,3a
<i>R. tropici</i> + <i>T.harzianum</i>	35,7b	38,8	28,1	30,3b
DMS (5%) Coinoculação dentro de NPK-10,19				
Massa seca de plantas – Dracena, SP				
g planta ⁻¹				
Solo arenoso	Doses de NPK			
Coinoculação	0%	33%	66%	100%
<i>R. tropici</i>	5,4	8,6	9,1	6,5
<i>R. tropici</i> + <i>A.brasilense</i>	6,5	7,3	5,9	8,9
<i>R. tropici</i> + <i>B.subtilis</i>	6,5	5,6	6,7	6,9
<i>R. tropici</i> + <i>T.harzianum</i>	4,1	7,9	7,1	7,8
DMS (5%) Coinoculação dentro de NPK- 3,32				

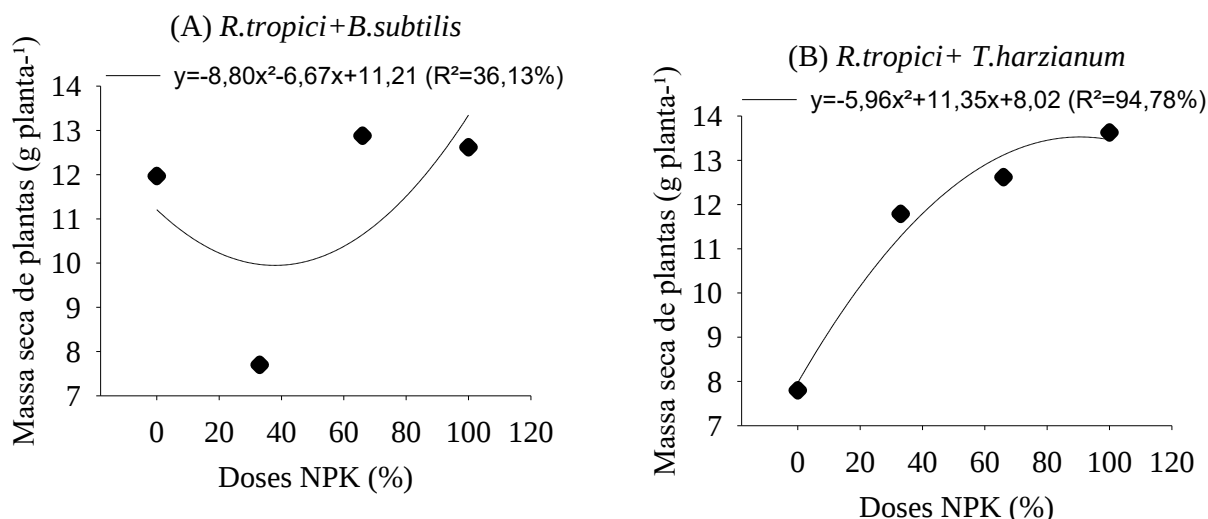
Fonte: produção da própria autora.

Nota: Médias seguidas de mesma letra, minúscula nas colunas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

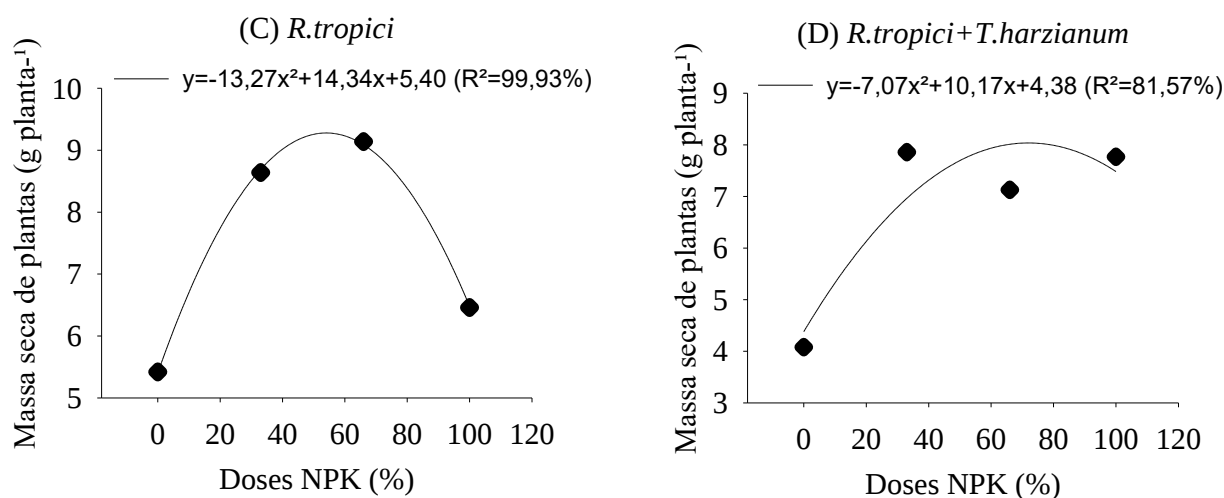
Em solo arenoso, os tratamentos não apresentaram diferença significativa na massa seca das plantas, observado no desdobramento das médias (Tabela 3). Houve ajuste quadrático para a inoculação *R. tropici* e coinoculação de *R. tropici* + *T. harzianum*, com máxima produção de massa seca relacionado à dose de 55,15 % e 72,57% do NPK, respectivamente (Figuras 3B e 3C). Nota-se que a produção de massa seca das plantas de feijão foram maiores quando houve aumento das doses de NPK para os dois tipos de coinoculação.

Figura 3 – Efeito significativo das doses de NPK nas inoculações e coinoculações com microrganismos benéficos sob a massa seca de plantas (A) coinoculação de *R. tropici*+*B.subtilis*; (B) inoculação de *R. tropici*+*T.harzianum* em solo argiloso; (C) inoculação de *R. tropici* e (D) coinoculação de *R. tropici*+*T.harzianum* em solo arenoso.

Solo argiloso- Selvíria, MS



Solo arenoso- Dracena, SP.



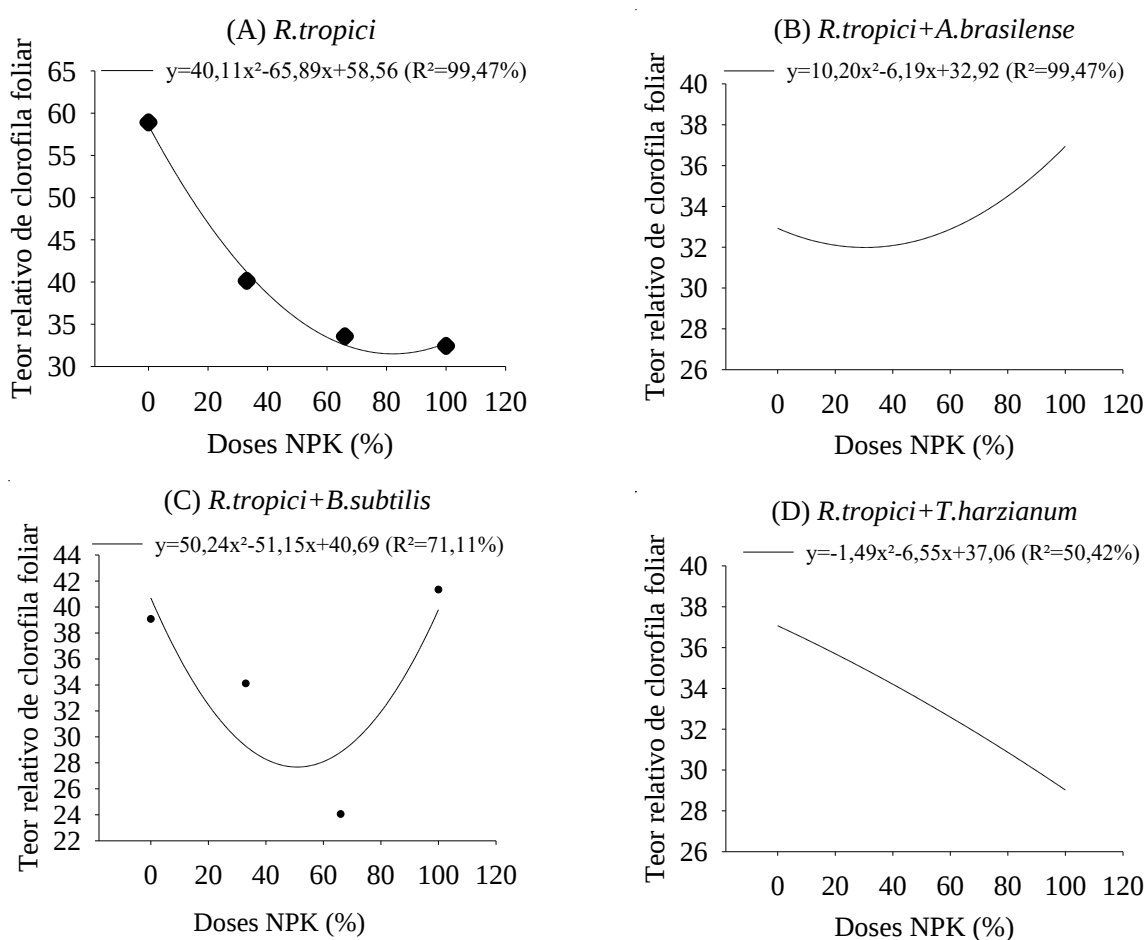
Fonte: produção da própria autora.

Quanto ao teor relativo de clorofila foliar avaliado no momento do florescimento pleno do feijão, nota-se interação significativa para a coinoculação dos microrganismos e as doses de NPK em solo argiloso (Tabela 2). É possível observar que somente a inoculação com *R. tropici* na dose de (zero) proporcionou maior teor relativo de clorofila foliar, com média de 58,9, resultado semelhante ao encontrado na dose de 100% de NPK na coinoculação de *R. tropici* + *B. subtilis*, com média de 41,3 (Tabela 3). Analisando o desempenho dos microrganismos através dos ajustes quadrático, a inoculação de *R. tropici* apresentou um comportamento

decrecente, cuja maior concentração de clorofila foliar ocorreu na dose ótima de 0,82% e foi decrescendo à medida em que se aumentou a dose de NPK (Figura 4A).

Figura 4 – Efeito significativo das doses de NPK nas inoculações e coinoculações com microrganismos benéficos sob o teor relativo de clorofila foliar (A) inoculação de *R. tropici*; (B) coinoculação de *R. tropici*+*A.brasilense*; (C) coinoculação de *R. tropici*+*B.subtilis* e (D) coinoculação de *R. tropici*+*T.harzianum* em solo argiloso.

Solo argiloso- Selvíria, MS



Fonte: produção da própria autora.

O aumento da massa seca de plantas de feijão e concentração de clorofila foliar sob a inoculação de *R. tropici* em doses menores do fornecimento de NPK (zero e 33%), certamente está relacionado ao estímulo à fixação biológica de nitrogênio ocasionada pela *R. tropici*. Esse processo, mediado pela *R. tropici*, promove o aumento da área foliar e, conseqüentemente, da fotossíntese, resultando em maior produção de biomassa vegetal conforme descrito por (Marschner, 2012). Em doses maiores do fornecimento de NPK (66% e 100%) não foi observado o estímulo da fixação biológica de nitrogênio sob a massa seca de plantas, este

fatopode estar relacionado ao excesso de N, e ao desbalanço nutricional desencadeado através da *R. tropici*, o que pode ter desencadeado um efeito inibitório.

No solo arenoso, não foi possível observar os mesmos efeitos que em solo argiloso, o que, possivelmente está relacionada a diferença de capacidade de troca catiônica (CTC) e matéria orgânica do solo, que beneficiam a interação da microbiota do solo argiloso, e os efeitos de lixiviação relacionados a perdas de nutrientes. Resultados semelhantes foram encontrados por Liliana *et al.*, (2017) em área com maior teor de matéria orgânica, foram observados maiores incrementos de massa seca da parte aérea de plantas de feijão quando inoculadas com *R. tropici* associada à dose de 40 kg ha⁻¹ de N em cobertura.

5.3 NODULAÇÃO

Em relação as avaliações de número de nódulos por planta e massa seca de nódulos realizados no florescimento pleno das plantas de feijão, é possível notar que houve interação significativa da coinoculação dos microrganismos benéficos (CI) e as doses de NPK testadas, para o número de nódulos por planta em ambos os solos (argiloso e arenoso), os resultados constam na Tabela 4 e os desdobramento das médias constam na Tabela 5.

Tabela 5 – Valores médios de número de nódulos por planta (NP) e massa seca de nódulos (MSN), do feijão comum coinoculado com microrganismos benéficos associado a redução da adubação de semeadura (NPK) em solo argiloso, (Selvária- MS) e solo arenoso (Dracena-SP), Brasil, safra 2023

	Solo argiloso		Solo arenoso	
	NP	MSN	NP	MSN
	g planta ⁻¹		g planta ⁻¹	
	Coinoculação de microrganismos (CI)			
	<i>R. tropici</i>	16,3	0,16	7,8
<i>R. tropici</i> + <i>A.brasilense</i>	18,1	0,16	7,3	0,78
<i>R. tropici</i> + <i>B.subtilis</i>	16,0	0,14	7,6	0,79
<i>R. tropici</i> + <i>T.harzianum</i>	20,1	1,18	9,7	0,80
Doses de NPK				
0%	12,3	0,17	6,5	0,80
33%	14,7	0,15	10,3	0,80
66%	22,6	0,16	8,7	0,81
100%	21,0	0,16	6,9	0,77
Valores de F				
CI	0,247 ^{ns}	0,6418 ^{ns}	0,240 ^{ns}	0,4015 ^{ns}
NPK	0,000*	0,9274 ^{ns}	0,014*	0,4016 ^{ns}
CI x NPK	0,032*	0,1336 ^{ns}	0,033*	0,4540 ^{ns}
Diferença mínima significativa (5%)				
CI	5,96	0,08	3,39	0,07
CV (%)	25,80	21,65	24,30	27,30
Média Geral	17,64	0,16	8,12	0,80
Erro Padrão	1,57	0,02	0,89	7,36

produção da própria autora.

Nota: CI: Coinoculação; NP: número de nódulos por planta; MSN: massa seca de nódulos * significativo a 5% de significância; ns – não significativo pelo teste F. Médias seguidas da mesma letra dentro de coinoculação não diferem estatisticamente a 5 % de significância.

