



UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL
CAMPUS DE LARANJEIRAS DO SUL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

TANIA ROBERTA SCHUH

**AVALIAÇÃO DO USO DE MICRORGANISMOS SOLUBILIZADORES DE
FÓSFORO NA CULTURA DA SOJA SOB DIFERENTES NÍVEIS DE ADUBAÇÃO**

LARANJEIRAS DO SUL

2023

TANIA ROBERTA SCHUH

**AVALIAÇÃO DO USO DE MICRORGANISMOS SOLUBILIZADORES DE
FÓSFORO NA CULTURA DA SOJA SOB DIFERENTES NÍVEIS DE ADUBAÇÃO**

Trabalho de conclusão do curso apresentado ao curso de Agronomia da Universidade Federal da Fronteira Sul, como requisito para obtenção do título de Engenheira Agrônoma.

Orientador: Prof. Dr. José Francisco Grillo

LARANJEIRAS DO SUL

2023

Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS

Schuh, Tania Roberta
AVALIAÇÃO DO USO DE MICROORGANISMOS SOLUBILIZADORES DE
FÓSFORO NA CULTURA DA SOJA SOB DIFERENTES NÍVEIS DE
ADUBAÇÃO / Tania Roberta Schuh. -- 2023.
28 f.:il.

Orientador: Dr. José Francisco Grillo

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -
Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de
Bacharelado em Agronomia, Laranjeiras do Sul, PR, 2023.

1. Solubilizadores de Fósforo. 2. FMAs. 3. B.
subtilis e B. megaterium. I. Grillo, José Francisco,
orient. II. Universidade Federal da Fronteira Sul. III.
Título.

Elaborada pelo sistema de Geração Automática de Ficha de Identificação da Obra pela UFFS
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

TANIA ROBERTA SCHUH

Avaliação do uso de microrganismos solubilizadores de fósforo na cultura da soja sob diferentes níveis de adubação.

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como requisito para obtenção de grau de Bacharel em Agronomia linha de formação em Agroecologia pela Universidade Federal da Fronteira Sul- *Campus* Laranjeiras do Sul (PR)

Orientador: Prof. Dr. Jose Francisco Grillo

Este trabalho de conclusão de curso foi defendido e aprovado pela banca em: 14/07/2023.

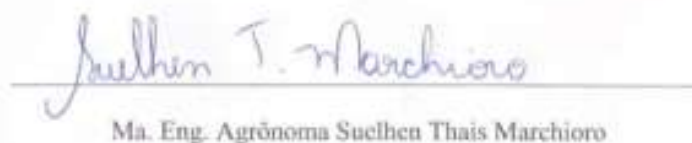
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Jose Francisco Grillo



Prof. Dr. Henrique Von Hertwig Bittencourt



Ma. Eng. Agrônoma Suelhen Thais Marchioro

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus e Nossa Senhora, por me guiar e auxiliar durante a minha trajetória.

Aos meus familiares Terezinha B. Schuh (Mãe), Mauro R.Schuh (Pai), Matheus G. Schuh (Irmão), pelo incentivo e auxílio, pelo legado de honestidade, trabalho e princípios. Aos meus colegas e amigos pelo carinho e parceria.

Aos meu Professor orientador Dr. José Francisco Grillo, pela confiança e não medir esforços durante a realização do trabalho e pela grande contribuição na minha formação acadêmica.

Ao Professor Dr. Henrique Von Hertwig Bittencourt e a Ma. Suelhen Thais Marchioro.

A Cooperativa Agroindustrial Coasul (Rio Bonito do Iguazu - PR), Gebana Brasil (Capanema – PR) e a Corteva AgriscienceTM (RC. Cristiano Colet – Chopinzinho -PR) por toda a parceria e suporte oferecido.

Passou a fase da agricultura de produtos para a fase da agricultura de conhecimento.

-DIRCEU GASSEN

Avaliação do uso de microrganismos solubilizadores de fósforo na cultura da soja sob diferentes níveis de adubação

RESUMO

O fósforo é um dos macronutrientes mais utilizados na agricultura, de extrema importância para a nutrição das plantas, participando da fotossíntese, reprodução e crescimento vegetal. Porém, a sua maioria vem de reservas naturais finitas. Este trabalho objetivou avaliar a eficiência do uso de diferentes microrganismos solubilizadores de fósforo na soja sob em diferentes níveis de adubação. O experimento foi disposto em delineamento inteiramente casualizado (DIC) em arranjo fatorial 4 x 4, com 6 repetições (4 níveis de adubação recomendada [0%, 33,4%, 66,7%, 100%] e 4 formas de inoculação [sem inoculação, *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium* (Omsugo™ P), *Rhizophagus clarus* (FMA) e Omsugo™ P + FMA]. Considerou-se as variáveis: altura de planta; número de vagens e de grãos por vaso; produção de grãos por vaso; massa seca radicular, aérea e total; P-Foliar, pH CaCl₂, P Mehlich e remanescente. Submeteu-se os dados obtidos à análise de variância ($p < 0,01$ e $p < 0,05$), análise de regressão ou teste de médias de Scott-Knott ($p < 0,05$), quando cabível. Altura de planta, massa seca aérea e P-rem foram influenciadas pela interação entre níveis de adubação e formas de inoculação. Isoladamente, (i) número de vagens e de grãos por vaso, produção de grãos por vaso, massa seca total e radicular, P Mehlich e pH CaCl₂ foram influenciadas apenas pelos níveis de adubação, enquanto (ii) massa seca total e P- Foliar apenas pelas formas de inoculação. Novas pesquisas são recomendadas para avaliar (longa duração) o uso simultâneo de inoculantes com fungos e bactérias solubilizadores de P na cultura da soja.