Tabela 6 – Desdobramento da interação significativa da análise de variância para o número de nódulos por plantas do feijão comum coinoculado com microrganismos benéficos associados a redução da adubação de semeadura (NPK), em solo argiloso (Selvária-MS) e solo arenoso, (Dracena-SP)

Número de nódulos por planta- Selvária, Mato Grosso do Sul				
Solo argiloso		Doses de NPK		
Coinoculação	0%	33%	66%	100%
<i>R. tropici</i>	12,0	17,1	17,8	18,2ab
<i>R. tropici</i> + <i>A.brasilense</i>	12,7	10,7	25,9	23,2ab
<i>R. tropici</i> + <i>B.subtilis</i>	10,6	11,7	27,7	14,0b
<i>R. tropici</i> + <i>T.harzianum</i>	13,8	19,2	18,8	28,5a
DMS (5%) Coinoculação com NPK - 11,92				
Número de nódulos por planta- Dracena, São Paulo				
Solo arenoso		Doses de NPK		
Coinoculação	0%	33%	66%	100%
<i>R. tropici</i>	5,8	9,2b	10,4	6,0
<i>R. tropici</i> + <i>A.brasilense</i>	6,0	6,8b	8,0	8,3
<i>R. tropici</i> + <i>B.subtilis</i>	6,7	7,9b	8,8	7,0
<i>R. tropici</i> + <i>T.harzianum</i>	7,5	17,5a	7,6	6,2
DMS (5%) Coinoculação com NPK - 6,78				

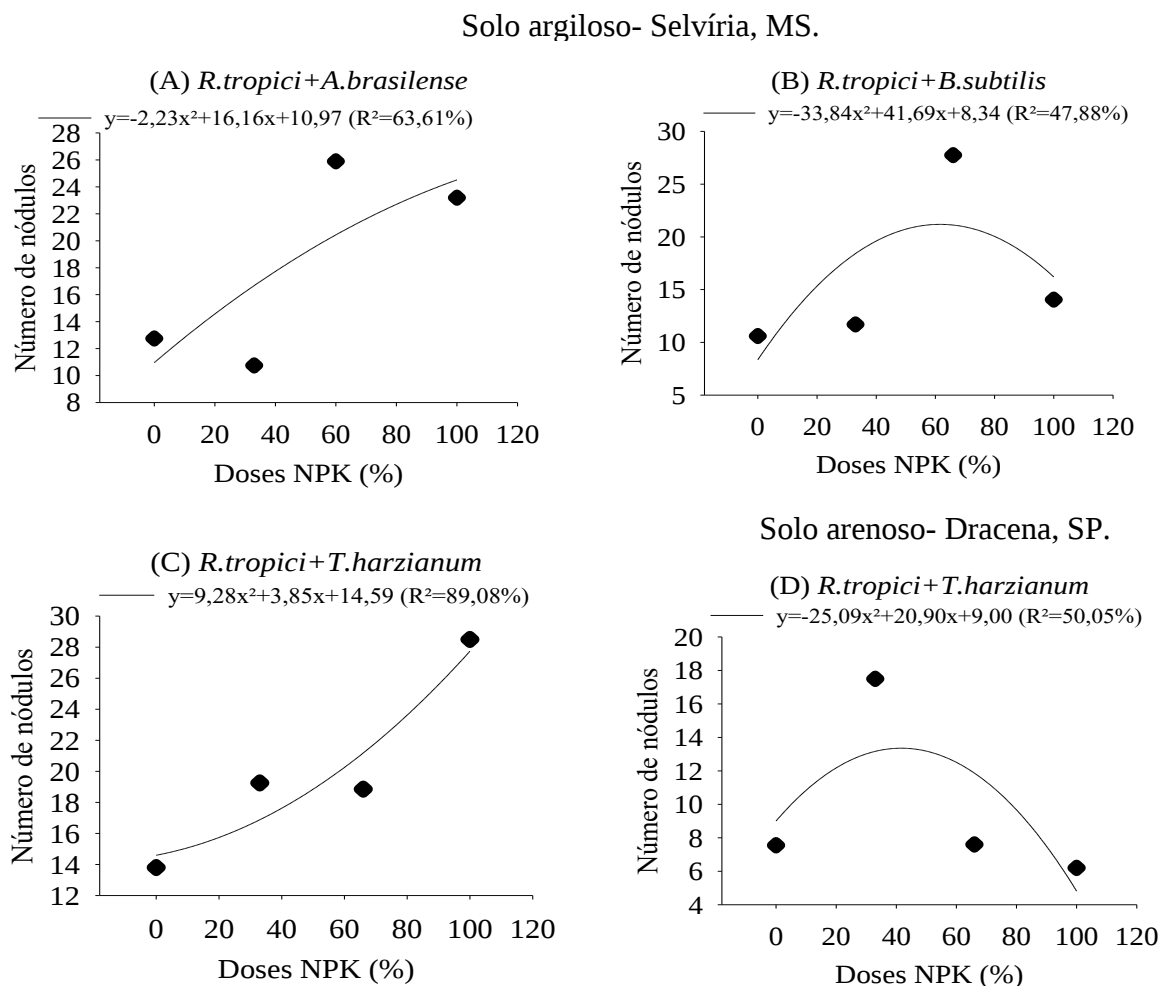
Fonte: produção da própria autora.

Nota: Médias seguidas de mesma letra, minúscula nas colunas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Analisando o desdobramento das médias nota-se que a coinoculação de *R. tropici*+*T.harzianum* apresentou incrementos positivos na nodulação nas raízes do feijão cultivado em solo argiloso, seguido da coinoculação de *R. tropici* +*A. brasilense* e a inoculação de *R. tropici* utilizando a dose de 100% do NPK na semeadura, com média de 28,5, 23,2 e 18,2 nódulos por planta, respectivamente (Tabela 5).

A coinoculação de *R. tropici*+ *T. harzianum* aumentou a nodulação em 36,14% em relação a inoculação com *R. tropici*. Para a inoculação de *R. tropici* e coinoculação de *R. tropici*+*T.harzianum*, os dados ajustaram-se ao modelo quadrático, em que houve aumento da nodulação nas plantas de feijão, conforme aumento das doses de NPK, cujo maior número de nódulos está relacionado a dose de 100% de NPK em solo argiloso (Figura 5A e 5C).

Figura 5 – Efeito significativo das doses de NPK nas inoculações e coinoculações com microrganismos benéficos sob o número de nódulos por planta (A) coinoculação de *R. tropici*+ *A. brasilense*; (B) coinoculação de *R. tropici*+*B.subtilis*; (C) coinoculação de *R. tropici*+*T.harzianum* em solo argiloso e (D) coinoculação de *R. tropici*+*T.harzianum* em solo arenoso



Fonte: produção da própria autora.

Viçosa e Pelá (2020) demonstraram, em estudos com feijão-vagem e *Rhizobium tropici*, que a adubação nitrogenada com ureia inibiu a nodulação, tanto na presença quanto na ausência de inoculação, sugerindo uma interação negativa entre a fixação biológica de nitrogênio e o fornecimento de nitrogênio mineral. Dardanelli *et al.*, (2008) demonstraram que a inoculação com *A. brasilense* promoveu a nodulação em plantas de feijão ao aumentar a produção de flavonoides, prolongando a sinalização radicular para *Rhizobium tropici*.

Em relação à nodulação das plantas de feijão em solo arenoso, semelhante ao resultado encontrado em solo argiloso a coinoculação de *R. tropici*+*T.harzianum* proporcionou aumento de 47,42% no número de nódulos em relação a inoculação com *R. tropici*, porém na dose de 33% de NPK utilizado na semeadura, com média de 17,5 nódulos por planta (Tabela 5).

Machado *et al.*, (2011) demonstraram em estudos com a leguminosa *Lotus corniculatus* L. inoculada com rizóbios e *Trichoderma*, que a inoculação com *Trichoderma* promoveu efeito positivo na nodulação, a nodulação variou entre 60 e 93 nódulos por planta, apresentando resultados superiores aos encontrados em estudos anteriores. De acordo com Saber *et al.*, (2009), a produção de enzimas como quitinase e celulase por *Trichoderma* spp. facilita a colonização das raízes por rizóbios, contribuindo para o estabelecimento da simbiose leguminosa e rizóbios, e consequentemente a formação de nódulos fixadores de nitrogênio.

5.4 COMPONENTES PRODUTIVOS E PRODUTIVIDADE DE GRÃOS

A análise de variância constatou diferença significativa em relação ao número de grãos por planta do feijão para os níveis de (doses de NPK x Coinoculação dos microrganismos benéficos) somente para o solo argiloso (Tabela 6). Já em relação ao número de vagens por planta do feijão constatou-se interação significativa para os dois tipos de solo testados argiloso e arenoso (Tabela 6).

Tabela 7 – Valores médios de número de grãos por planta (NGP) e número de vagens por planta (NVP), do feijão comum coinoculado com microrganismos benéficos associado a redução da adubação de semeadura (NPK) em solo argiloso, (Selvíria- MS) e solo arenoso (Dracena-SP), Brasil, safra 2023

	Solo argiloso		Solo arenoso	
	NGP	NVP	NGP	NVP
Coinoculação de microrganismos (CI)				
<i>R. tropici</i>	110,6	15,4	40,6b	12,8
<i>R. tropici</i> + <i>A.brasilense</i>	92,2	10,7	46,2ab	12,2
<i>R. tropici</i> + <i>B.subtilis</i>	96,6	11,8	55,2ab	11,2
<i>R. tropici</i> + <i>T.harzianum</i>	111,2	13,5	53,6a	10,3
Doses de NPK				
0%	87,3	12,5	53,4 ⁽¹⁾	10,1
33%	112,1	14,6	57,2	11,0
66%	100,2	10,4	50,6	12,0
100%	110,8	13,9	34,4	13,3
Valores de F				
CI	0,004*	0,000*	0,032*	0,045*
NPK	0,000*	0,002*	0,000*	0,006*
CI x NPK	0,000*	0,001*	0,432 ^{ns}	0,030*
Diferença mínima significativa (5%)				
CI	16,50	2,94	3,81	2,39
CV (%)	17,06	24,29	21,25	21,84
Média Geral	102,64	12,86	48,90	11,63
Erro Padrão	4,37	0,78	3,81	0,63

Fonte: produção da própria autora.

Nota: CI: Coinoculação; NGP: número de grãos por planta; NVP: número de vagens por planta * significativo a 5% de significância; ns – não significativo pelo teste F. Médias seguidas da mesma letra dentro de coinoculação não diferem estatisticamente a 5 % de significância. ⁽³⁾ $y = -44,78x^2 + 25,61x + 53,44 (R^2 = 99,95\%)$

Analisando o desdobramento das médias das doses de NPK dentro de coinoculação dos microrganismos sobre o número de grãos de feijão por planta, a combinação da dose de 33% do NPK com a inoculação de *R. tropici* proporcionou o maior número médio de grãos por planta (153,2) em feijão cultivado em solo argiloso (Tabela 7).

Tabela 8 – Desdobramento da interação significativa da análise de variância para o número de grãos por planta e número de vagens por planta do feijão comum coinoculado com microrganismos benéficos associados a redução da adubação de semeadura (NPK), em solo argiloso, (Selvíria-MS) e arenoso (Dracena-SP)

Número de grãos por planta		Solo argiloso (Selvíria-MS)			
Coinoculação		Doses de NPK			
		0%	33%	66%	100%
<i>R. tropici</i>		85,2	153,2a	111,5a	92,5
<i>R. tropici</i> + <i>A.brasilense</i>		88,7	85,0b	85,5a	109,5
<i>R. tropici</i> + <i>B.subtilis</i>		78,2	102,7b	88,2a	116,5
<i>R. tropici</i> + <i>T.harzianum</i>		96,7	107,5b	115,7a	124,7
DMS (5%) Coinoculação com NPK – 33,04					
Número de vagens por planta		Solo argiloso (Selvíria-MS)			
Coinoculação		Doses de NPK			
		0%	33%	66%	100%
<i>R. tropici</i>		15,7	17,3	16,3a	12,5ab
<i>R. tropici</i> + <i>A.brasilense</i>		10,0	13,1	4,1c	15,6ab
<i>R. tropici</i> + <i>B.subtilis</i>		13,6	13,4	9,6bc	10,5b
<i>R. tropici</i> + <i>T.harzianum</i>		10,8	14,6	11,6ab	16,9a
DMS (5%) Coinoculação com NPK – 5,89					
Número de vagens por planta		Solo arenoso (Dracena-SP)			
Coinoculação		Doses de NPK			
		0%	33%	66%	100%
<i>R. tropici</i>		12,2a	13,5a	13,1	12,2
<i>R. tropici</i> + <i>A.brasilense</i>		12,4a	10,8ab	10,3	15,1
<i>R. tropici</i> + <i>B.subtilis</i>		6,9ab	8,6b	13,0	13,5
<i>R. tropici</i> + <i>T.harzianum</i>		6,3b	10,9ab	11,8	12,3
DMS (5%) Coinoculação com NPK – 4,80					

Fonte: produção da própria autora.

Médias seguidas de mesma letra, minúscula nas colunas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Ao analisar o efeito da interação entre as doses de NPK e a coinoculação de microrganismos benéficos em solo argiloso, observou-se que a combinação da dose de 66% de NPK com a inoculação de *R. tropici* se destacou, proporcionando uma média de 16,3 vagens por planta, conforme apresentado na Tabela 7. Entre os tratamentos avaliados, a aplicação da dose máxima de NPK (100%), associada à coinoculação de *R. tropici* e *T. harzianum*, proporcionou o melhor desempenho em termos de número de vagens por planta, com uma média de 16,9 vagens, conforme demonstrado na Tabela 7.

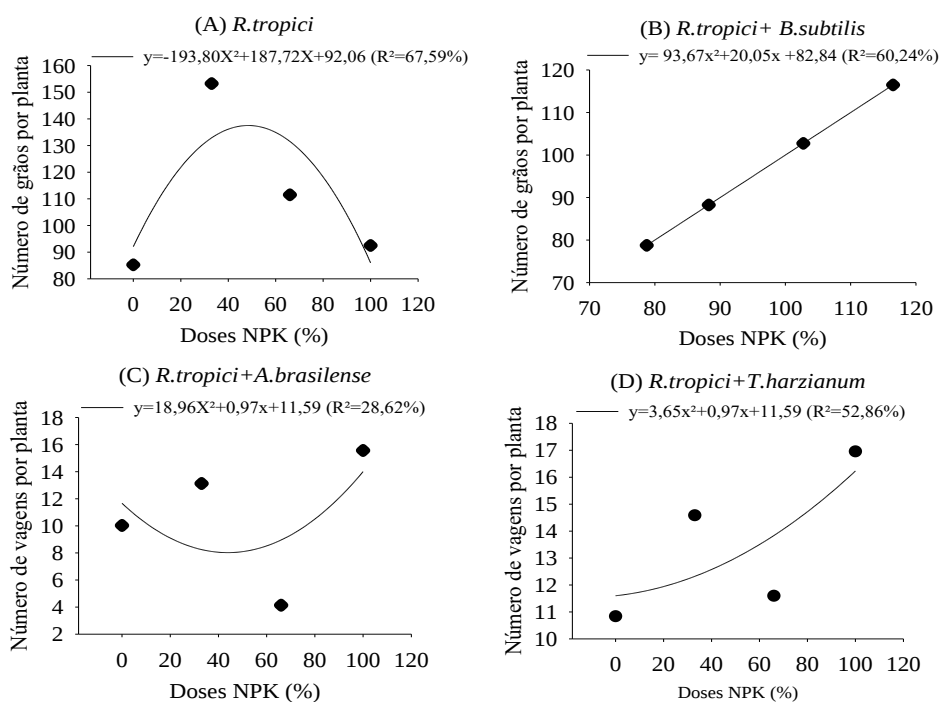
A análise dos resultados em solo arenoso indicou que a inoculação com *R. tropici* e a coinoculação de *R. tropici* e *A. brasilense*, na ausência de adubação com NPK na semeadura (0%), proporcionou um aumento no número de vagens por planta, alcançando médias de 12,2 e 12,4 vagens por planta, respectivamente (Tabela 7). Esse resultado é semelhante ao observado

em solo argiloso, onde a inoculação com *R. tropici* também se destacou, embora a dose de NPK que aumentou o número de vagens tenha sido diferente, sendo de 33% no caso do solo arenoso (Tabela 7). Resultados semelhantes foram evidenciados por Mortinho et al., 2021, o desempenho da coinoculação com *R. tropici* e *A. brasilense* apresentaram desempenho similar em relação ao número de grãos por planta, independentemente da dose de NPK e a inoculação com *R. tropici* demonstrou maior influência no número de grãos por planta, na dose zero e de 50% de NPK.

Os efeitos significativos das doses de NPK testadas constam nas figuras 6 e 7. Em solo arenoso houve ajuste quadrático para a coinoculação de *R. tropici*+ *A. brasilense* e *R. tropici*+*T.harzianum*, estas coinoculações apresentaram comportamento crescente, cujo maior número de vagens por planta foi observado na dose de 100% do NPK (Figura 6C e 6D).

Figura 6 – Efeito significativo das doses de NPK nas inoculações e coinoculações com microrganismos benéficos sob o número de grãos por planta (A) coinoculação de *R. tropici*; (B) coinoculação de *R. tropici*+*B.subtilis*; e sob o número de vagens por planta (C) coinoculação de *R. tropici*+ *A. brasilense* e (D) coinoculação de *R. tropici*+*T.harzianum* em solo argiloso

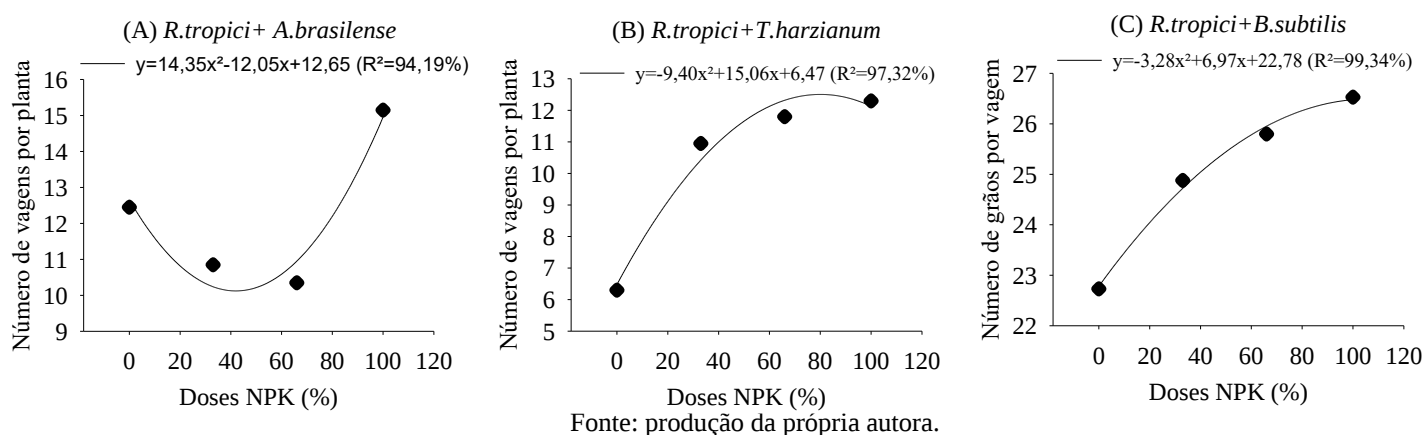
Solo argiloso- Selvíria,



Fonte: produção da própria autora.

Figura 7 – Efeito significativo das doses de NPK nas inoculações e coinoculações com microrganismos benéficos sob o número de vagens por planta (A) coinoculação de *R. tropici*+*A. brasilense*; (B) coinoculação de *R. tropici*+*T. harzianum* e sob o número de grãos por vagem (C) coinoculação de *R. tropici*+*B. subtilis*; em solo arenoso

Solo arenoso- Dracena, SP.



A inoculação com *R. tropici* em ambos os tipos de solo mostrou-se uma estratégia promissora para o aumento dos componentes produtivos. Além disso, a inoculação incrementou o número de grãos por planta utilizando 33% da dose recomendada de NPK e o número de vagens por planta quando utilizando 66% de NPK. Em solo arenoso, o benefício da inoculação com *R. tropici* foi observado no número de vagens utilizando a dose de 33% de NPK. Esses resultados corroboram com os resultados encontrados por Yadegari *et al.*, (2014), que evidenciou o potencial de *R. tropici* em aumentar a produção de vagens e grãos de feijão, sugerindo que a associação entre a essa bactéria diazotrófica e a planta pode melhorar a eficiência da utilização de nutrientes fornecido através da adubação.

Analizando os resultados de efeitos isolados, não houve interação significativa das doses de NPK e coinoculação dos microrganismos benéficos (CI) para a massa de 100 grãos do feijão comum cultivado nos dois tipos de solo (argiloso e arenoso), somente foi possível observar efeito significativo para as doses testadas (Tabela 8). Em relação ao número de grãos por vagem, nota-se que houve interação significativa somente para o cultivo em solo arenoso (Tabela 8).

Tabela 9 – Valores médios de número de grãos por vagem (NGV) e massa de cem grãos (M100G), do feijão comum coinoculado com microrganismos benéficos associado a redução da adubação de semeadura (NPK) em solo argiloso, (Selvária- MS) e solo arenoso (Dracena-SP), Brasil, safra 2023

	Solo argiloso		Solo arenoso	
	NGV	M100G G	NGV	M100G g
Coinoculação de microrganismos (CI)				
<i>R. tropici</i>	5,1	24,1	4,3	24,6
<i>R. tropici</i> + <i>A.brasilense</i>	5,5	23,9	3,9	24,9
<i>R. tropici</i> + <i>B.subtilis</i>	5,3	24,5	4,2	24,9
<i>R. tropici</i> + <i>T.harzianum</i>	5,2	24,1	4,2	24,9
Doses de NPK				
0%	5,2	24,8 ⁽¹⁾	3,9	23,4 ⁽²⁾
33%	5,2	24,3	4,1	25,3
66%	5,5	23,9	4,5	25,8
100%	5,2	23,6	4,1	24,9
Valores de F				
CI	0,844 ^{ns}	0,447 ^{ns}	0,467 ^{ns}	0,865 ^{ns}
NPK	0,911 ^{ns}	0,000*	0,210 ^{ns}	0,000*
CI x NPK	0,981 ^{ns}	0,294 ^{ns}	0,026*	0,106 ^{ns}
Diferença mínima significativa (5%)				
CI	1,10	0,85	0,73	1,22
CV (%)	22,24	3,74	18,88	5,23
Média Geral	5,28	24,17	4,13	24,85
Erro Padrão	0,29	0,22	0,19	0,32

Fonte: produção da própria autora.

Nota: CI:Coinoculação; NGP: número de grãos por planta; NVP: número de vagens por planta * significativo a 5% de significância; ns – não significativo pelo teste F. Médias seguidas da mesma letra dentro de coinoculação não diferem estatisticamente a 5 % de significância. (1) $y = 0,33x^2 - 1,55x + 24,81$ ($R^2=50,97\%$);(2) $y=-6,14x^2+7,63x+23,42$ ($R^2=100\%$).

Em contrapartida, Bastos (2016), constatou que a aplicação conjunta de adubo nitrogenado e a inoculação com *Azospirillum brasilense* em feijoeiro comum resultou em um maior número de vagens e grãos por planta quando comparada à adubação nitrogenada mineral e à inoculação com *A. brasilense* isolada. Entretanto, a massa de 100 grãos foi inferior nesses tratamentos, representando um incremento de 12% e 20,9% em relação à adubação mineral e à coinoculação, respectivamente.

Em relação ao número de grãos por vagem, utilizando a dose de 33% do NPK a inoculação e as coinoculações apresentaram diferença significativa. A coinoculação de *R. tropici* e *T. harzianum* utilizando a dose de 33% do NPK em solo arenoso obteve destaque, foi evidenciado aumento no número de grãos por vagem, com média de 4,9 grãos (Tabela 9).

Tabela 10 – Desdobramento da interação significativa da análise de variância para o número de grãos por vagem do feijão comum coinoculado com microrganismos benéficos associados a redução da adubação de semeadura (NPK), em solo arenoso, (Dracena-SP)

Número de grãos por vagem- Dracena, São Paulo

Solo argiloso	Doses de NPK			
Coinoculação	0%	33%	66%	100%
R	4,2	4,4ab	4,7	3,8
R+Azo	4,0	3,9ab	4,2	3,4
R+Bac	3,9	3,01b	4,9	4,7
R+Ticho	3,4	4,9a	4,1	4,4
DMS (5%)	Coinoculação dentro de NPK - 1,50			

Fonte: produção da própria autora.

Médias seguidas de mesma letra, minúscula nas colunas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Em ambos os solos (argiloso e arenoso), foi constatado interação significativa dos níveis de doses de NPK e a coinoculação dos microrganismos benéficos para a produtividade de grãos de feijão comum através da análise de variância constatados na Tabela 10.

Tabela 11 - Valores médios da produtividade de grãos (PG) do feijão comum coinoculado com microrganismos benéficos associado a redução da adubação de semeadura (NPK) em solo argiloso, (Selvíria- MS) e solo arenoso (Dracena-SP), Brasil, safra 2023

Produtividade de Grãos	Solo argiloso kg ha ⁻¹	Solo arenoso kg ha ⁻¹
Coinoculação de microrganismos (CI)		
<i>R. tropici</i>	2.900	2.315
<i>R. tropici</i> + <i>A.brasilense</i>	2.790	2.292
<i>R. tropici</i> + <i>B.subtilis</i>	2.914	2.426
<i>R. tropici</i> + <i>T.harzianum</i>	2.640	2.309
Doses de NPK		
0%	2.724	2.108
33%	2.887	2.379
66%	2.893	2.472
100%	2.736	2.382
Valores de F		
CI	0,08 ^{ns}	0,90 ^{ns}
NPK	0,00*	0,27 ^{ns}
CI x NPK	0,00*	0,00*
Diferença mínima significativa (5%)		
CI	310,22	541,12
CV (%)	11,70	24,55
Média Geral	2810,20	2335,94
Erro Padrão	82,20	143,38

Fonte: Produção da própria autora.

Nota: CI: Coinoculação; NGP: número de grãos por planta; NVP: número de vagens por planta * significativo a 5% de significância; ns – não significativo pelo teste F. Médias seguidas da mesma letra dentro de coinoculação não diferem estatisticamente a 5 % de significância.

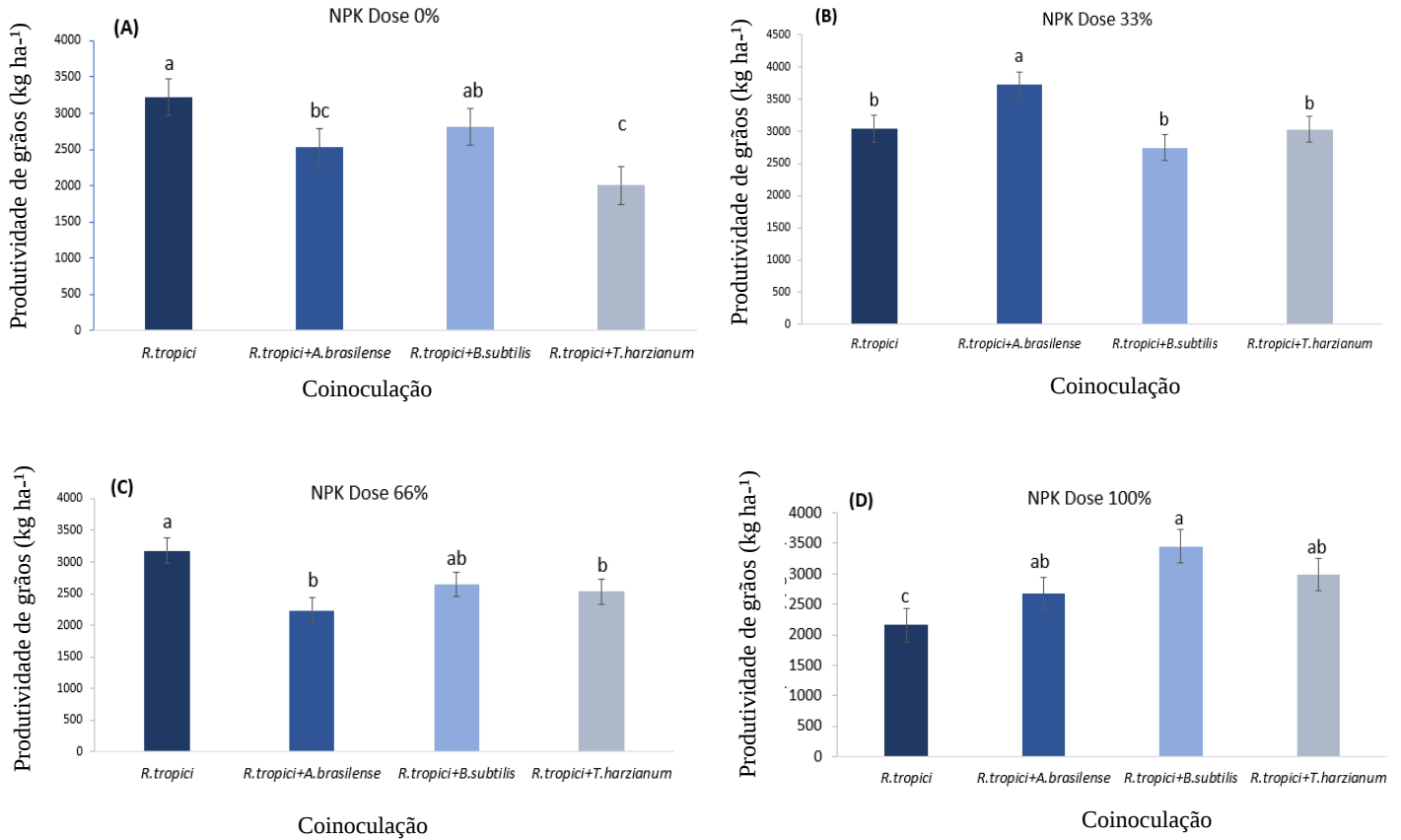
Na ausência da adubação de semeadura com NPK dose (zero), somente a inoculação de *R. tropici* foi suficiente para apresentar um desempenho superior as demais coinoculações com média de rendimento de grãos em 3.218,5 kg ha⁻¹ (Figura 8A). A aplicação de 66% da dose de NPK na semeadura, combinada com a inoculação de *R. tropici*, foi suficiente para obter um elevado rendimento de grãos, alcançando 3.178,2 kg ha⁻¹ em solo argiloso.

Esses resultados demonstram o potencial da inoculação com *R. tropici* em reduzir a adubação de semeadura sem comprometer a produtividade (Figura 8A). Outro resultado indica que utilizando apenas 33% da dose total de NPK, a coinoculação de *R. tropici* e *A. brasilense* proporcionou o maior rendimento de grãos, alcançando uma média de 3.722,0 kg ha⁻¹, de todos os tratamentos analisados em solo argiloso.

Esse resultado indica que a coinoculação, associada a uma menor quantidade de fertilizante, foi a estratégia mais eficiente para aumentar a produtividade da cultura (Figura 8B). Já utilizando 100% da dose de NPK a coinoculação de *R. tropici* + *B. subtilis* apresentou o melhor destaque com produtividade de 3.448 kg ha⁻¹ em solo argiloso. (Figura 8D)

A inoculação de *R. tropici* apresentou ajuste ao modelo quadrático decrescente com coeficiente de determinação de 86,26%, nota-se que a dose ótima foi evidenciada em 0,25% do NPK fornecido, tratamento ao qual ocorreu o maior rendimento de grãos em solo argiloso (Figura 9D).

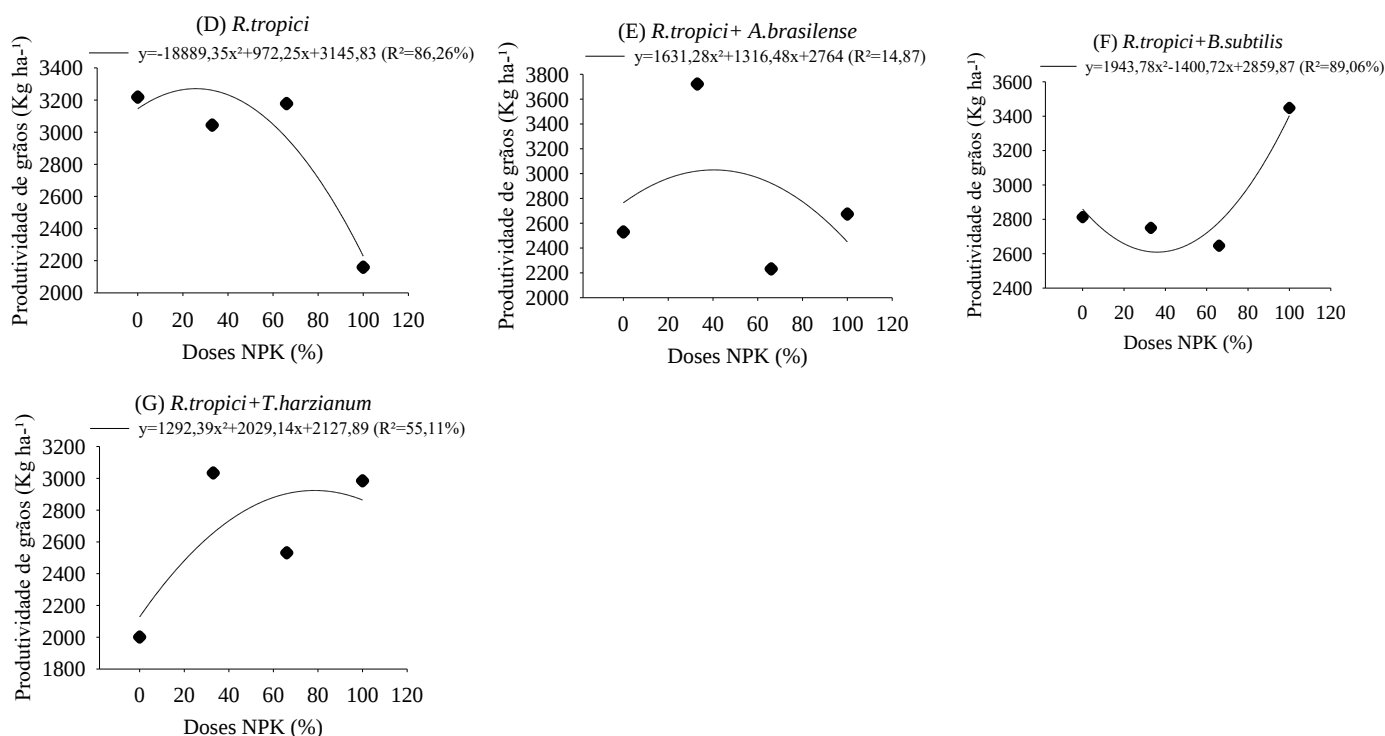
Figura 8 – Distribuição das doses médias de NPK 0% (A), 33% (B), 66% (C), 100% (D) (da recomendação brasileira de fertilizantes NPK para feijoeiro comum) dentro da inoculação e coinoculação de microrganismos benéficos sobre a produtividade de grãos de feijoeiro em solo argiloso (Selvíria, MS). Médias seguidas da mesma letra não variam estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância



Fonte: produção da própria autora.