Palavras-Chave: Coinoculação, *Bacillus megaterium*, *Bacillus subtilis*, *Rhizophagus clarus*, *Glycine max* (L.) Merrill.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1. Valores médios de P remanescente do solo coletado após colheita da soja (120 DAE), em função da interação entre níveis de adubação (0%, 33,4%, 66,7%, 100% %) e formas de inoculações [Testemunha (sem inoculação), *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium* (Omsugo™ P), *Rhizophagus clarus* (FMA), Omsugo™ P + *Rhizophagus clarus* (FMA)]. (C.V. = 9,05%).....17
- Figura 2. Valores médios de altura de planta (cm) na cultura da soja (86 DAE), em função da interação entre níveis de adubação (0%, 33,4%, 66,7%, 100% %) e formas de inoculações [Testemunha (sem inoculação), *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium* (Omsugo™ P), *Rhizophagus clarus* (FMA), Omsugo™ P + *Rhizophagus clarus* (FMA)] (C.V.= 5,98%)....18
- Figura 3. Valores médios de massa seca da parte aérea (g) na cultura da soja (56 DAE) em função da interação entre níveis de adubação recomendada (0%, 33,4%, 66,7%, 100% %) e formas de inoculações [Testemunha (sem inoculação), *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium* (Omsugo™ P), *Rhizophagus clarus* (FMA), Omsugo™ P + *Rhizophagus clarus* (FMA)] (C.V. = 5,17%).....19
- Figura 4. Valores médios de (A) massa seca total (g) e (B) P-foliar (g kg⁻¹) na cultura da soja (56 DAE) em função de diferentes formas de inoculações [Testemunha (sem inoculação), *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium* (Omsugo™ P), *Rhizophagus clarus* (FMA), Omsugo™ P + *Rhizophagus clarus* (FMA)] (MST- C.V. = 7,33% e P-Foliar- C.V. = 8,78 %).
20
- Figura 5. Valores médios de massa seca radicular (MSR), massa seca total (MST) e produção de grãos por vaso (PGV) na cultura da soja (56 DAE), em função de diferentes níveis de adubação recomendada (0%, 33,4%, 66,7%, 100% %) (MSR- C.V. = 11,77 %, MST- C.V. = 7,33% e PGV- C.V. = 7,18%).....22
- Figura 6. Aspectos vegetativos cultura da soja (56 DAE) nos tratamentos com diferentes formas de inoculações [(A) Testemunha (sem inoculação), (B) *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium* (Omsugo™ P), (C) *Rhizophagus clarus* (FMA) e (D) Omsugo™ P + *Rhizophagus clarus* (FMA)], em função de diferentes níveis de adubação recomendada (0%, 33,4%, 66,7%, 100% %).....22
- Figura 7. Valores médios de número de vagens por vaso (NVV) e número de grãos por vaso (NGV) na cultura da soja (120 DAE), em função de diferentes níveis de adubação recomendada (0%, 33,4%, 66,7%, 100% %) (NVV- C.V. = 12,53 % e NGV- C.V. = 8,14 %).
.....23
- Figura 8. Valores médios de (A) fósforo em Mehlich (mg dm⁻³) e (B) pH CaCl₂ do solo após a colheita da soja (120 DAE), em função de diferentes níveis de adubação recomendada (0%, 33,4%, 66,7%, 100% %) (P Mehlich - C.V. = 21,73% e pH CaCl₂ - C.V. = 4,71%).....24

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Atributos químicos do solo coletado na profundidade de 0-20 cm, anteriormente ao período experimental. Laranjeiras do Sul-PR (2022).....	12
--	----

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	10
METODOLOGIA.....	12
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	15
CONCLUSÃO.....	24
AGRADECIMENTOS.....	25
REFERÊNCIAS.....	25

Avaliação do uso de microrganismos solubilizadores de fósforo na cultura da soja sob diferentes níveis de adubação

RESUMO

O fósforo é um dos macronutrientes mais utilizados na agricultura, de extrema importância para a nutrição das plantas, participando da fotossíntese, reprodução e crescimento vegetal. Porém, a sua maioria vem de reservas naturais finitas. Este trabalho objetivou avaliar a influência do uso de diferentes microrganismos solubilizadores de fósforo na soja sob em diferentes níveis de adubação. O experimento foi disposto em delineamento inteiramente casualizado (DIC) em arranjo fatorial 4 x 4, com 6 repetições (4 níveis de adubação recomendada [0%, 33,4%, 66,7%, 100%] e 4 formas de inoculação [sem inoculação, *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium* (OmsugoTM P), *Rhizophagus clarus* (FMA) e OmsugoTM P + FMA]). Considerou-se as variáveis: altura de planta; número de vagens e de grãos por vaso; produção de grãos por vaso; massa seca radicular, aérea e total; P-Foliar, pH CaCl₂, P Mehlich e remanescente. Submeteu-se os dados obtidos à análise de variância (<0,05) seguida de análise de regressão ou teste de médias de Scott-Knott (p<0,05), conforme o caso. Altura de planta, massa seca aérea e P-rem foram influenciadas pela interação entre níveis de adubação e formas de inoculação. Isoladamente, (i) número de vagens e de grãos por vaso, produção de grãos por vaso, massa seca total e radicular, P Mehlich e pH CaCl₂ foram influenciadas apenas pelos níveis de adubação, enquanto (ii) massa seca total e P- Foliar apenas pelas formas de inoculação. Novas pesquisas de longa duração são recomendadas para avaliar o uso simultâneo de inoculantes com fungos e bactérias solubilizadores de P na cultura da soja.

Palavras-Chave: Coinoculação, *Bacillus megaterium*, *Bacillus subtilis*, *Rhizophagus clarus*, *Glycine max* (L.) Merrill.

INTRODUÇÃO

A soja [*Glycine max* (L.) Merrill] possui grande habilidade de fazer simbiose com bactérias e fungos solubilizadores, podendo estar presente no ambiente ou fornecidas antes ou após a semeadura. O fósforo (P) está entre os principais nutrientes necessários para o desenvolvimento e produtividade da soja. De acordo com Dechen e Nachtigall (2007), o fósforo desempenha papel importante na fotossíntese, respiração, armazenamento e transferência de energia, divisão e crescimento celular, além de outros processos que ocorrem na planta. O P acarreta a rápida formação e crescimento das raízes. A grande maioria dos solos não possuem esse nutriente de forma disponível para as plantas, tornando necessário o seu fornecimento (RAIJ *et al.*, 2001). Porém, de toda a adubação fosfatada aplicada ao solo, apenas 20% do P fica disponível e pode ser aproveitado pelas plantas e 80% indisponível onde o fósforo fica fixado em argilas e óxidos de ferro e alumínio (CARVALHO *et al.*, 2006).