Figura 9 – Efeito significativo das doses de NPK nas inoculações e coinoculações com microrganismos benéficos sob a produtividade de grãos (D) inoculação de *R. tropici*; (E) coinoculação de *R. tropici*+ *A. brasilense* (F) coinoculação de *R. tropici*+ *B. subtilis* e (G) coinoculação de *R. tropici*+ *T. harzianum* em solo argiloso

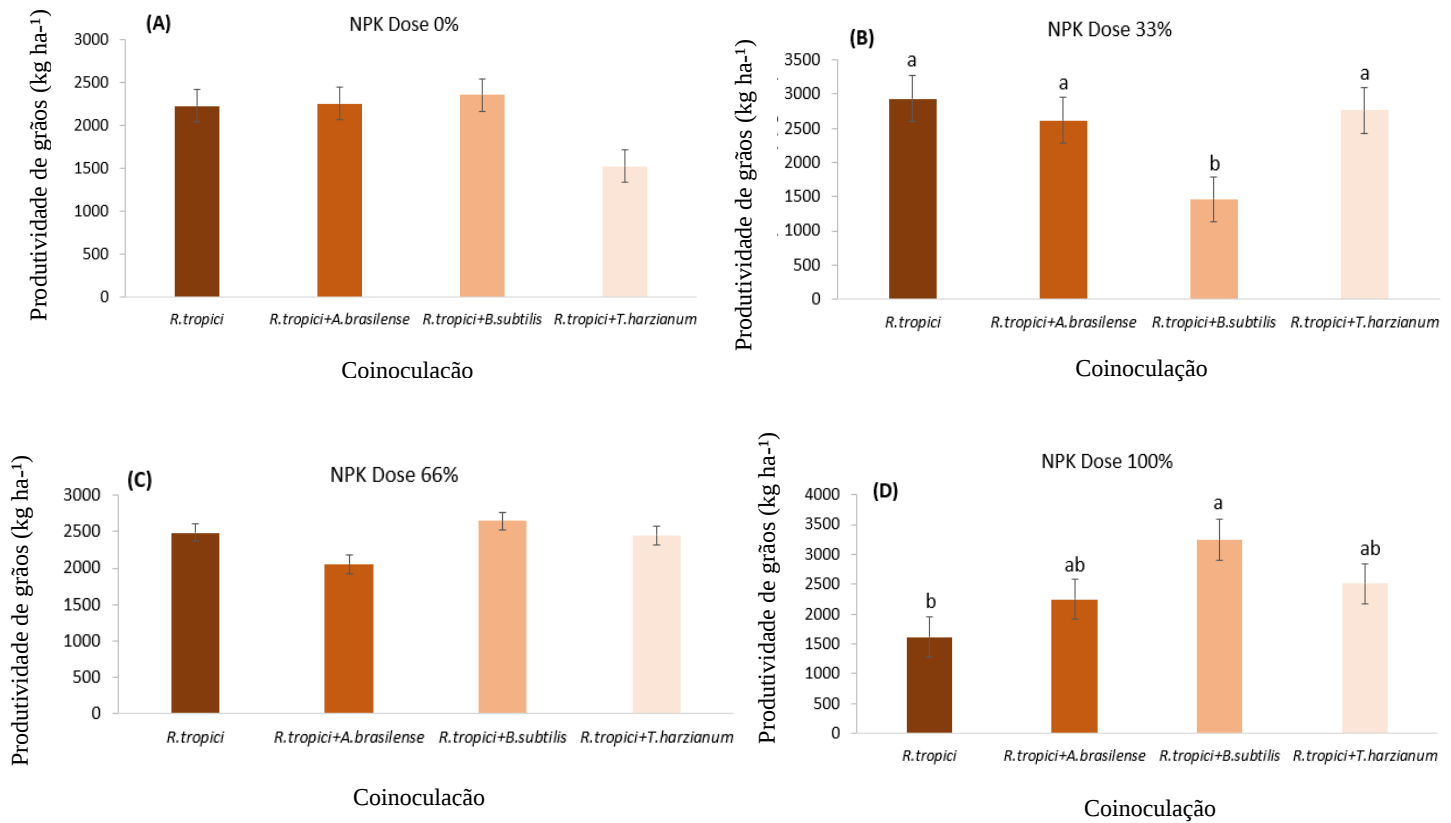
Solo argiloso- Selvíria,



Fonte: produção da própria autora.

Em solo arenoso o desdobramento das médias apresentou diferença significativa somente para as doses de 33% e 100% do NPK utilizado (Figura 10B e 10 D). Em 33% somente a inoculação *R. tropici* apresentou a maior média de produtividade com 2.932,3 kg ha⁻¹, seguido pela coinoculação de *R. tropici*+*A. brasilense* 2.619,9 kg ha⁻¹ e *R. tropici*+*T. harzianum* 2.765,2 kg ha⁻¹. Já na dose de 100% do NPK com a coinoculação de *R. tropici*+*B. subtilis* apresentou a maior média de produtividade de grãos de todas as doses e coinoculações testadas com média de 3.245,4 kg ha⁻¹ (Figura 10D). Houve ajuste quadrático para a inoculação de *R. tropici*, a produtividade máxima de grãos de feijão ocorreu na dose ótima de 40,29% do NPK na inoculação de *R. tropici*, a produtividade de grãos sofreu redução conforme o aumento da dose de NPK (Figura 11 A).

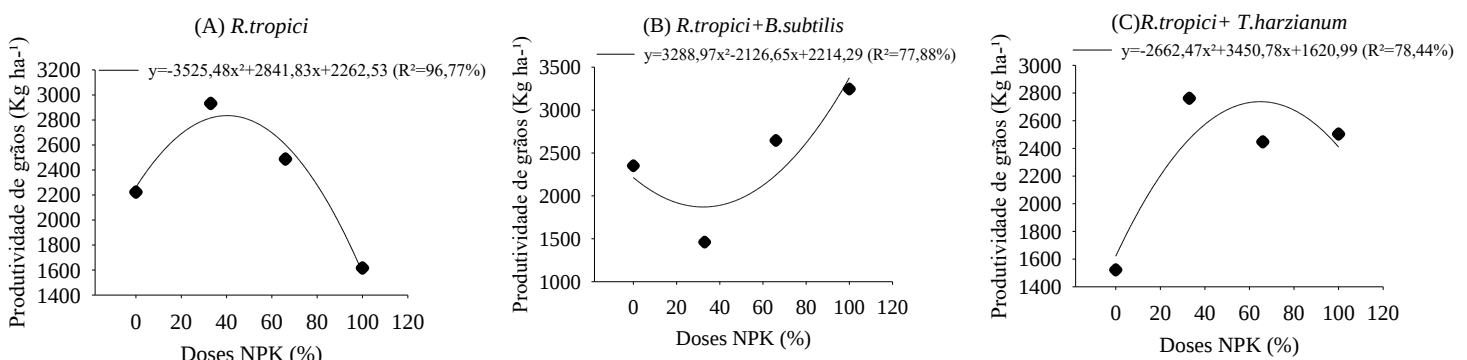
Figura 10 – Distribuição das médias das doses de NPK 0% (A), 33% (B), 66% (C), 100% (D) (da recomendação brasileira de fertilizantes NPK para feijoeiro comum) dentro da inoculação e coinoculação de microrganismos benéficos na produtividade de grãos de feijoeiro em solo arenoso (Dracena, SP). Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância



Fonte: produção da própria autora.

Figura 11 - Efeito significativo das doses de NPK nas inoculações e coinoculações com microrganismos benéficos sob a produtividade de grãos (A) inoculação de *R. tropici*; (B) coinoculação de *R. tropici*+ *B. subtilis* (C) coinoculação de *R. tropici*+ *T. harzianum* em solo arenoso

Solo arenoso- Dracena, SP.



Fonte: Elaborado pela própria autora.

A produtividade de grãos obteve-se incrementos quando inoculado com *R. tropici* na ausência de adubação com NPK e com (33%) da dose recomendada para o solo argiloso, em solo arenoso a inoculação de *R. tropici* associado a dose de (33%) também obteve ganhos na produtividade de grãos. A inoculação juntamente com o fornecimento de nutrientes na semeadura mesmo que de forma reduzida, evidencia que pode-se obter ganhos de produtividade na cultura do feijão. A oferta de N para as plantas como forma de resultado da coinoculação pode aumentar a síntese de clorofila (Baset Mia *et al.*, 2010), atividade fotossintética e o crescimento vegetativo do feijoeiro e consequentemente o aumento da produtividade final (Sorato *et al.*, 2006).

A coinoculação de *R. tropici* e *A. brasilense* em (33%) de NPK, de todas as doses testadas de NPK apresentou o melhor ganho de produtividade em solo argiloso, e apresentou o melhor desempenho em solo arenoso. Há evidências de acordo com Chibeba *et al.* (2015), uma das causas para o aumento de produtividade nesta coinoculação, é a nodulação precoce, o *Azospirillum ssp* coloniza as raízes antes do *Rhizobium ssp* e produzem flavonóides que atraem o *Rhizobium ssp*.

Diante dos resultados encontrados da produtividade de grãos de feijão, foi evidenciado um sinergismo maior entre a inoculação e coinoculações em solo argiloso. Este fato pode-se ser atribuído a textura do solo, teor de matéria orgânica, porosidade e ao Sistema Plantio Direto, ao qual a área onde foi realizado o experimento em solo argiloso está inserida, possui cobertura do solo, retenção de umidade, matéria orgânica e consequentemente maior fertilidade do solo.

5.5 CONCENTRAÇÃO FOLIAR DE NUTRIENTES

Analizando a concentração foliar de macronutrientes em folhas diagnósticas do feijoeiro nos dois tipos de solo de cultivo (argiloso e arenoso), em função das inoculações e coinoculações com dos microrganismos benéficos (CI) associados a doses de NPK. Observa-se que houve interação significativa das doses de NPK e da coinoculação dos microrganismos (CI) nas concentrações foliares de Ca em plantas de feijão cultivado em solo argiloso e de N, P, Mg e S em solo arenoso (Tabela 11).

Os resultados das concentrações foliares foram interpretados conforme as faixas de suficiência descritas por Quaggio *et al.* (2022), em g kg⁻¹: N-30,0 a 50,0; P-2,5 a 4,0; K-20,0 a 24,0; Ca-10,0 a 25,0; Mg-2,5 a 5,0 e S-2,0 a 3,0. As médias das concentrações foliares de macronutrientes avaliados das folhas das plantas do experimento, ficou dentro do padrão que é considerado adequado para a cultura do feijão nos dois tipos de solo estudado (Tabela 11).

Nota-se que os valores de oscilaram entre 16 a 18 g kg⁻¹ para concentração foliar de potássio e 1,4 a 1,9 g kg⁻¹ para concentração foliar de enxofre em plantas de feijão. Vale ressaltar que em todos os tratamentos houve uma leve deficiência na concentração foliar para enxofre (<20 g kg⁻¹ para K e <2,0 g kg⁻¹ para S) para um adequado desenvolvimento das plantas de feijão para a localidade de Dracena, SP, com predominância de solo arenoso.

O desdobramento da análise de variância referente a concentração foliar de Ca nas folhas de feijão avaliados no florescimento pleno, apresentou diferença estatística na ausência da adubação com NPK na semeadura (dose zero), a inoculação das sementes de feijão com *R. tropici*, foi responsável pela maior concentração de Ca, em relação as demais doses e coinoculações com média de 16,4 g kg⁻¹, em folhas diagnósticas do feijão comum em solo argiloso (Tabela 12).

Em relação a concentração foliar de N em folhas de feijão em solo arenoso, houve diferença significativa para a ausência de NPK (dose zero) na semeadura e sob a adubação utilizando 100% da dose, quando as sementes de feijão foram coinoculadas com *R. tropici*+*B.subtilis*. É notório que quando as sementes foram submetidas a coinoculação e com disponibilidade de 100% da dose do fertilizante utilizado, houve maior concentração de N com média de 42,8 g kg⁻¹, na sequência a ausência do fertilizante na semeadura (dose zero) também propiciou uma das maiores concentrações de N nas folhas diagnósticas de feijão (Tabela 12). Houve ajuste da regressão quadrática evidenciando o maior teor de concentração de N foliar na dose ótima de 100% sob a coinoculação de *R. tropici*+*B.subtilis* (Figura 12A).

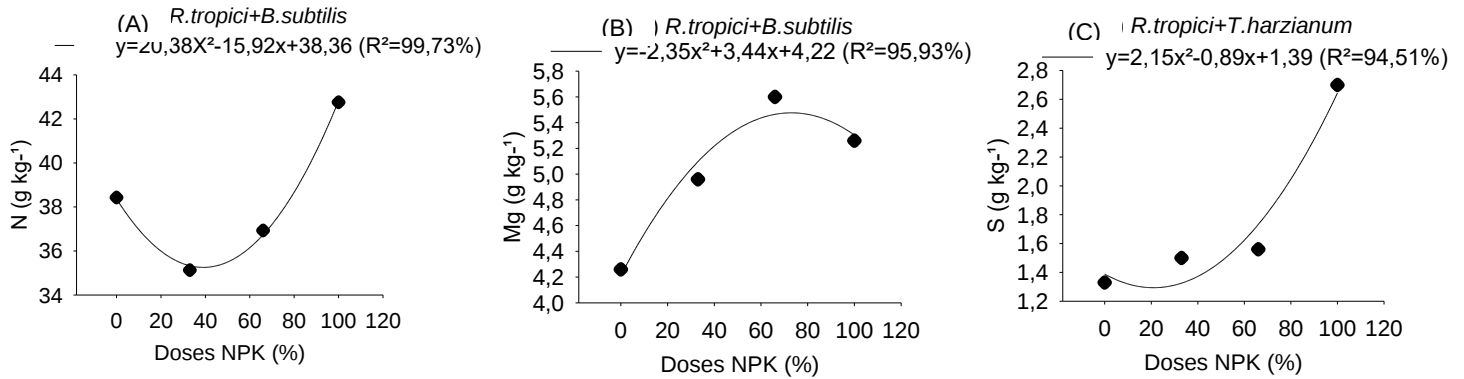
Tabela 12 – Valores médios de concentrações foliares de N, P, K, Ca, Mg e S, em folhas diagnósticas, em relação as doses de NPK, e as coinoculações dos microrganismos benéficos (CI) em solo (1) argiloso da localidade de Selvíria-MS e solo (2) arenoso da localidade de Dracena-SP, em feijão de inverno, safra 2023.