O P é um elemento pouco móvel sendo encontrado na forma orgânica e inorgânica e sua disponibilidade é variável em função do pH, teor de matéria orgânica, atividade microbiana e fatores de intensidade (MARINEZ *et al.*, 2021). Essa baixa mobilidade e maior tendência a adsorção em óxidos de Fe e Al, torna o P pouco disponível em grande parte dos solos (BINI *et al.*, 2016).

Os fungos e bactérias estão diretamente ligados aos processos de solubilização de fósforo (RICHARDSON, 2001). Nesse aspecto, a ação dos microrganismos solubilizadores de P no solo é de grande importância para a reposição do P disponível, os quais podem modificar o modo como as plantas obtêm este macronutriente do solo por meio da colonização de raízes por fungos micorrízicos arbusculares (FMA) e liberação de fitormônios. Desta forma, a solubilização de P adsorvido nos minerais, está ligado a produção e liberação de ácidos orgânicos e inorgânicos que são produzidos por plantas e microrganismos no solo.

Os FMA têm capacidade de promover simbiose com a maioria das espécies de plantas,

sendo benéficas quanto à resistência à seca, além de aumentar os nutrientes fornecidos as mesmas (COSTA *et al.*, 2020) e proporcionar acúmulo de potássio, magnésio e cálcio na parte aérea das plantas (BRITO *et al.*, 2017). A ação dos FMA sobre o desenvolvimento das plantas é significativa principalmente para nutrientes pouco móveis no solo como P, Zn, Cu (VALADARES *et al.*, 2016). O P é absorvido pela planta somente quando está localizado na região de contato imediato com a raiz (rizosfera). Desta maneira as hifas dos FMA vão mais além, explorando um grande volume de solo inacessível às raízes (VALADARES *et al.*, 2016), quando comparados com as bactérias as quais estimulam o desenvolvimento e aumento da área de absorção das raízes (SOUSA *et al.*, 2021).

Entre as bactérias solubilizadoras de P, estão as do gênero *Bacillus*, *Rhizobium*, *Pseudomonas*, entre outras que podem solubilizar P através da produção de ácidos orgânicos (RODRÍGUEZ *et al.*, 1999). As bactérias *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium* tem se destacado por serem relatadas como potenciais promotoras de crescimento de plantas além de ser consideradas mais estáveis permitindo adaptações às condições abióticas. Essas bactérias se associam a planta desde o início da formação de raízes, se multiplicam e colonizam a rizosfera da mesma (OLIVEIRA-PAIVA *et al.*, 2020).

Diante disso, torna-se essencial a obtenção progressiva de conhecimentos científicos sobre a utilização de microrganismos solubilizadores de fósforo no solo (P não lábil), na tentativa de reduzir a excessiva e contínua dependência (*input*) da utilização da adubação fosfatada na prática da agricultura e assim, proporcionar maior sustentabilidade dos agroecossistemas e preservação do meio ambiente (redução do uso das reservas de rochas fosfatadas e eutrofização hídrica). Neste sentido este trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência do uso de diferentes microrganismos solubilizadores de fósforo na soja cultivada sob diferentes níveis de adubação de base.

METODOLOGIA

O experimento foi desenvolvido em ambiente controlado (casa de vegetação) na Universidade Federal da Fronteira Sul – UFFS, *campus* Laranjeiras do Sul-PR, utilizando-se como substrato um LATOSSOLO VERMELHO (EMBRAPA, 2018), com teor de argila de 580 g kg⁻¹, coletado de uma área agrícola próxima cultivada anteriormente com aveia branca (*Avena sativa* L.), cujos atributos químicos encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1. Atributos químicos do solo coletado na profundidade de 0-20 cm, anteriormente ao período experimental. Laranjeiras do Sul-PR (2022).

pH	M.O.	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	CTC	V	P	P-rem
	g dm ⁻³	-----cmol _c dm ⁻³ -----					%	-----mg dm ⁻³ -----	
5,00	49,11	0,00	7,65	2,92	0,45	11,02	65,67	2,53	10,71

Fonte: Laboratório de Análises Agronômicas Maravilha Ltda (Pato Branco-PR).

O experimento foi implantado no dia 08 de outubro de 2022, onde foi utilizado um delineamento inteiramente casualizados (DIC), em esquema bifatorial 4 x 4, com 6 repetições, combinando-se (i) fator A: 4 níveis de adubação recomendada (AR) - 0%, 33,4%, 66,7%, 100% da dose recomendada, com (ii) fator B: 4 formas de inoculações (INOC) - Testemunha (sem inoculação), *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium* (OmsugoTM P), *Rhizophagus clarus* (FMA), *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium* (OmsugoTM P) + *Rhizophagus clarus* (FMA), totalizando 16 tratamentos e 96 unidades experimentais (vasos de polietileno com capacidade 8 L).

Após o enchimento de vasos com solo, foi realizada a adubação de semeadura, de acordo com os níveis de adubação recomendada (AR) propostos nos tratamentos (100%; 66,7%; 33,4% e 0%). A adubação utilizada foi a corretiva com o objetivo de elevar os teores iniciais de P e K do solo (Tabela 1) para 18 mg dm⁻³ e 0,7 cmol_c dm⁻³ (SOUSA & LOBATO,

2004), respectivamente. Os tratamentos com 100% da AR receberam a doses de 406 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (semeadura) e 323 kg ha⁻¹ K₂O (aplicada em 5 parcelada - semeadura, 10, 20, 30 e 40 dias após emergência - DAE), e assim proporcionalmente.

A cultivar de soja utilizada foi a Brasmax Zeus IPRO[®], amplamente cultivada na região. Foi realizada a inoculação do solo com *Rhizophagus clarus* (FMA) (turfa), antes da semeadura, com adição na profundidade de 5 cm e recoberto com solo. Foi utilizada dosagem de uma dose (1,43 g com aproximadamente 100 esporos viáveis) para cada 8 a 10 kg de solo, segundo Embrapa Microbiologia (fornecedora). Na sequência, foi realizada a semeadura (08/10/2022), sendo previamente as sementes (i) inoculadas com a bactéria *Bradyrhizobium japonicum* (estirpes 5079 e 5080 com concentração de 7 x 10⁹ unidades formadora de colônia g⁻¹) na dosagem de 100 ml do inoculante para 25 kg de sementes, utilizada para a fixação biológica de nitrogênio (FBN) e (ii) coinoculadas em seguida, de acordo com os tratamentos propostos, com *Bacillus subtilis* (estirpes CNPMS B2084 e BRMO34840) e *Bacillus megaterium* (estirpes CNPMS B119 (BRMO33112) (Omsugo[™] P) com imediata semeadura de quatro sementes vaso⁻¹ a 3 cm de profundidade. A dosagem utilizada do inoculante Omsugo[™] P (concentração de 4x10⁹ células viáveis ml⁻¹) foi segundo recomendações de Oliveira-Paiva *et al.* (2020), ou seja, 100 ml do produto a cada 50 kg de sementes.

Decorridos sete DAE foi realizada o desbaste e seleção de duas plântulas uniformes e mais vigorosas vaso⁻¹. Durante o cultivo da soja (período experimental), foram realizados os seguintes tratos culturais: em V2 e V3 foi aplicado o biofungicida Bombardeiro (*Bacillus pumilus* CNPSo 3203; *Bacillus velezensis* CNPSo 3602; *B. subtilis* CNPSo 2720), para mancha parda (*Septoria glycines*) na dosagem de 300 ml ha⁻¹ (volume de calda: 150 L ha⁻¹). Em R1 até R5 foram feitas quatro aplicações de biofungicida multissítio Égide (*Bacillus amyloliquefaciens* e *B. subtilis*) na dosagem de 500 ml ha⁻¹.

As variáveis analisadas foram: (i) aos cinquenta e seis DAE - massa seca radicular

(MSR), massa seca aérea (MSA) massa seca total (MST) e P-foliar (PF); (ii) aos oitenta e seis DAE - altura de planta (AP) e (iii) cento e vinte DAE - número de vagens por vaso (NVV), número de grãos por vaso (NGV), produção de grãos por vaso (PGV), pH CaCl₂, P- Mehlich e P remanescente (P-rem).

Para a determinação das variáveis massa seca radicular (MSR), massa seca aérea (MSA), massa seca total (MST) e P-Foliar (PF), foram coletadas duas repetições (do total de seis) por tratamento, totalizando trinta e duas amostras. As plantas foram cortadas a 3 cm do solo, a parte aérea foi lavada em água destilada e acondicionada em sacos de papel Kraft. A parte radicular foi separada do solo por meio de lavagem e acondicionada em secada da mesma forma que a parte aérea. As partes foram submetidas à secagem em estufa de ventilação forçada (65° C até peso constante) e pesadas em balança de precisão. Em seguida, as amostras da parte aérea foram enviadas ao laboratório para determinação do P-foliar (EMBRAPA, 2009). Para a determinação das demais variáveis foram consideradas um total de quatro repetições.

A determinação da altura de planta (AP) aos oitenta e seis DAE, foi realizada com auxílio de fita métrica a partir da inserção dos cotilédones até o pico da parte aérea (EMBRAPA, 2009).

Para a obtenção das variáveis número de vagens por vaso (NVV), número de grãos por vaso (NGV) e peso de grãos por vaso (PGV), os dados foram coletados por ocasião da colheita (cento e vinte DAE), sendo a contagem realizada manualmente para todos os tratamentos (NVV e NGV). As vagens coletadas foram acondicionadas em sacos de papel Kraft, submetidas à secagem em estufa de ventilação forçada (65° C até peso constante), debulhadas manualmente e as sementes submetidas novamente a secagem por 48 horas a 65° C, antes da pesagem (CASTEEL, 2014) para a determinação da PGV.

Após a colheita da soja, foram realizadas as coletas individuais de amostras simples

de solo dos vasos, totalizando sessenta e quatro amostras as quais foram secas, moídas e tamisadas para fins de determinação das variáveis pH CaCl₂, P Mehlich, segundo Embrapa (2009) e P-rem (ALVAREZ *et al.*, 2001).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância ($p < 0,05$), e posteriormente à análise de regressão ou teste de comparação de grupos de médias por Scott-Knott ($p < 0,05$) (SCOTT & KNOTT, 1974), quando cabível. As análises estatísticas foram realizadas com o aplicativo computacional Genes (CRUZ, 2006)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi observada interação entre os fatores níveis de adubação recomendada (AR) e formas de inoculações (INOC) para as variáveis altura de planta (AP) ($p < 0,01$), massa seca da parte aérea (MAS) ($p < 0,01$) e P remanescente (P-rem) ($p < 0,05$). A variável massa seca total (MST) foi a única que apresentou variação significativa de para os dois fatores testados INOC ($p < 0,05$) e AR ($p < 0,01$), isoladamente. As variáveis massa seca da raiz (MSR) ($p < 0,01$), número de vagens por vaso (NVV) ($p < 0,01$), número de grãos por vaso (NGV) ($p < 0,01$), produção de grãos por vaso (PGV) ($p < 0,01$), pH CaCl₂ ($p < 0,05$) e P Mehlich ($p < 0,01$), foram influenciadas apenas pelo fator níveis de AR de forma isolada, diferentemente da variável teor de P-foliar ($p < 0,01$) que sofreu variação significativa apenas pelas formas de inoculações (INOC).

Na Figura 1 observa-se que o P remanescente do solo sofreu variação significativa pela interação entre níveis de adubação (AR) e formas de inoculantes solubilizadores de P, onde os solos dos tratamentos sem inoculação e OmsugoTM P apresentaram uma tendência de aumento de P-rem em função do aumento dos níveis de adubação (AR), diferentemente dos tratamentos com inoculantes FMA e OmsugoTM P + FMA e de forma isolada, os quais apresentaram redução para os maiores níveis de adubação (AR) testados. O aumento da

adição de P ao solo através dos níveis de adubação testados, possivelmente proporcionou a ocupação dos sítios de adsorção (cargas positivas) dos óxidos de Fe e Al (ZAVASCHI *et al.*, 2020), resultando em uma maior disponibilidade de P no solo.