	N		P		K		Ca		Mg		S	
	g kg ⁻¹											
Coinoculação dos microrganismos (CI)												
Solo	ARG	ARE	ARG	ARE	ARG	ARE	ARG	ARE	ARG	ARE	ARG	ARE
<i>R. tropici</i>	44	35	4,2	2,8	27	18	12	18	3,3	4,5	2,1	1,5
<i>R. tropici</i> + <i>A.brasilense</i>	45	34	4,6	2,7	25	16	11	16	3,2	3,8	2,0	1,6
<i>R. tropici</i> + <i>B.subtilis</i>	45	38	4,4	3,1	22	17	10	18	3,0	5,0	2,1	1,6
<i>R. tropici</i> + <i>T.harzianum</i>	45	35	4,5	2,9	24	16	10	16	3,1	4,2	2,1	1,8
Doses de NPK (%)												
0%	45	33	4,3	2,8	27 ⁽¹⁾	16	12	16 ⁽²⁾	3,7 ⁽³⁾	3,7	2,1	1,4
33%	47	36	4,9	2,9	22	16	9	18	2,9	4,5	2,1	1,5
66%	43	35	4,0	2,7	25	16	12	15	3,2	3,9	2,0	1,6
100%	44	38	4,5	3,1	24	18	10	19	2,7	5,3	2,2	1,9
Valores de F												
CI	0,95 ^{ns}	0,01*	0,84 ^{ns}	0,00*	0,06 ^{ns}	0,29 ^{ns}	0,04*	0,15 ^{ns}	0,53 ^{ns}	0,00*	0,90 ^{ns}	0,27 ^{ns}
NPK	0,30 ^{ns}	0,01*	0,30 ^{ns}	0,01*	0,04*	0,05 ^{ns}	0,00*	0,01*	0,00*	0,00*	0,37 ^{ns}	0,04*
CI x NPK	0,26 ^{ns}	0,01*	0,43 ^{ns}	0,00*	0,09 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,03*	0,09 ^{ns}	0,26 ^{ns}	0,01*	0,46 ^{ns}	0,06*
Diferença mínima significativa (5%)												
CI	6,78	3,48	1,21	0,32	3,59	2,52	2,02	3,65	0,60	0,66	0,43	0,43
CV (%)	13,63	8,79	24,66	10,19	13,43	13,61	16,71	19,49	17,04	13,52	18,36	24,57
Média Geral	44,82	35,65	4,44	2,89	24,10	16,68	10,92	16,88	3,17	4,40	2,11	1,59
Erro Padrão	1,76	0,90	0,31	0,08	0,93	0,65	0,52	0,94	0,15	0,17	0,11	0,11
Faixa	30-50		2,5-4,0		20-24 (baixo)		10-25		2,5-5,0		2,0-3,0 (baixo)	

Fonte: produção da própria autora.

Nota: CI: Coinoculação; ARG: solo argiloso; ARE: solo arenoso. Faixa: faixa de teores adequados de macronutrientes para um bom desenvolvimento de plantas de feijão, conforme Quaggio et al., 2022. * significativo a 5% de significância; ns – não significativo pelo teste F. Médias seguidas da mesma letra dentro de coinoculação não diferem estatisticamente a 5 % de significância. ⁽¹⁾y = 7,74x² – 8,06x + 25,12 (R² = 37,67%); ⁽²⁾y = 5,61x² – 3,45x + 16,43 (R² = 34,37%); ⁽³⁾y = 0,74x² – 1,38x + 3,57 (R² = 62,02%). .

Figura 12 – Efeito significativo das doses de NPK associados a coinoculação de microrganismos benéficos em relação a concentração de nutrientes em folhas diagnósticas de feijão coletadas no florescimento pleno (A) coinoculação de *R. tropici*+ *B. subtilis* em relação ao teor de N; (B) coinoculação de *R. tropici*+*B.subtilis* em relação ao teor de Mg e (C) coinoculação de *R. tropici*+*T.harzianum* em relação ao teor de S em solo arenoso



Fonte: produção da própria autora.

Tabela 13 – Desdobramento da interação significativa da análise de variância referente a concentração foliar de Ca, N e P do feijão comum coinoculado com microrganismos benéficos associados a redução da adubação de semeadura (NPK), em solo argiloso (Selvária, MS) e solo arenoso (Dracena, SP)

Ca		Solo argiloso (Selvária, MS)			
Coinoculação		Doses de NPK			
		0%	33%	66%	100%
<i>R. tropici</i>		16 a	10	12	11
<i>R. tropici</i> + <i>A.brasilense</i>		11 b	9	14	11
<i>R. tropici</i> + <i>B.subtilis</i>		10 b	9	11	10
<i>R. tropici</i> + <i>T.harzianum</i>		10 b	11	11	9
DMS (5%) Coinoculação com NPK – 4,05					
N		Solo arenoso (Dracena, São Paulo)			
Coinoculação		Doses de NPK			
		0%	33%	66%	100%
<i>R. tropici</i>		31 b	39	37	33 b
<i>R. tropici</i> + <i>A.brasilense</i>		31 b	37	35	35 b
<i>R. tropici</i> + <i>B.subtilis</i>		38 a	35	37	43 a
<i>R. tropici</i> + <i>T.harzianum</i>		34 ab	35	32	40 ab
DMS (5%) Coinoculação com NPK – 6,96					
P		Solo arenoso (Dracena, São Paulo)			
Coinoculação		Doses de NPK			
		0%	33%	66%	100%
<i>R. tropici</i>		3,2a	2,8	3,0a	2,1b
<i>R. tropici</i> + <i>A.brasilense</i>		2,9ab	3,2	2,2b	2,6b
<i>R. tropici</i> + <i>B.subtilis</i>		2,8ab	2,6	3,0a	4,2a
<i>R. tropici</i> + <i>T.harzianum</i>		2,4b	2,9	2,5ab	3,7a
DMS (5%) Coinoculação com NPK – 0,65					

Fonte: produção da própria autora.

Nota: Médias seguidas de mesma letra, minúscula nas colunas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância

A coinoculação com *R. tropici* e *B. subtilis* em sementes de feijão, cultivado em solo arenoso, promoveu um aumento significativo na concentração foliar de nitrogênio quando comparado à condição de ausência de adubação NPK na semeadura. A aplicação de 100% da dose recomendada de NPK, em conjunto com a coinoculação, resultou na maior concentração foliar de nitrogênio. No entanto, a ausência completa de adubação NPK também proporcionou uma das maiores concentrações de N nas folhas, indicando um efeito positivo da coinoculação, mesmo na ausência de fertilizantes nitrogenados.

Os microrganismos benéficos podem contribuir para a melhoria da qualidade do solo, aumentando a sua capacidade de retenção de água e nutrientes. Além disso, eles podem promover a biodegradação de compostos orgânicos, estimular a atividade de outros microrganismos benéficos e suprimir o crescimento de patógenos e a longo prazo, o uso de

inoculantes pode ser mais econômico do que a aplicação contínua de fertilizantes nitrogenados. Em contrapartida, Corsini (2014) observou que a ausência de inoculação resultou em maior teor de nitrogênio foliar em plantas de feijão, independentemente das doses de nitrogênio aplicadas (30, 60, 90 e 120 kg ha⁻¹).

Houve maior concentração de P nas folhas de feijão em solo arenoso na ausência de adubação com NPK na semeadura (dose zero) sob a inoculação de *R.tropici* com média de 3,2 g kg⁻¹, quando fornecido 66% da dose recomendada de NPK sob a inoculação de *R.tropici* e quando coinoculado com *R.tropici*+*B.subtilis*, em ambas com média de 3,0 g kg⁻¹, e quando fornecido 100% da dose de NPK recomendado para a cultura sob a coinoculação de *R.tropici*+*B.subtilis* e *R.tropici*+*T.harzianum*, com médias de 4,2 e 3,7 g kg⁻¹, é possível notar que quando fornecido 100% da dose recomendada e coinoculado com *R.tropici*+*B.subtilis* apresenta a maior concentração de P nas folhas de feijão de todas as doses e coinoculações testadas com média de 4,2 g kg⁻¹ de P (Tabela 12), evidenciado pelo ajuste da regressão quadrática, cujo maior teor de concentração foliar de P nas folhas diagnósticas ocorreu na dose ótima de 100% de NPK (Figura 12B).

A análise da concentração de fósforo P nas folhas de feijão cultivado em solo arenoso revelou um padrão pertinente. A maior concentração de P foi encontrada nas plantas inoculadas com *R. tropici* e *B. subtilis*, quando submetidas à dose de 100% do adubo NPK recomendado. Este resultado é corroborado pelo ajuste da regressão quadrática, que indica a dose de 100% de NPK como a ótima para maximizar o teor de P nas folhas. A ausência completa de adubação NPK, associada à inoculação com *R. tropici*, também resultou em um nível considerável de P nas folhas, sugerindo um efeito sinérgico entre a inoculação e a capacidade da planta de absorver fósforo do solo.

A bactéria *B. subtilis* é conhecida por sua capacidade de solubilizar fosfatos insolúveis, tornando o fósforo disponível para as plantas, a coinoculação pode ter aumentado a eficiência com que a planta utiliza o fósforo disponível no solo e o solo arenoso pode ter influenciado a disponibilidade de fósforo e a atividade microbiana, modulando os efeitos da inoculação e da adubação. De acordo com Dobbelaere *et al.* (2001), a fixação biológica do nitrogênio, em conjunto com a estimulação do crescimento radicular e da área foliar, proporcionada pelos microrganismos, potencializa a capacidade das plantas em absorver nutrientes do solo.

Observando a concentração foliar de Mg e S em feijão cultivadas em solo arenoso, através do desdobramento das médias o Mg apresentou diferença significativa utilizando 66% da dose recomendada na semeadura de NPK, a inoculação de *R. tropici*+*B.subtilis* apresentou a maior concentração de Mg em relação as demais coinoculações estudadas para esta dose, com

média de 5,6 g kg⁻¹ de Mg nas folhas diagnósticas (Tabela 13) e apresentou ajuste da regressão quadrática na dose ótima utilizando 66% de NPK na semeadura (Figura 12B). De acordo com Gilabel (2018), em seu experimento com feijoeiro comum, constatou que o fornecimento de N na semeadura proporcionou incrementos nos teores foliares de cálcio e magnésio, nas duas épocas de cultivo, o nitrogênio pode aumentar os sinergismos durante a absorção radicular de alguns nutrientes como é o caso do cálcio, magnésio e outros micronutrientes.

Em relação a concentração foliar de S, a dose de 100% da adubação com NPK na semeadura apresentou diferença estatística, vale destacar que a coinoculação de *R. tropici* + *T. harzianum* apresentou a maior concentração foliar de S com média de 2,7 g kg⁻¹ nas folhas de feijão em solo arenoso (Tabela 13), houve ajuste da regressão quadrática na dose ótima de 100% do NPK utilizado na semeadura (Figura 12C). Por outro lado, Silva *et al.* (2017,) em seu estudo investigaram como as doses de nitrogênio e enxofre influenciam o desenvolvimento do feijoeiro. Ao fornecerem 80 mg dm⁻³ de N, os autores constataram uma relação N/S elevada (34:1) nas plantas, o que correspondeu a uma baixa absorção de enxofre (6,5%). Entretanto, ao aumentarem a dose de nitrogênio para 120 mg dm⁻³, essa relação foi reduzida, evidenciando uma maior absorção de enxofre pelo feijoeiro.

A concentração foliar de micronutrientes (Cu, Fe, Mn, B e Zn) nas folhas diagnósticas do feijoeiro apresentou interação significativa com o tipo de solo. Em solo arenoso, observou-se interação significativa para B e Zn, enquanto em ambos os solos (argiloso e arenoso) houve interação para Cu, Fe e Mn (Tabela 14).

Os resultados das concentrações foliares foram interpretados conforme as faixas de suficiência descritas por Quaggio *et al.*, 2022 em mg kg⁻¹: B-15,0 a 26,0; Cu-4,0 a 6,0; Fe:40,0 a 140,0; Mn:15,0 a 90; Zn:18,0 a 30,0. As médias das concentrações foliares de micronutrientes avaliados das folhas das plantas do experimento, ficou dentro do padrão que é considerado adequado para a cultura do feijão nos dois tipos de solo estudado. A alta disponibilidade de boro no solo e a aplicação foliar de boro, em conjunto com a irrigação, na dose de 1kg ha⁻¹ podem ter contribuído para os resultados observados. A irrigação facilita o transporte de boro até as raízes, um processo conhecido como fluxo de massa (Malavolta, 1980).

Constatou-se que os valores de Cu, B, Mn, Zn oscilaram entre 16 a 32, 30 a 48, 89 a 137 e 28 a 45 g kg⁻¹ para concentração foliar de plantas de feijão, respectivamente. Vale ressaltar que em todos os tratamentos ocorreu uma elevada (consumo de luxo) concentração foliar para Cu, B, Mn, Zn (>6 g kg⁻¹ para Cu, >26 g kg⁻¹ para B, >90 g kg⁻¹ para Mn e >30 g kg⁻¹ para Zn) para um adequado desenvolvimento das plantas de feijão em ambas as localidades de Selvíria, MS e Dracena, SP, conforme Quaggio *et al.*, 2022.

Tabela 14 – Desdobramento da interação significativa da análise de variância referente a concentração foliar de Mg e S do feijão comum coinoculado com microrganismos benéficos associados a redução da adubação de semeadura (NPK), em solo arenoso (Dracena, São Paulo)

Mg		Solo arenoso (Dracena, São Paulo)			
Coinoculação		Doses de NPK			
		0%	33%	66%	100%
<i>R. tropici</i>		4,3	4,5	4,0 b	5,4
<i>R. tropici</i> + <i>A.brasilense</i>		3,1	4,3	2,7 c	5,2
<i>R. tropici</i> + <i>B.subtilis</i>		4,3	4,9	5,6 a	5,3
<i>R. tropici</i> + <i>T.harzianum</i>		3,3	4,5	3,4 ab	5,6
DMS (5%) Coinoculação com NPK – 1,32					
S		Solo arenoso (Dracena, São Paulo)			
Coinoculação		Doses de NPK			
		0%	33%	66%	100%
<i>R. tropici</i>		1,3	1,4	1,8	1,4 b
<i>R. tropici</i> + <i>A.brasilense</i>		1,5	1,6	1,5	1,5 b
<i>R. tropici</i> + <i>B.subtilis</i>		1,5	1,3	1,6	1,8 ab
<i>R. tropici</i> + <i>T.harzianum</i>		1,3	1,5	1,6	2,7 a
DMS (5%) Coinoculação com NPK – 0,86					

Fonte: produção da própria autora.

Nota: Médias seguidas de mesma letra, minúscula nas colunas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Tabela 15 – Valores médios de concentrações foliares de Cu, Fe, B, Mn, Zn, em folhas diagnósticas, em relação as doses de NPK, e as coinoculações dos microrganismos benéficos (CI) em solo (1) argiloso da localidade de Selvíria-MS e solo (2) arenoso da localidade de Dracena, SP, em feijão de inverno, safra 2023

	Cu		Fe		B		Mn		Zn	
	mg kg ⁻¹									
Coinoculação dos microrganismos (CI)										
Solo	ARG	ARE	ARG	ARE	ARG	ARE	ARG	ARE	ARG	ARE
R	22	21	142	101	40	32	137	98	44	30
R+Azo	16	27	150	95	48	30	123	94	41	29
R+Bac	17	32	142	102	42	38	116	102	45	33
R+Tricho	18	24	143	95	45	41	102	96	40	29
Doses NPK (%)										
0%	17	29	141	95	44	32	120	88	43	28
33%	21	29	139	102	47	37	142	98	43	31
66%	16	20	151	91	40	34	125	102	42	30
100%	20	26	145	104	44	38	89	102	40	34
Valores de F										
CI	0,00*	0,00*	0,63 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,52 ^{ns}	0,00*	0,00*	0,64 ^{ns}	0,55 ^{ns}	0,00*
NPK	0,00*	0,00*	0,41 ^{ns}	0,00*	0,69 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,00*	0,11 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,00*
CI x NPK	0,00*	0,00*	0,01*	0,01*	0,62 ^{ns}	0,00*	0,00*	0,00*	0,10 ^{ns}	0,00*
Diferença mínima significativa (5%)										
CI	3,06	3,94	19,38	9,65	14,37	6,61	17,93	17,21	10,06	9,35
CV (%)	15,14	13,72	12,11	8,88	29,62	16,95	13,54	15,88	21,44	9,32
Média Geral	18,22	25,87	144,02	97,97	43,71	34,14	119,27	97,65	42,27	30,62
Erro Padrão	0,79	1,02	5,03	2,51	3,73	1,71	4,66	4,47	2,61	0,82
Faixa	4-6 (alto)		40-140		15-26 (alto)		15-90 (alto)		18-30 (alto)	

Fonte: produção da própria autora.

R: *Rhizobium tropici*; R+Azo: *Rhizobium tropici*+*A.brasilense*; R+Bac: *Rhizobium tropici*+*B.subtilis*; R+Tricho: *Rhizobium tropici*+*Trichoderma harzianum*; CI: Coinoculação; ARG: solo argiloso; ARE: solo arenoso. Faixa: faixa de teores adequados de micronutrientes para um bom desenvolvimento de plantas de feijão, conforme Quaggio et al., 2022. * significativo a 5% de significância; ns – não significativo pelo teste F. Médias seguidas da mesma letra dentro de coinoculação não diferem estatisticamente a 5 % de significância.