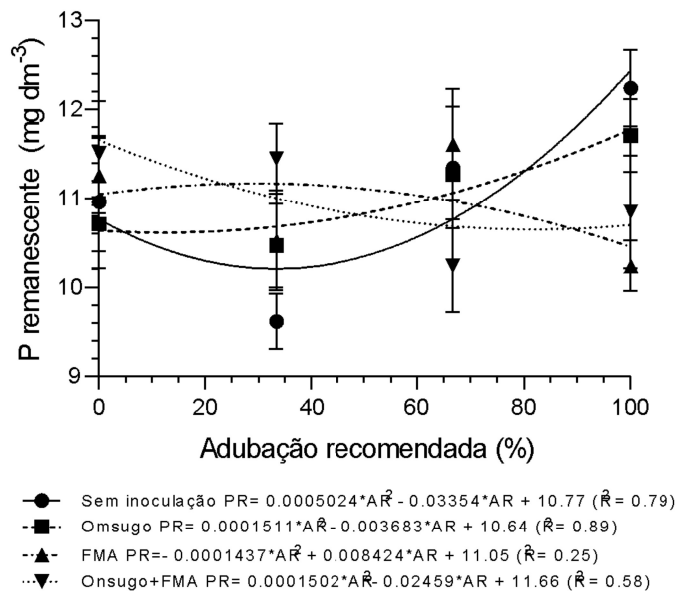


Figura 1. Valores médios de P remanescente do solo coletado após colheita da soja (120 DAE), em função da interação entre níveis de adubação (0%, 33,4%, 66,7%, 100% %) e formas de inoculações [Testemunha (sem inoculação), *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium* (OmsugoTM P, *Rhizophagus clarus* (FMA), OmsugoTM P + *Rhizophagus clarus* (FMA)]. (C.V. = 9,05%).

Quanto a altura de planta (Figura 2) apresentou resposta quadrática em função da interação dos fatores INOC x AR, obtendo-se os seguintes pontos de máximo (PMx) para esta variável: OmsugoTM P = 77,71% de AR ($R^2 = 0,96\%$); *R. clarus* (FMA) = 82,47% de AR ($R^2 = 0,99$) e OmsugoTM P + FMA = 64,68% de AR ($R^2 = 0,98$). O tratamento Testemunha (sem inoculação) foi o único a apresentar ponto de mínimo (PMn), cujo maior valor de altura de planta obtido somente para AR=100%.

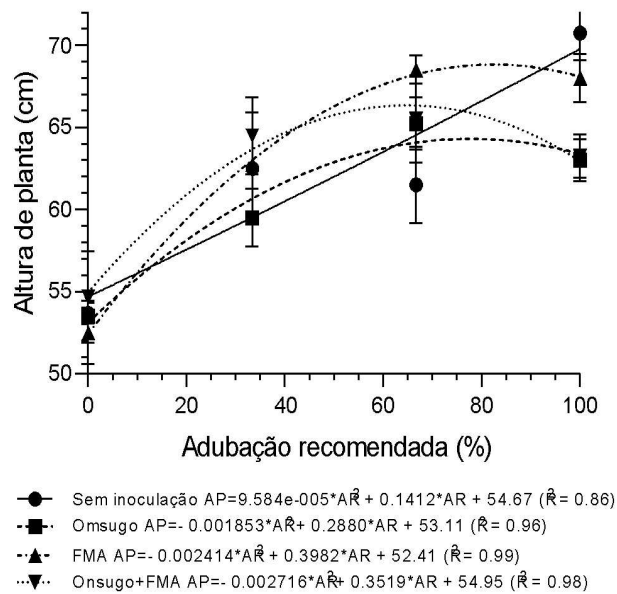


Figura 2. Valores médios de altura de planta (cm) na cultura da soja (86 DAE), em função da interação entre níveis de adubação (0%, 33,4%, 66,7%, 100% %) e formas de inoculações [Testemunha (sem inoculação), *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium* (OmsugoTM P), *Rhizophagus clarus* (FMA), OmsugoTMP + *Rhizophagus clarus* (FMA)] (C.V.= 5,98%).

Semelhantemente, a produção de massa seca de parte aérea (MAS) também apresentou resposta quadrática em função da interação dos fatores INOC x AR (Figura 3), obtendo-se os seguintes pontos de máximo (PMx): *R. clarus* (FMA)= 78,41% de AR ($R^2= 0,94$) e OmsugoTM P + FMA= 89, 22% de AR ($R^2=0,99$). O tratamento Testemunha (sem inoculação) foi o único a apresentar PMn = 30,77% de AR ($R^2= 0,98$), apresentando o maior valor de altura de planta somente em AR=100% (Figura 2). Não houve ajuste de modelo quadrático da resposta de MAS no tratamento OmsugoTM P.

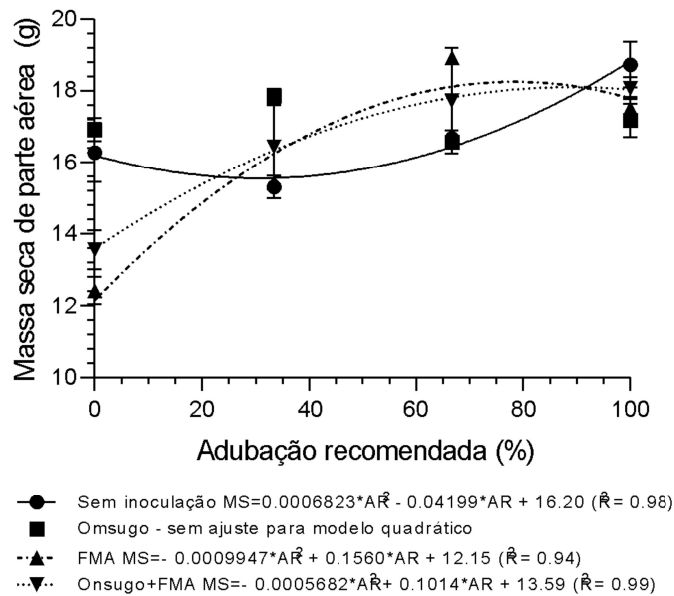


Figura 3. Valores médios de massa seca da parte aérea (g) na cultura da soja (56 DAE) em função da interação entre níveis de adubação recomendada (0%, 33,4%, 66,7%, 100% %) e formas de inoculações [Testemunha (sem inoculação), *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium* (Omsugo™ P), *Rhizophagus clarus* (FMA), Omsugo™ P + *Rhizophagus clarus* (FMA)] (C.V. = 5,17%).

As variáveis massa seca total (MST) e fósforo foliar (P-Foliar) (Figura 4 A e B) sofreram variação significativa somente em função de diferentes formas de inoculações [Testemunha (sem inoculação), *B. subtilis* e *B. megaterium* (Omsugo™ P), *R. clarus* (FMA), Omsugo™ P + *R. clarus* (FMA)] (Figura 4 A e B).

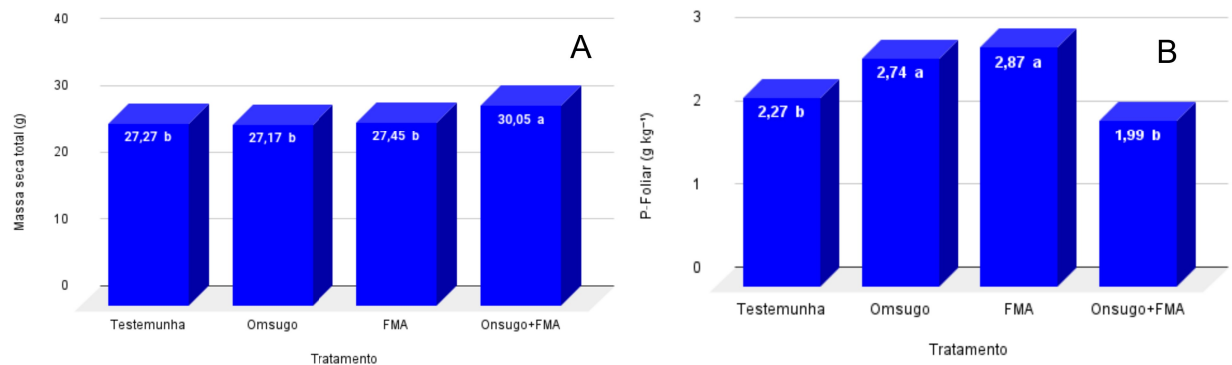


Figura 4. Valores médios de (A) massa seca total (g) e (B) P-foliar (g kg^{-1}) na cultura da soja (56 DAE) em função de diferentes formas de inoculações [Testemunha (sem inoculação), *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium* (Omsugo™ P), *Rhizophagus clarus* (FMA), Omsugo™ P + *Rhizophagus clarus* (FMA)] (MST- C.V. = 7,33% e P-Foliar- C.V. = 8,78 %).

*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na horizontal não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott.

No presente trabalho, a variável MST (Figura 4A) da soja dos tratamentos com inoculantes Omsugo™ P e *R. clarus* (FMA), não diferiu significativamente da Testemunha. Porém, foram inferiores a produção de MST do tratamento simultâneo Omsugo™ P + *R. clarus* (FMA). Neste caso, possivelmente ocorreu efeito sinérgico entre bactérias (*B. subtilis* e *B. megaterium*) e fungo (*R. clarus*) na produção de MST na cultura da soja. De acordo com Silva Junior (2019) a coinoculação de sementes de soja com *Bradyrhizobium japonicum* juntamente com fungos micorrízicos arbusculares aumentou o crescimento vegetativo de plantas de soja. Resultados positivos para o aumento de biomassa em soja com a utilização de *B. subtilis* também foram observados por Chagas Junior *et al.* (2022).

O mesmo efeito sinérgico entre bactérias (*B. subtilis* e *B. megaterium*) e fungo (*R. clarus*) não foi observado nos teores de P-Foliar da soja (Figura 4B). O tratamento simultâneo Omsugo™ P + *R. clarus* (FMA) não diferiu significativamente da Testemunha (sem inoculação). Neste caso, tal resultado seja justificado pelo efeito diluição através da maior produção de MST (Figura 4A) ocorrida no mesmo tratamento (Omsugo™ P + *R. clarus* - FMA), onde foi constatado o menor teor de P-Foliar (Figura 4B). Outra justificativa pode estar relacionada ao estudo realizado por Lazzaretti & Bettioli (1997), onde utilizaram *Bacillus subtilis* no tratamento de sementes de feijão e soja e constaram resultados semelhantes a aplicação de fungicidas recomendados para controle de *Rhizoctonia solani*, *Aspergillus sp.* e *Sclerotinia sclerotiorum* em sementes de feijão; e *Cercospora kikuchii*, *Phomopsis phaseoli* e *Fusarium spp.* em sementes de soja. Kupper *et al.* (2013) constaram que o *B. subtilis* inibiu a germinação do *Penicillium digitatum* em 72% em citros. A propriedade antifúngica do *B.*

subtilis também foi constatada no bioensaio de Montino (2021), através do seu biocontrole da ferrugem da soja. Da mesma forma, no presente trabalho admitiu-se a possibilidade do *B. subtilis* (Omsugo™ P) ter exercido efeito antagônico e antibiótico sobre o *R. clarus* (FMA), não permitindo que o mesmo se estabelecesse no solo do tratamento com Omsugo™ P + *R. clarus* (FMA).

Na Figura 5 observa-se a resposta quadrática das variáveis massa seca radicular (MSR), massa seca total (MST) e produção de grãos por vaso (PGV) da cultura da soja, em função dos níveis de adubação recomendada (AR) testados, apresentando os seguintes valores de PMx: MSR= 102, 43%AR ($R^2= 0,99$), PGV = 96,70%AR ($R^2= 0,99$) e MST= 10,70%AR ($R^2= 0,99$). Foi observado que o aumento da MSR da cultura da soja em função dos níveis de AR, proporcionou de igual forma o aumento na PGV, diferentemente da MST, a qual sofreu redução em 100%AR. Desta forma, vale ressaltar que a cultura da soja, a maior produção de MST (fitomassa) em função de menores doses de adubação não representa aumento de produção de grãos.

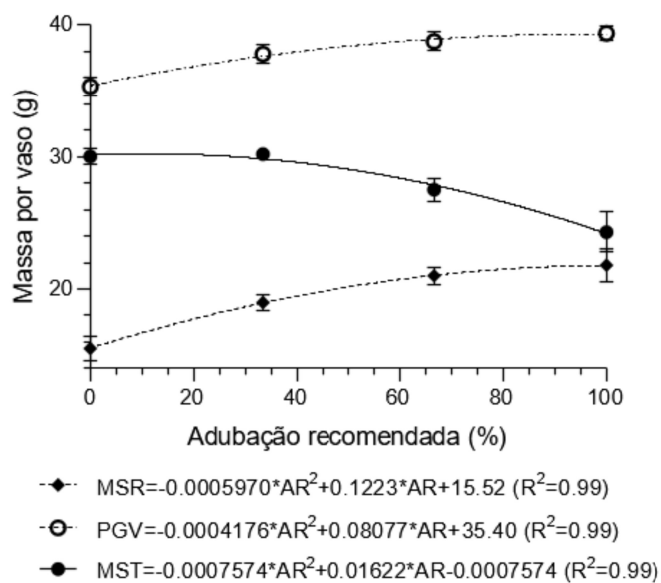


Figura 5. Valores médios de massa seca radicular (MSR), massa seca total (MST) e produção de grãos por vaso (PGV) na cultura da soja (56 DAE), em função de diferentes níveis de adubação recomendada (0%, 33,4%, 66,7%, 100% %) (MSR- C.V. = 11,77 %, MST- C.V. = 7,33% e PGV- C.V. = 7,18%).