A coinoculação com *R. tropici* em conjunto com a adubação de NPK na semeadura influenciou a concentração foliar de Cu em plantas de feijão cultivadas em solo argiloso. Os tratamentos com 33% e 100% da dose de NPK na semeadura apresentaram os maiores teores de Cu (28,3 e 28,0 mg kg⁻¹) respectivamente, sugerindo um efeito sinérgico entre a fixação biológica de nitrogênio e a disponibilidade de cobre no solo (Tabela 15). Essa resposta pode ser atribuída à inoculação com *Rhizobium tropici* que pode ter modificado a comunidade microbiana do solo, influenciando a solubilização e a absorção de cobre pelas raízes.

A maior concentração foliar de cobre Cu foi observada em plantas de feijão cultivadas em solo arenoso, submetidas à aplicação de 100% da dose de NPK e à coinoculação com *R. tropici* e

A. brasilense (37,3 mg kg⁻¹). Essa combinação de fatores pode ter favorecido a solubilização e a absorção de Cu pelas plantas, devido à maior atividade microbiana na rizosfera, que pode ter solubilizado formas menos disponíveis de Cu no solo arenoso. A coinoculação com *R. tropici* e *B. subtilis*, utilizando 33% e 66% da dose de NPK, também resultou em teores de Cu elevados (47 e 30 mg kg⁻¹, respectivamente). A coinoculação com *T. harzianum* e *R. tropici*, na ausência de adubação com NPK, proporcionou teores de Cu semelhantes ao tratamento com 100% de NPK e coinoculação com *R. tropici* e *A. brasilense* (37 mg kg⁻¹) (Tabela 16). Esses resultados sugerem que a interação entre a adubação com NPK, a inoculação com diferentes microrganismos e as características do solo arenoso podem influenciar significativamente a nutrição de cobre das plantas. Os solos arenosos geralmente possuem baixa capacidade de retenção de nutrientes devido a baixa CTC, o que pode tornar a disponibilidade de Cu mais limitada. A combinação de adubação e inoculação pode ter atenuado esse efeito.

A aplicação de 66% da dose de NPK na semeadura, associada à coinoculação com *R. tropici* e *A. brasilense* em solo argiloso, proporcionou a maior concentração foliar de ferro com valor de 185,7 mg kg⁻¹. Essa dose de NPK, em conjunto com a atividade das bactérias, a sinergia entre a fixação biológica de nitrogênio e a promoção do crescimento vegetal pelas bactérias pode ter otimizado a fisiologia da planta, aumentando a capacidade de absorção e translocação de ferro (Tabela 15). No solo arenoso, a maior concentração foliar de Fe foi observada em plantas de feijão submetidas à aplicação de 33% da dose de NPK (117,3 mg kg⁻¹) e à inoculação com *R. tropici*, bem como na coinoculação com *R. tropici* e *B. subtilis* utilizando 100% da dose de NPK com valor de 118,3 mg kg⁻¹ (Tabela 16).

A maior concentração foliar Mn foi observada em plantas de feijão cultivadas em solo argiloso (140,7, 165,7 e 140,7 mg kg⁻¹) respectivamente, submetidas aos tratamentos na ausência (dose zero) e com 33% e 66% da dose de NPK na semeadura, associados à inoculação com *R. tropici*. A coinoculação com *A. brasilense* e *B. subtilis*, em combinação com a aplicação de 66% da dose de NPK, também promoveu altos teores de Mn (129, 3 e 140,0 mg kg⁻¹) (Tabela 15). Esses resultados sugerem que a interação entre a adubação nitrogenada, a inoculação com rizóbios e a presença de outras bactérias benéficas pode ter influenciado a solubilização e a absorção de Mn pelas plantas, possivelmente devido à modificação das propriedades químicas do solo e à maior atividade microbiana na rizosfera.

A coinoculação com diferentes combinações de microrganismos, incluindo *R. tropici*, *A. brasilense*, *B. subtilis* e *T. harzianum*, promoveu um aumento significativo na concentração foliar de manganês Mn em plantas de feijão cultivadas em solo arenoso. A maior concentração de Mn (135,3 mg kg⁻¹) foi observada na coinoculação com *T. harzianum* e *R. tropici* na ausência de

adubação com NPK na semeadura. Esses resultados indicam que a presença de microrganismos benéficos pode melhorar a nutrição de Mn, mesmo na ausência de adubação com NPK, possivelmente através da solubilização de formas menos disponíveis de Mn no solo e da promoção do crescimento radicular (Tabela 16).

As interações entre coinoculação e doses de NPK na semeadura apresentaram comportamento muito variável na concentração foliar de Cu, Fe e Mn (Tabela 15). Nota-se que em todos os tratamentos ocorreu uma elevada (consumo de luxo) concentração foliar para Cu e Mn ($>6 \text{ g kg}^{-1}$ para Cu e $>30 \text{ g kg}^{-1}$ para Mn) para um adequado desenvolvimento das plantas de feijão na localidade de Selvíria, MS, conforme Quaggio *et al.*, 2022.

Tabela 16 – Desdobramento da interação significativa da análise de variância referente a concentração foliar de Cu, Fe e Mn do feijão comum coinoculado com microrganismos benéficos associados a redução da adubação de semeadura (NPK), em solo argiloso (Selvíria, MS)

Cu		Solo argiloso (Selvíria, MS)			
Coinoculação		Doses de NPK			
		0%	33%	66%	100%
<i>R. tropici</i>		15	28a	15	28a
<i>R. tropici</i> + <i>A.brasilense</i>		15	20b	15	14b
<i>R. tropici</i> + <i>B.subtilis</i>		18	17b	15	18b
<i>R. tropici</i> + <i>T.harzianum</i>		19	17b	17	18b
DMS (5%) Coinoculação com NPK – 1,59					
Fe		Solo argiloso (Selvíria, MS)			
Coinoculação		Doses de NPK			
		0%	33%	66%	100%
<i>R. tropici</i>		136	137	139b	157
<i>R. tropici</i> + <i>A.brasilense</i>		138	140	185a	135
<i>R. tropici</i> + <i>B.subtilis</i>		135	130	153ab	147
<i>R. tropici</i> + <i>T.harzianum</i>		154	150	124b	141
DMS (5%) Coinoculação com NPK -38,76					
Mn		Solo argiloso (Selvíria, MS)			
Coinoculação		Doses de NPK			
		0%	33%	66%	100%
<i>R. tropici</i>		140a	165a	140a	100
<i>R. tropici</i> + <i>A.brasilense</i>		129a	136ab	140a	85
<i>R. tropici</i> + <i>B.subtilis</i>		128a	119b	133a	82
<i>R. tropici</i> + <i>T.harzianum</i>		82b	148ab	86b	89
DMS (5%) Coinoculação com NPK -9,32					

Fonte: produção da própria autora.

Nota: Médias seguidas de mesma letra, minúscula nas colunas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

As interações entre coinoculação e doses de NPK na semeadura apresentaram comportamento muito variável na concentração foliar de Cu, Fe e Mn (Tabela 16). Nota-se que

em todos os tratamentos ocorreu uma elevada (consumo de luxo) concentração foliar para Cu e Mn ($>6 \text{ g kg}^{-1}$ para Cu e $>30 \text{ g kg}^{-1}$ para Mn) para um adequado desenvolvimento das plantas de feijão na localidade de Dracena, SP, conforme Quaggio *et al.*, 2022.

Tabela 17 – Desdobramento da interação significativa da análise de variância referente a concentração foliar de Cu, Fe e Mn do feijão comum coinoculado com microrganismos benéficos associados a redução da adubação de semeadura (NPK), em solo arenoso (Dracena, SP)

Cu		Solo arenoso (Dracena, São Paulo)			
Coinoculação		Doses de NPK			
		0%	33%	66%	100%
<i>R. tropici</i>		25b	15c	20b	23b
<i>R. tropici</i> + <i>A.brasilense</i>		24b	29b	15b	37a
<i>R. tropici</i> + <i>B.subtilis</i>		30ab	47a	30 ^a	22b
<i>R. tropici</i> + <i>T.harzianum</i>		37a	23b	14b	20b
DMS (5%) Coinoculação com NPK – 7,88					
Fe		Solo arenoso (Dracena, São Paulo)			
Coinoculação		Doses de NPK			
		0%	33%	66%	100%
<i>R. tropici</i>		100	117a	92	92b
<i>R. tropici</i> + <i>A.brasilense</i>		92	98b	91	99b
<i>R. tropici</i> + <i>B.subtilis</i>		93	103ab	90	118a
<i>R. tropici</i> + <i>T.harzianum</i>		93	90b	89	105ab
DMS (5%) Coinoculação com NPK -19,31					
Mn		Solo arenoso (Dracena, São Paulo)			
Coinoculação		Doses de NPK			
		0%	33%	66%	100%
<i>R. tropici</i>		68b	120ab	92b	110
<i>R. tropici</i> + <i>A.brasilense</i>		57b	87bc	131a	99
<i>R. tropici</i> + <i>B.subtilis</i>		91b	124a	99ab	94
<i>R. tropici</i> + <i>T.harzianum</i>		135a	60c	86b	103
DMS (5%) Coinoculação com NPK-34,43					

Fonte: produção da própria autora.

Médias seguidas de mesma letra, minúscula nas colunas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância

No solo arenoso, a maior concentração foliar de boro Zn no feijoeiro foi observada em plantas inoculadas com *R. tropici* e adubadas com 66% da dose recomendada de NPK ($36,3 \text{ mg kg}^{-1}$). A coinoculação com *R. tropici* e *A. brasilense*, utilizando tanto 66% quanto 100% da dose de NPK, também resultou em altos teores de Zn ($33,0$ e $39,0 \text{ mg kg}^{-1}$), respectivamente. (Tabela 17).

A maior concentração foliar de boro B em plantas cultivadas em solo arenoso foi observada nos tratamentos com coinoculação de *R. tropici* e *B. subtilis*, e *T. harzianum* e *R.*

tropici, ambos utilizando 100% da dose recomendada de fertilizante nitrogenado NPK, com valores de 44,2 mg kg⁻¹ e 55,6 mg kg⁻¹, respectivamente (Tabela 17).

As interações entre coinoculação e doses de NPK na semeadura apresentaram comportamento muito variável na concentração foliar de B e Zn (Tabela 17). Nota-se que em todos os tratamentos ocorreu uma elevada (consumo de luxo) concentração foliar para B e Zn (>26 g kg⁻¹ para B e >30 g kg⁻¹ para Zn) para um adequado desenvolvimento das plantas de feijão na localidade de Dracena, SP, conforme Quaggio *et al.*, 2022.

Tabela 18 – Desdobramento da interação significativa da análise de variância referente a concentração foliar de B e Zn do feijão comum coinoculado com microrganismos benéficos associados a redução da adubação de semeadura (NPK), em solo arenoso (Dracena, SP)

B		Solo arenoso (Dracena, São Paulo)			
Coinoculação		Doses de NPK			
		0%	33%	66%	100%
<i>R. tropici</i>		29	36	37	25b
<i>R. tropici</i> + <i>A.brasilense</i>		28	32	28	27b
<i>R. tropici</i> + <i>B.subtilis</i>		39	34	35	44a
<i>R. tropici</i> + <i>T.harzianum</i>		30	42	34	55a
DMS (5%) Coinoculação com NPK – 13,22					
Zn		Solo arenoso (Dracena, São Paulo)			
Coinoculação		Doses de NPK			
		0%	33%	66%	100%
<i>R. tropici</i>		27	33	36a	27c
<i>R. tropici</i> + <i>A.brasilense</i>		24	28	33a	39a
<i>R. tropici</i> + <i>B.subtilis</i>		30	32	25b	37ab
<i>R. tropici</i> + <i>T.harzianum</i>		30	28	26b	31ab
DMS (5%) Coinoculação com NPK – 6,36					

Fonte: produção da própria autora.

Médias seguidas de mesma letra, minúscula nas colunas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

6 CONCLUSÃO

A coinoculação com microrganismos benéficos possibilita a redução da adubação com NPK no feijoeiro em solo arenoso e argiloso.

A inoculação com *R. tropici* isoladamente proporciona aumento significativo na produtividade de grãos em comparação com outras combinações de microrganismos benéficos em plantas feijão cultivadas em solo argiloso e arenoso, mesmo na ausência de adubação com NPK na semeadura.

A combinação da inoculação com *R. tropici* e a aplicação de uma dose reduzida de NPK, 66% da dose total, é suficiente para obter alto rendimento de grãos em plantas cultivadas em solo argiloso, indicando que os microrganismos benéficos auxiliam na fixação biológica de nitrogênio atmosférico, diminuindo a dependência de fertilizantes químicos.

A coinoculação com *R. tropici* e *Azospirillum brasilense* em combinação com uma dose reduzida de NPK, 33% da dose total, obtém maior rendimento de grãos entre todos os tratamentos analisados em solo argiloso e arenoso. Isso sugere um efeito sinérgico entre as duas bactérias, potencializa a fixação biológica de nitrogênio e promove o crescimento das plantas.

Em solo argiloso, a inoculação com *R. tropici* aumenta a concentração foliar de cálcio, enquanto em solo arenoso, a coinoculação com *R. tropici* e *B. subtilis* em conjunto com a aplicação de 100% da dose de NPK otimiza a concentração de nutrientes, como nitrogênio, fósforo e enxofre.

A coinoculação com microrganismos benéficos, como *R. tropici* e *B. subtilis*, promove aumento na concentração de fósforo, magnésio e enxofre, utilizando 66% da dose total de NPK, em solos arenosos.

A inoculação com microrganismos benéficos, como *R. tropici*, *A. brasilense*, *B. subtilis* e *T. harzianum*, utilizando 66% da dose total promove aumento de manganês, ferro, cobre e boro, na concentração foliar de plantas de feijão, cultivada em solos arenosos.

O uso de microrganismos benéficos, especificamente a coinoculação com *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, pode reduzir o uso de fertilizantes minerais, custos, e a dependência externa dos países produtores. Além disso, em termos sustentáveis, essa redução pode contribuir para o desenvolvimento da agricultura regenerativa.

REFERÊNCIAS

- ABRANTES, F. L.; SÁ, M. E. D.; SOUZA, L. C. D. D.; SILVA, M. P. D.; SIMIDU, H. M.; ANDREOTTI, M.; ARRUDA, N. Uso de regulador de crescimento em cultivares de feijão de inverno. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 2, p. 148-154, 2011.
- AGUIAR, A. T. E.; GONÇALVES, C.; PATERNIANI, M. E. A. G. Z.; TUCCI, M. L. S.; CASTRO, C. E. F. de. **Instruções Agrícolas para as Principais Culturas Econômicas**. 7. ed. Campinas: Instituto Agrônomo, 2014. p. 170-173. Boletim 200.
- AMBROSANO, E. J.; TANAKA, R. T.; MASCARENHAS, H. A. A.; RAIJ, B. V.; QUAGGIO, J. A.; CANTARELA, H. Leguminosas e oleaginosas. In: RAIJ, B. V.; CANTARELA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo e Fundação IAC, 1997. p. 285. Boletim técnico 100.
- ANYANGO, B.; WILSON, K. J.; BEYNON, J. L.; GILLER, K. E. Diversity of rhizobia nodulating *Phaseolus vulgaris* L. in two Kenyan soils with contrasting pHs. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v. 61, n. 11, p. 4016-4021, 1995.
- ARAÚJO, A. S. F.; CARNEIRO, R. F. V.; BEZERRA, A. A. C.; ARAUJO, F. F. Coinoculação rizóbio e *Bacillus subtilis* em feijão-caupi e leucina: efeito sobre a nodulação, a fixação de N₂ e o crescimento de plantas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 1, p. 182-185, 2009.
- ARAUJO, J.; URBANO, B.; GONZÁLEZ-ANDRÉS, F. Comparative environmental life cycle and agronomic performance assessments of nitrogen fixing rhizobia and mineral nitrogen fertiliser applications for pulses in the Caribbean region. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 267, p. 122, 2020. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652620321120>. Acesso em: 29 abr. 2024.
- BÁRBARO, I. M.; BRANCALIÃO, S. R.; TICELLI, M.; MIGUEL, F. B.; SILVA, J. A. A. **Técnica alternativa**: co-inoculação de soja com *Azospirillum* e *Bradyrhizobium* visando incremento e produtividade. Campinas: Infobibos, 2008. Disponível em: http://www.infobibos.com/Artigos/2008_4/coinoculacao/index.htm. Acesso em: 29 abr. 2024.
- BARBOSA, C. K. R.; REIS, J. N.; BRIGANTE, G. P.; FRANCO JUNIOR, K. S. Adubação nitrogenada, inoculação e coinoculação na cultura do feijoeiro-comum. **Caderno de Ciências Agrárias**, Montes Claros, v. 12, n. 1, p. 1-6, 2020.
- BASET MIA, M. A.; SHAMSUDDIN, Z. H.; WAHAB, Z.; MARZIAH, M. Effect of plant growth promoting rhizobacterial (PGPR) inoculation on growth and nitrogen incorporation of tissue-cultured musa plantlets under nitrogen-free hydroponics condition. **Australian Journal of Crop Science**, Lismore, v. 4, p. 85-90, 2010.
- BASHAN, Y.; DE-BASHAN, L. E. Bacteria/Plant Growth-Promoting. In: HILLEL, D. (ed.). BASHAN, Y.; DE-BASHAN, L.E. Chapter Two - How the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum* promotes plant growth – a critical assessment. **Advances in Agronomy**, Maryland Heights, v. 108, p.77-136, 2010. DOI: 77-136, 10.1016/S0065-2113(10)08002-8.