Na figura 6 estão representados os aspectos vegetativos cultura da soja (56 DAE) nos tratamentos com diferentes formas de inoculações em função de diferentes níveis de adubação recomendada.



Figura (6). Aspectos vegetativos cultura da soja (56 DAE) nos tratamentos com diferentes formas de inoculações [(A) Testemunha (sem inoculação), (B) *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium* (Omsugo™ P), (C) *Rhizophagus clarus* (FMA) e (D) Omsugo™ P + *Rhizophagus clarus* (FMA)], em função de diferentes níveis de adubação recomendada (0%, 33,4%, 66,7%, 100% %).

Os resultados de número de vagens por vaso (NVV) e número de grãos por vaso (NGV) em função de níveis de adubação (AR), estão demonstrados na Figura 7. A exemplo das respostas das variáveis anteriores da soja (MSR, MST e PGV na Tabela 5), as variáveis

NVV e NGV também apresentaram resposta quadrática aos incrementos de níveis de AR na cultura da soja (120 DAE), apresentado PMx de 73,72% AR ($R^2=0,99$) e 86,69% de AR ($R^2=0,89$), respectivamente. De acordo com Peixoto *et al* (2000), o rendimento da soja é uma característica complexa que pode ser decomposta em seus componentes: número de plantas por unidade de área, número de vagens por plantas, número de grãos por vagem e a massa de grãos.

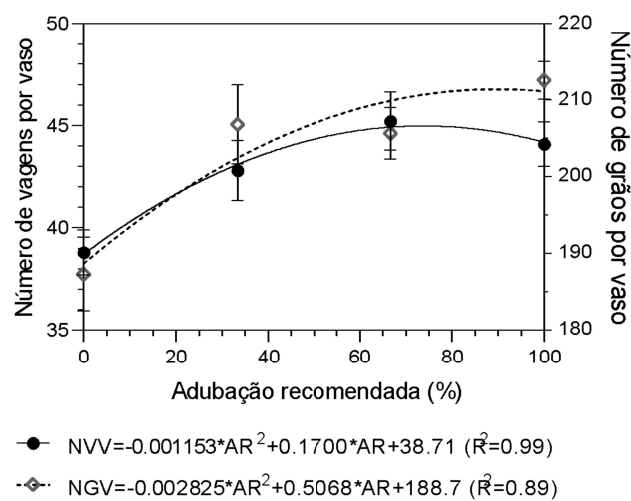


Figura 7. Valores médios de número de vagens por vaso (NVV) e número de grãos por vaso (NGV) na cultura da soja (120 DAE), em função de diferentes níveis de adubação recomendada (0%, 33,4%, 66,7%, 100% %) (NVV- C.V. = 12,53 % e NGV- C.V. = 8,14 %).

Por outro lado, no solo a variável P Mehlich (Figura 8A) e pH $CaCl_2$ (Figura 8B) também foram influenciadas de forma significativa apenas pelos níveis de adubação (AR).

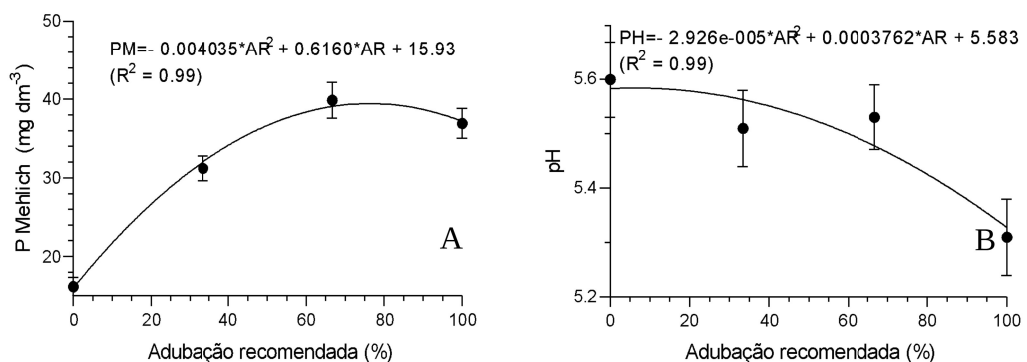


Figura 8. Valores médios de (A) fósforo em Mehlich (mg dm^{-3}) e (B) pH CaCl_2 do solo após a colheita da soja (120 DAE), em função de diferentes níveis de adubação recomendada (0%, 33,4%, 66,7%, 100% %) (P Mehlich - C.V. = 21,73% e pH CaCl_2 - C.V. = 4,71%)

As respostas quadráticas de P Mehlich e pH CaCl_2 do solo apresentaram os seguintes valores de PMx: P Mehlich = 76,33% de AR ($R^2= 0,99$) e pH $\text{CaCl}_2 = 6,43\%$ de AR ($R^2= 0,99$). O aumento de P Mehlich em função do incremento de níveis de AR até 76,33% (Figura 8A) está de acordo com os resultados obtidos para altura de plantas (Figura 2) onde a média dos PMx das respostas quadráticas dos inoculantes testados foi de 74,95% de AR. Da mesma forma, o PMx do P-Mehlich (76,33% de AR) está alinhado com os determinados para NVV (73,72% de AR) e NGV (86,69% de AR) (Figura 5).

Para a variável pH CaCl_2 (Figura 8B) a redução de valores em função do aumento nos níveis de AR pode estar relacionada com o aumento de PGV (Figura 5), NVV e NVG (Figura 6), fazendo que houvesse maior absorção de P Mehlich (Figura 8A) pela soja (Fabaceae) e, conseqüentemente, maior absorção de cátions básicos (K^+ , Mg^{2+} e principalmente Ca^{2+}) (CAIRES & FONSECA, 2000). Tal efeito resulta na redução do pH do solo ocasionada pela protonação de H^+ pelas raízes, inerente ao processo de absorção de nutrientes catiônicos e necessária à manutenção de seu equilíbrio eletroquímico interno (LANGE *et al.*, 2019).