BENINTENDE, S.; UHRICH, W.; HERRERA, M.; GANGGE, F.; STERREN, M.; BENINTENDE, M. Comparación entre Coinoculación con *Bradyrhizobium japonicum* y *Azospirillum brasilense* e Inoculación simple con *Bradyrhizobium japonicum* en la Nodulación, Crecimiento y Acumulación de N en el Cultivo de Soja. **Agriscientia**, Córdoba, v. 27, n. 2, p. 71-77, 2010.

BISEN, K.; KESWANI, C.; MISHRA, S.; SAXENA, A.; RAKSHIT, A.; SINGH, H. B. Unrealized Potential of Seed Biopriming for Versatile Agriculture. In: RAKSHIT, A.; SINGH, H. B. SEN, A. **Nutrient Use Efficiency: from basic to advanced**. Nova Delhi: Springer, 2015. p. 193-206. Disponível: http://link.springer.com/10.1007/978-81-322-2169-2_13. Acesso em: 29 abr. 2024.

BONINI, 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**, London, v. 10, 2020.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. **O plano Nacional de Fertilizantes**. Brasília, DF: Ministério da Agricultura e Pecuária, 3 mai. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/plano-nacional-de-fertilizantes/o-plano-nacional-de-fertilizantes>. Acesso em: 11 de set. 2024.

BRUIJN, F. J. Biological nitrogen fixation. In: LUGTENBERG, B. (ed.). **Principles of plant-microbe interactions**. [S. l.]: Springer, Cham, 2015. p. 215–224.

BUSO, P. H. D. M.; OLIVEIRA, R. A. D.; DAROS, E.; ZAMBON, J. L. C.; VENANCIO, W. S.; SOUCHIE, E. L.; BUSO, E. K. R. P. M.; DÍAZ-ZORITA, M. Plant growth analysis describing the soybean plants response on dryland Field to seed co-inoculation. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 51, 2021.

CÂNDIDO, A. C. T. F.; CARVALHO, M. A. C. D.; FELITO, R. A.; ROCHA, A.; YAMASHITA, O. M. Doses de nitrogênio no milho consorciado com forrageira, sob efeito residual da coinoculação na soja. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 33, n. 3, p. 633-643, 2020.

CARVALHO, R. H.; JESUS, E. C.; SOUZA FILHO, B. F.; FONTANA, A.; STRALIOTTO, R.; ARAÚJO, A. P. Crescimento e produção do feijoeiro-comum sob coinoculação com *Rhizobium*, *Azospirillum* e *Bradyrhizobium* em condições de campo. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE AGROECOLOGIA, 6., 2017, Brasília, DF. **Anais [...]**. Recife: Cadernos de Agroecologia, v. 13, n. 01, 2018.

CASSÁN, F.; VANDERLEYDEN, J.; SPAEPEN, S. Physiological and agronomical aspects of phytohormone production by model plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) belonging to the genus *Azospirillum*. **Journal Plant Growth Regulation**, New York, v. 33, p. 440–459, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00344-013-9362-4>.

CHAGAS, L. F. B.; CASTRO, H. G.; COLONIA, B. S. O.; CARVALHO FILHO, M. R.; MILLER, L. O.; CHAGAS JUNIOR, A. F. Efficiency of *Trichoderma* spp. as a growth promoter of cowpea (*Vigna unguiculata*) and analysis of phosphate solubilization and indole acetic acid synthesis. **Brazilian Journal of Botany**, Heidelberg, v. 38, n. 4, p. 1-11, 2016.

CHAPARRO, J. M.; SHEFLIN, A. M.; MANTER, D. K.; VIVANCO, J. M. Manipulating the soil microbiome to increase soil health and plant fertility. **Biology and Fertility of Soils**, Heidelberg, v. 48, n. 5, p. 489–499, 2012.

CHIBEBA, A. M.; GUIMARÃES, M. F.; BRITO, O. R.; NOGUEIRA, M. A.; ARAUJO, R. S.; HUNGRIA, M. Co-inoculation of soybean with *Bradyrhizobium* and *Azospirillum* promotes early nodulation. **American Journal of Plant Sciences**, Irvine, v. 6, n. 10, p. 1641–1649, 2015.

COELHO, L. G. F.; BONFIM, C. A.; MENDES, I. C.; VALE, H. M. M.; REIS JÚNIOR, F. B. **A Inoculação do feijoeiro no Brasil: alternativas para aumentar a produtividade utilizando microrganismos promotores do crescimento vegetal**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2021.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB (Brasil). **Acompanhamento de safra brasileiro de grãos: 5º levantamento: safra 2022/2023**. Brasília, DF: CONAB, 8 fev. 2023. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras/itemlist/category/905-feijao>. Acesso em: ago. 2024.

CORSINI, D. C. D. C. **Inoculação de sementes com *Azospirillum brasilense* e *Rhizobium tropici* e adubação nitrogenada em cobertura em feijoeiro de inverno irrigado em sistema plantio direto**. 2014. 77 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2014.

CRONQUIST, A. **Devolution and classification of flowering plants**. New York: Botanical Garden, 1988. p. 555.

CRUSCIOL, C. A. C.; SORATTO, R. P.; SILVA, L. M. da. *et al.* Fontes e doses de nitrogênio para o feijoeiro em sucessão a gramíneas no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 6, p. 1545–1552, 2007. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832007000600031&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 6 jun. 2024.

DAY, P. R. Particle fractionation and particle-size analysis. In: BLACK, C. A. **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy, 1965. p. 545–566.

DE-BASHAN, L. E.; MAYALI, X.; BEBOUT, B. M.; WEBER, P. K.; DETWEILER, A. M.; HERNANDEZ, J. P. Establishment of stable synthetic mutualism without coevolution between microalgae and bacteria demonstrated by mutual transfer of metabolites (NanoSIMS isotope imaging) and persistent physical association (fluorescent in situ hybridization). **Algal Research**, Amsterdam, v. 15, p. 179–186, 2016.

DE RON, A.; PAPA, R.; BITOCCHI, E.; GÓNZÁLEZ, M. A.; DEBOUCK, G. D.; TIJOLO, A. M.; FOURIE, D.; MARSOLAIS, F.; CASTOR, J.; GEFFROY, V.; MCCLEAN, P.; SANTALLA, M.; LOZANO, R.; VUSTE-LISBOA, J. F.; CASQUERO, A. P. Common Bean. In: DE RON, A. M. (eds) **Grain Legumes**. New York: Springer, 2015. Handbook of Plant Breeding. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2797-5_1. Acesso em: 6 jun. 2024.

DEBOUCK, D. G. Diversity in Phaseolus species in relation to the common bean. In: SINGH, S. P. (Ed.). **Common bean improvement in the twenty-first century**. Dordrecht: Kluwer, 1999. p. 25-52.

EARL, A. M.; LOSICK, R.; KOLTER, R. Ecology and genomics of *Bacillus subtilis*. **Trends in Microbiology**, Cambridge, v. 16, n. 6, p.269-275, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tim.2008.03.004>.

ELKOCA, E.; KANTAR, F.; SAHIN, F. Influence of nitrogen fixing and phosphorus solubilizing bacteria on the nodulation, plant growth, and yield of chickpea. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 31, n. 1, 157-171, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1080/01904160701742097>

FAGERIA, N. K.; MELO, L. C.; FERREIRA, E. P. B.; OLIVEIRA, J. P.; KNUPP, A. M. Dry matter, grain yield and bean performance components influenced by nitrogen fertilizer and rhizós. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 45, n. 1, p.111–125, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1080/00103624.2013.848877>.

FERREIRA, C. M.; BARRIGOSI, J. A. F. (ed.) **Arroz e feijão: tradição e segurança alimentar**. Brasília, DF: Embrapa, 2021.

FERREIRA, D. F. SISVAR: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Brazilian Journal of Biometrics**, New York, v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019.

FREITAS, M. A; MEDEIROS, F. H; CARVALHO, S. P; GUILHERME, L. R; TEIXEIRA, W. D; ZHANG, H; PARÉ, P. W. Augmenting iron accumulation in cassava by the beneficial soil bacterium *Bacillus subtilis* (GBO3). **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 6, 2015. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00596>.

FUKAMI, J.; OLLERO, F. J.; LA OSA, C.; VALDERRAMA-FERNÁNDEZ, R.; NOGUEIRA, M. A.; MEGIA, M.; HUNGRIA, M. Antioxidant activity and induction of mechanisms of resistance to stresses related to the inoculation with *Azospirillum brasilense* **Archives of Microbiology**, Heidelberg, v. 200, n. 8, p. 1191-1203, 2018.

GALINDO, F. S.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; BUZETTI, S.; *et al.* Technical and economic viability of co-inoculation with *Azospirillum brasilense* in soybean cultivars in the Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 22, n. 1, p. 51–56, 2018. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662018000100051&lng=en&tlng=en. Acesso em: 7 jun. 2024.

GUIMARÃES, ZAMBOM, M. A; KUHN, O. J.; SILVA, N. L. S.; STANGARLIN, J. R Bactérias promotoras de crescimento vegetal: da FBN à regulação hormonal, possibilitando novas aplicações, **Ciências Agrárias**, Marechal Candido Rondon, p. 193-212, 2017.

HOWELL CR. Mechanisms employed by *Trichoderma* species in the biological control of plant diseases: the history and evolution of current concepts. **Plant Diseases**, St. Paul, v. 87, n. 1, p. 4–10, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1094/PDIS.2003.87.1.4>

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. C. **Fixação biológica do nitrogênio na cultura da soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2001. p.11-17.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. C. Benefits of inoculation of the common bean (*Phaseolus vulgaris*) crop with efficient and competitive *Rhizobium tropici* strains. **Biology and Fertility of Soils**, Heidelberg, v. 39, p. 88-93, 2003.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R.J.; MENDES, I.C. A importância do processo de fixação biológica do nitrogênio para a cultura da soja: Componente essencial para a competitividade do produto brasileiro. **Embrapa-Soja**, Londrina, v. 283, 80 p., 2007.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J; SOUZA, E. M.; PEDROSA, F. O. Inoculation with selected strains of *Azospirillum brasilense* and *A. lipoferum* improves yields of maize and wheat in Brazil. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 331, p. 413-425, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-009-0262-0>.

HUNGRIA, M.; MENDES, I. C.; MERCANTE, F. M. A fixação biológica do nitrogênio como tecnologia de baixa emissão de carbono para as culturas do feijoeiro e da soja. **Embrapa-Soja**, Londrina, v. 337, p. 24, 2013.

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A. Fixação biológica do nitrogênio. In: MEYER, M. C.; BUENO, A. de F.; MAZARO, S. M.; SILVA, J. C. da (ed.). **Bioinsumos na cultura da soja**. Brasília, DF: Embrapa, 2022. Capítulo 8.

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A. Tecnologias de inoculação da cultura da soja: Mitos, verdades e desafios. In: KAPPES, C. (ed.). **Boletim de Pesquisa 2019/2020**. Rondonópolis: Fundação MT, 2019. p. 50-62. Boletim, 19.

JENA, J.; MAITRA, S.; HOSSAIN, A.; PRAMANICK, B.; GITARI, H. I.; PRAHARAJ, S.; SHANKAR, T.; PALAI, J. B.; RATHORE, A.; MANDAL, T. K; JATAV, H. S. Role of legumes in the cultivation system to improve the soil ecosystem. In: JATAV HS, RAJPUT VD (ed.). **Ecosystem services: Types, management and benefits**. Nova York: New Science Publishers, 2022.

KASCHUK, G.; HUNGRIA, M.; Diversity and importance of diazotrophic bacteria to agricultural sustainability in the tropics. In: AZEVEDO, J. L.; QUECINE, M. C.; (ed.). **Diversity and benefits of microorganisms from the tropics**. Cham: Springer, 2017. p. 269-292. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-55804-2_12

KESWANI, C.; MISHRA, S.; SARMA, B. K.; SINGH, S. P.; SINGH, H. B. Revealing the efficient applications of secondary metabolites from various *Trichoderma spp.* **Applied Microbiology Biotechnology**, Heidelberg, v. 98, n. 2, p. 533-544, 2014.

KOVÁCS, Á.T. *Bacillus subtilis*. **Trends in Microbiology**, Cambridge, v. 27, n. 8, p.724-725, 2019. Crossref, Medline, ISI. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tim.2019.03.008>.

KUMAR, A.; CHADHA, S.; RATH, D. CRISPR-Cas9 system for functional genomics of filamentous fungi: applications and challenges. In: SHARMA, V. K.; SHAH, M. P.; PARMAR, S.; KUMAR, A. **Fungi bio-prospects in sustainable agriculture, environment and nano-technology**. Cambridge: Academic Press, 2021. p. 541-576. Volume 3.

LOS, F. G. B.; ZIELINSKI, A. A. F.; WOJEICCHOWSKI, J. P.; NOGUEIRA, A.; DEMIATE, I. M. Beans (*Phaseolus vulgaris* L.): whole seeds with complex chemical composition. **Current Opinion in Food Science**, Oxford, v. 19, p. 63–71, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2018.01.010>.

MACHADO, D. F. M.; PARZIANELLO, F. R.; SILVA, A. C. F.; ANTONIOLLI, Z. I. *Trichoderma* no Brasil: O Fungo e bioagente. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 35, n. 1, p. 274-288, 2012.

MACHIANI, M. A.; REZAEI-CHIYANEH, E.; JAVANMARD, A. *et al.* Avaliação do feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) rendimento de sementes e produção quali-quantitativa dos óleos essenciais de erva-doce (*Foeniculum vulgare* Mill.) e cabeça de dragão (*Dracocephalum moldavica* L.) em sistema consorciado sob aplicação de ácido húmico. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 235, p. 112–122, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652619322061>. Acesso em: 29 abr. 2024.

MAIA, S. C. M.; SORATTO, R. P.; LIEBE, S. M.; *et al.* Criteria for topdressing nitrogen application to common bean using chlorophyll meter. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 52, n. 7, p. 512–520, 2017. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2017000700512&lng=en&tlng=en. Acesso em: 7 jun. 2024.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas, princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.

MARSCHNER, P. Rhizosphere biology. In: MARSCHNER, P. (ed.). **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. 3. ed. New York: Springer, 2012. p. 369-388.

MENG, X.; MIAO, Y.; LIU, Q.; MA, L.; GUO, K.; LIU, D.; RAN, W.; SHEN, Q. TgSWO from *Trichoderma guizhouense* NJAU4742 promotes growth in cucumber plants by modifying the root morphology and the cell wall architecture. **Microbial Cell Factories**, London, v. 18, 2019.

MERCANTE, F. M.; OTSUBO, A. A.; BRITO, O. R. New native rhizobia strains for inoculation of common bean in the Brazilian savanna. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, n. 41, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20150120>.

MEYER, M. C. **Bioinsumos na cultura da soja**. Brasília, DF: Embrapa, 2022.

MOLINA-FAVERO, C.; CREUS, C. M.; SIMONTACCHI, M.; PUNTARULO, S.; LAMATTINA, L. Aerobic nitric oxide production by *Azospirillum brasilense* Sp245 and its influence on root architecture in tomato. **Molecular Plant-Microbe Interactions**, St. Paul, v. 21, n. 7, p. 1001–1009, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1094/MPMI-21-7-1001>

MOREIRA, F. M. S.; SILVA, K.; NÓBREGA, R. S.; CARVALHO F. Bactérias diazotróficas associativas: diversidade, ecologia e potencial de aplicações. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v. 1, n. 2, p.74-99, 2010.

MORTINHO, E. S.; JALAL, A.; OLIVEIRA, C. E. da S.; *et al.* Co-Inoculations with Plant Growth-Promoting Bacteria in the Common Bean to Increase Efficiency of NPK Fertilization. **Agronomy**, Basel, v. 12, n. 6, p. 1325, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/12/6/1325>. Acesso em: 7 jun. 2024.

NYAWADE, S. O.; KARANJA, N. N.; GACHENE, C. K. K.; GITARI, H. I.; SCHULTE-GELDERMANN, E.; PARKER, M. Optimizing soil nitrogen balance in a potato cropping system by intercropping with legumes. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 117, p. 43–59, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10705-020-10054-0>.

OLIVEIRA, M. G. de C.; OLIVEIRA, L. F. C. de; WENDLAND, A.; GUIMARÃES, C. M.; QUINTELA, E. D.; BARBOSA, F. R.; CARVALHO, M. C. S.; LOBO JUNIOR, M.; SILVEIRA, P. M. **Conhecendo a Fenologia do Feijoeiro e Seus Aspectos Fitotécnicos**. Brasília, DF: EMBRAPA, 2018.

ORMEÑO-ORRILLO, E.; HUNGRIA, M.; MARTINEZ-ROMERO, E.; DINITROGEN-FIXING PROKARYOTES. Dinitrogen,- Fixing Prokaryotes. *In*: ROSENBERG, E.; DeLONG, E. F.; LORY, S.; STACKEBRANDT, E.; THOMPSON, F.; (ed.). **The prokaryotes: prokaryotic physiology and biochemistry**. Heidelberg: Springer, 2013. p. 427-51. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-642-30141-4_72

PANKIEVICZ, V. C. S.; AMARAL, F. P. do; SANTOS, K. F. D. N.; *et al.* Robust biological nitrogen fixation in a model grass–bacterial association. **The Plant Journal**, West Sussex, v. 81, n. 6, p. 907–919, 2015. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/tpj.12777>. Acesso em: 7 jun. 2024.

PANKIEVICZ, V. C. S.; AMARAL, F. P. do; SANTOS, K. F. D. N.; AGTUCA, B.; XU, Y.; SCHUELLER, M. J. Robust biological nitrogen fixation in a bacteria-grass association model. **The Plant Diary**, [s. l.], v. 81, p. 907–919, 2015.

PAUDYAL, S. P.; GUPTA, V. N. P. Nitrogen replacement of chemical fertilizer through *Rhizobium* inoculation technology. **Our Nature**, Biratnagar, v. 16, n. 1, p. 43–47, 2018. DOI: [Dhttps://doi.org/10.3126/on.v16i1.22121](https://doi.org/10.3126/on.v16i1.22121)

PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos**. Piracicaba: FEALQ, 2002. p. 309.

RAIJ, B. V.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para Avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto, 2001. 285 p.

RAZA, M. A.; GUL, H.; WANG, J.; YASIN, H. S.; QIN, R.; KHALID M. H. B.; NAEEM, M.; FENG, L. Y.; IQBAL, N.; GITARI, H.; AHMAD, S.; BATTAGLIA, M.; ANSAR, M.; YANG, F.; YANG, W. Land productivity and water use efficiency in maize and soybean intercropping systems in semi-arid areas: a case study in Punjab province, Pakistan. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 308, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127282>.

REETZ, H. F. **Fertilizers and their efficient use**. Paris: International Fertilizer industry Association, IFA, 2016.

REINO, J. L.; GUERRERO, R. F.; HERNÁNDEZ-GALÁN, R.; COLLADO, I. G.; Secondary metabolites from species of the biocontrol agent *Trichoderma*. **Phytochemistry Reviews**, Dordrecht, v. 7, p. 89–123, 2007.

RIBAUDO, C. M.; KRUMPHOLZ, E. M.; CASSÁN, F. D.; BOTTINI, R.; CANTORE, M. L.; CURA, J. A. *Azospirillum* spp. promotes root hair development in tomato plants through a mechanism that involves ethylene. **Journal of Plant Growth Regulation**, New York, v. 25, p.175–185, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00344-005-0128-5>.

RONDINA, A. B. L.; SANZOVO, D. S.; GUIMARÃES, A. W. Changes in root morphological traits in soybean co-inoculated with *Bradyrhizobium* spp. and *Azospirillum brasilense* or treated with *A. brasilense* exudates. **Biology and Fertility of Soils**, Heidelberg, v. 56, p.537–549, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00374-020-01453-0>.

SABER, W. I. A.; ABD EL-HAI, K. M.; GHONEEM, K. M. Synergistic effect of *Trichoderma* and *Rhizobium* on Both Biocontrol of Chocolate Spot Disease and Induction of Nodulation, Physiological Activities and Productivity of *Vicia faba*. **Research Journal of Microbiology**, Dubai, v. 4, n. 8, p. 286-300, 2009.

SAEID, A.; PROCHOWNIK, E.; DOBROWOLSKA-IWANEK, J. Phosphorus solubilization by *Bacillus* species. **Molecules**, Basel, v. 23, n. 11, p.28-97, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules23112897>

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2018.

SANTOS, M. S.; NOGUEIRA, M. A.; HUNGRIA, M. Outstanding impact of *Azospirillum brasilense* strains Ab-V5 and Ab-V6 on the Brazilian agriculture: Lessons that farmers are receptive to adopt new microbial inoculants. **Revista Brasileira De Ciência Do Solo**, Viçosa, v. 45, 2021. DOI: <https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20200128>

SANTOS, M. S.; NOGUEIRA, M. A.; HUNGRIA, M. Microbial inoculants: reviewing the past, discussing the present and previewing an outstanding future for the use of beneficial bacteria in agriculture. **AMB Express**, Heidelberg, v. 9, n. 1, p. 205, 2019. Disponível em: <https://amb-express.springeropen.com/articles/10.1186/s13568-019-0932-0>. Acesso em: 11 set. 2024.

SCHISLER, D. A.; SLININGER, P. J.; BEHLE, R. W.; JACKSON, M. A. Formulation of *Bacillus* spp. for biological control of plant diseases. **Phytopathology**, St. Paul. v. 94, n. 11, p. 1267-1271, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1094/PHYTO.2004.94.11.1267>

SHAMSELDIN, A.; VELÁZQUEZ, E. The promiscuity of *Phaseolus vulgaris* L. (common bean) for nodulation with rhizobia: a review. **World Journal Microbiology Biotechnology**, Dordrecht, v. 36, p. 1–12, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11274-020-02839-w>.

SILVA, C. A. R. da. **Produção integrada do feijão comum**. Brasília, DF: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2022. 30 p.

SILVA, E. M.; SANTOS, M. M.; LOPES, M. B. S. *et al.* Eficiência de rizóbios sob doses de fósforo na cultura do Feijão-Caupi. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, Viçosa, v. 9, n. 2, 2019. Disponível em: <https://periodicos.ufv.br/ojs/rbas/article/view/6415>. Acesso em: 16 mai. 2024.

SILVA, H. T. **Análise da divergência genética do germoplasma de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) melhorado e tradicional (Crioulo) cultivado no Brasil, e das formas silvestres de origem Centro e Sul Americana**. 1999. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) – Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1999.

SILVA, J. C.; TORRES, D. B.; LUSTOSA, D. C.; FILIPPI, M. C. C.; SILVA, G. B. Rice sheath blight biocontrol and growth promotion by *Trichoderma* isolates from the Amazon. **Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, Belém, v. 55, n. 4, p. 243-250, 2012.

SILVA, M. L De S; SILVA, M. A. D; TREVIZAM, A. R. Influência do nitrogênio e enxofre na produção do feijoeiro. **Revista Agrogeoambiental**, Pouso Alegre, v. 9, n. 3, 2017. Disponível em <https://agrogeoambiental.ifsuldeminas.edu.br/index.php/Agrogeoambiental/article/view/899>. Acesso em: 22 dez. 2024.

SIVASAKTHI, S.; USHARANI, G.; SARANRAJ, P. Biocontrol potentiality of plant growth promoting bacteria (PGPR)-*Pseudomonas fluorescens* and *Bacillus subtilis*: A review. **African Journal of Agricultural Research**, Sapele, v. 9, n. 16, p. 1265-1277, 2014.

SORATTO, R. P; CARVALHO, M. A. C. de; ARF, O. Nitrogênio em cobertura no feijoeiro cultivado em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 30, n. 2, p. 259–266, 2006. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832006000200007&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 11 set. 2024.

SORATTO, R. P.; FERNANDES, A. M.; SANTOS, L. A. D.; JOB, A. L. G. Extração e exportação de nutrientes por cultivares de feijão sob diferentes níveis de adubação: I - macronutrientes. **Revista Brasileira Ciências do Solo**, Viçosa, MG, v. 37, p.1027–1042, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000400020>.

SORATTO, R. P.; PERDONÁ, M. J.; PARECIDO, R. J.; PINOTTI, R. N.; GITARI, H. I. Transformando colheita bienal em bianual: avaliação de longo prazo do consórcio café arábica-macadâmia e sinergismo de irrigação por índices biológicos e econômicos. **Segurança Alimentar Energética**, Oxford, v. 11, n. 2, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1002/fes3.365>.

STEWART, B.A.; LAL, R. The nitrogen dilemma: Food or the environment. **Journal of Soil and Water Conservation**, Philadelphia, v. 72, n. 6, p. 124A-128A, 2017. Disponível em: <http://www.jswnonline.org/lookup/doi/10.2489/jswn.72.6.124A>. Acesso em: 7 jun. 2024.

SYSTAT SOFTWARE. Sigmaplot 15. Palo Alto: Sigmaplot, 2022. Disponível em: <http://www.sigmaplot.com>. Acesso em: 10 de jul. 2023.

TAHA, A.; OMAR, M.; KHEDR, H. Effect of different sources and levels of potassium on growth, yield, and chemical composition of faba bean plants. **Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering**, Mansoura, v. 7, n. 3, p. 243-248, 2016.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Plant physiology and development**. 6. ed. Sunderland: Sinauer Associates, 2017. 761 p.

TODOROVA, S.; KOZHUHAROVA, L. Characteristics and antimicrobial activity of *Bacillus subtilis* strains isolated from soil. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, Dordrecht, v. 26, p. 1207-1216, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11274-009-0290-1>

TOSTO, S. G.; WANDER, A. E.; PEREIRA, L. C.; MANGABEIRA, J. D. C.; COELHO, G. C. Diagnóstico socioeconômico da cultura do feijão no Brasil. **Documentos Embrapa**, Campinas, v. 24, p. 10-11, 2012. Embrapa Monitoramento por Satélite.

VACHERON, J.; DESBROSSES, G.; BOUFFAUD, M. L.; TOURAINE, B.; MOËNNE-LOCCOZ, Y.; MULLER, D.; LEGENDRE, L.; WISNIEWSKI-DYÉ, F.; PRIGENT-COMBARET, C.; Plant grow-promoting rhizobacteria and root system functioning. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 4, 2013. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00356>

WANJALA, S.P.O.; KARANJA, D.; WAMBUA, S.; OTIEP, G.; ODHIAMBO, C.; BIRACHI, E. Market arrangements used by small bean farmers in Kenya: what needs to change for sustainable trading volumes? **African Crop Science Journal**, Grahamstown, v.27, n. 2, p.119–131, 2019. DOI: <https://doi.org/10.4314/acsj.v27i2.1>.

WUTKE, B. E.; CHIORATO, F. A.; ESTEVES, F. A. J.; CARBONELL, M. A. S.; AMBROSANO, J. E.; LEMOS, B. L.; SORATTO, P. R.; ARF, O.; CANTARELLA, H. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2022. p. 86-94. Boletim 100.

YADEGARI, M. Inoculation of bean (*Phaseolus vulgaris*) seeds with *Rizobium phaseoli* and plant growth promoting rhizobacteria. **Advances in Environmental Biology**, Jordan, v. 8, n. 2, p. 419-424, 2014.

ZÖRB, M.; SENBAYRAM, E.; PEITER. Potassium in agriculture status and perspectives **Journal of Plant Physiology**, Muenchen, v. 171, n. 9, p. 656-669, 2014.

APÊNDICE A - DADOS CURRICULARES

IDENTIFICAÇÃO	
	Loiane Fernanda Romão de Souza 05/10/1996
Nacionalidade	Brasileira
Nome em citações bibliográficas:	de Souza, Loiane de Souza, L. F. R
Currículo Lattes	https://lattes.cnpq.br/8372529040288341
ORCID	https://orcid.org/0000-0003-1868-8432
outro identificador	
FORMAÇÃO ACADÊMICA	
2019/2022	Graduação em Engenharia Agrônoma- Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, UNESP

APÊNDICE B – PRODUÇÃO BIBLIOGRÁFICA

PRODUÇÃO BIBLIOGRÁFICA
de Souza, L.F.R.; de Souza Júnior, N.C.; Fernandes, G.C.; Ito, W.C.N.; Barbosa, M.C.; Freitas, L.B.; da Silva Souza, K.; Alexandre, L.d.S.; Silva, M.B.; da Silva, E.C.; et al. Response of Phaseolus vulgaris to the Use of Growth-Promoting Microorganisms Associated with the Reduction of NPK Fertilization in Tropical Soils: Clayey Oxisol and Sandy Ultisol. <i>Agriculture</i> 2025, 15, 63. https://doi.org/10.3390/agriculture15010063. Nascimento, V.; Arf, O.; Alves, M.C.; de Souza, E.J.; da Silva, P.R.T.; Kaneko, F.H.; Filho, M.C.M.T.; Pereira, E.P.; Ferrari, S.; de Souza, L.F.R.; et al. Cover Crops and Tillage: Effects on Soil Chemical Properties and Rice Yield. <i>Sustainability</i> 2024, 15, x. https://doi.org/10.3390/xxxx. BONI, T. S.; MALTONI, K. L.; SOUZA, L. F. R. de; CASSIOLATO, A. M. R. Carapaça de mexilhão-dourado pode ser uma alternativa ao calcário na correção de solo?. <i>Pesquisa Agropecuária Tropical</i>, Goiânia, v. 53, p. e76123, 2023. Disponível em: https://revistas.ufg.br/pat/article/view/76123. Acesso em: 31 dez. 2024.
PARTICIPAÇÃO EM BANCAS E ORIENTAÇÕES
Bancas de trabalhos de conclusão
SOUZA, L. F. R- Participação em banca de Ana Clara Silva Tomasetti. Banca Examinadora da Apresentação de Estágio Supervisionado. 2023.Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológica, Dracena, 2023. SOUZA, L.F.R- Participação em banca de Mikaelle Eduarda Rocha Frota. Banca Examinadora da Apresentação de Estágio Supervisionado. 2023.Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológica, Dracena, 2023. Participação em banca de João Guilherme Martins Zago. Banca Examinadora da Apresentação de Estágio Supervisionado. 2022. Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológica, Dracena, 2023.
Orientações
PARTICIPAÇÃO EM EVENTOS CIENTÍFICOS
VII REUNIÃO CENTRO-OESTE DE CIÊNCIA DO SOLO E IV SIMPÓSIO SOBRE NUTRIÇÃO DE PLANTAS NO CERRADO, (Goiânia, GO). Doses de silício na nutrição e produção de alface americana hidropônica: 2023. VII REUNIÃO CENTRO-OESTE DE CIÊNCIA DO SOLO E IV SIMPÓSIO SOBRE NUTRIÇÃO DE PLANTAS NO CERRADO, (Goiânia, GO). Nutrição e Produtividade do milho consorciado com plantas de cobertura associado a doses de nitrogênio: 2023. V Simpósio de Microbiologia Agrícola: "Aplicações e perspectivas para agricultura do futuro, 2023, (Piracicaba-SP).