De acordo com os resultados obtidos nas variáveis relacionadas com o desenvolvimento da soja durante o bioensaio, foi possível observar que a cultura respondeu igualmente com redução de até 20% da adubação corretiva sem diminuição significativa na produção de grãos, gerando de forma direta uma redução de custo com fertilizante.

Também pode-se observar que o uso de forma isolada dos inoculantes solubilizadores de P contendo *B. subtilis* e *B. megaterium* (OmsugoTM P) e *R. clarus* (FMA), resultaram no aumento do teor de P-Foliar na soja demonstrando que houve maior absorção do nutriente pela planta. Juntamente foi possível verificar, que o uso de *B. subtilis* e *B. megaterium* (OmsugoTM P) e *R. clarus* em conjunto, geraram efeito adverso onde o *B.subtilis* agiu sobre o

R. clarus. Tendo em vista a importância de novas soluções relacionadas ao assunto, deve-se preconizar novas pesquisas para que sejam avaliadas o uso simultâneo de fungos e bactérias solubilizadoras na agricultura.

CONCLUSÃO

Os resultados obtidos com as variáveis relacionadas com o crescimento/desenvolvimento da soja, demonstraram que há possibilidade de redução da dose de adubação recomendada de sistema/corretiva em torno de 20 %, sem haver redução significativa de produção de grãos da cultura.

O uso de forma isolada dos inoculantes solubilizadores de P contendo *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium* (Omsugo™ P) e *Rhizopagus clarus* (FMA), resultaram no aumento do teor de P-Foliar na soja. Desta forma, não se recomenda o uso conjunto/simultâneo destes inoculantes solubilizadores de P nesta cultura. Novas pesquisas são recomendadas para avaliar (longa duração) o uso simultâneo de inoculantes com fungos e bactérias solubilizadores de P na cultura da soja.

AGRADECIMENTOS

À Cooperativa Coasul Agroindustrial - COASUL (Rio Bonito do Iguaçu-PR), Gebana Brasil (Capanema-PR), Corteva Agriscience™ (RC. Cristiano Colet - Chopinzinho – PR).

REFERÊNCIAS

ALVAREZ, V.H. DIAS, L. E.; JUNIOR, E. S. R.; SOUZA, R. B. DE; FONSECA, C. A. **Métodos de análises de enxofre em solos e plantas**. Viçosa: Editora UFV, 2001. 131p. ISBN: 85-7269-114-6

BINI, D.; LOPEZ, M. V. 1. Transformações microbianas do Fósforo. *In*: CARDOSO, E. J. B. N.; ANDREOTE, F. D.; **Microbiologia do solo**. 2 ed. Piracicaba, SP. ESALQ, 2016 p 149-166. Disponível em: www.livrosabertos.sibi.usp.br/portaldelivrosUSP/catalog/book/109 . Acesso em 7 julho. 2023.

BRITO, V. N.; TELLECHEA, F. R. F.; HEITOR, L.C.; FREITAS, M. S. M.; MARTINS, M. A.; Fungos Micorrízicos Arbusculares e Adubação a Fosfatada na Produção de Mudanças de Paricá. **Ciência Florestal**, v. 27 n. 2 Santa Maria. 2017. Disponível em < <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2005000300005> >

CAIRES, E. F.; FONSECA, A. F. da.; Absorção de Nutrientes Pela Soja Cultivada no Sistema de Plantio Direto em Função da Calagem na Superfície. Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, **Bragantia**, v 59. n 2. Campinas. 2000. Disponível em < <https://doi.org/10.1590/S0006-87052000000200013> >

CARVALHO, F. T. De; NOVAIS, R. F. De; ALVAREZ V. V. H.; BARROS, N. F. De; CANTARUTTI, R. B.; BAHIA FILHO, A. F. C. **Sistema de interpretação de análise de solo para recomendação de NPK para a cultura do milho**. Viçosa, MG. Ceres, v.53, n.306. 2006. Disponível em < <https://locus.ufv.br/handle/123456789/21008> >

CASTEEL, S. N. **Estimating Soybean Yields – Simplified**, University of Purdue - Soybean Station. 2014. 4 p. EXT-INFO 1-888.

CHAGAS JUNIOR A. F.; BRAGA JUNIOR, G. M.; LIMA C. A.; MARTINS, A. L. L.; SOUZA, M. C.; CHAGAS, L. F. B. *Bacillus subtilis* como inoculante promotor de crescimento vegetal em soja. **Diversitas Journal**. Volume 7, Número 1. jan./abr. 2022. Disponível em < <https://doi.org/10.48017/dj.v7i1.2071>>

COSTA, F. M.; SANTOS, G. M.; BARRETO, M. C. V.; VIÉGAS, P. R. A.; MARINO, R. H.; Crescimento de Milho Crioulo Cultivado Com Fungos Micorrízicos Arbusculares. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**. v.13, n.3, p.983-1000 Maringá, PR. 2020. Disponível em < <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2020v13n3p983-1000> >

CRUZ, C. D. **Programa Genes - Análise multivariada e simulação**. 1. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2006. v. 1. 175 p. ISBN: 8572692487.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Elementos Requeridos à Nutrição de Plantas. *In*: NOVAIS, R.F.; ALVARES, V. H.; BARROS, N. F. DE.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do Solo**. 1a. ed. Viçosa, MG: SBCS, 2007. p. 91-132. ISBN – 978-85-86504-08-2.

EMBRAPA - Solos, **Sistema Brasileiro de classificação de solos**. 5a ed., Brasília: EMBRAPA Solos, 2018. 356p. ISBN: 978-85-7035-817-2.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Embrapa Solos, Embrapa Informática Agropecuária, 2ª Edição, Editor Técnico Fábio César da Silva. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2009. 627p. ISBN: 978-85-7383-430-7.

KUPPER K. C.; CERVANTES A. L. L.; KLEIN M. N.; SILVA A. C. da Avaliação de microrganismos antagonísticos, *Saccharomyces cerevisiae* e *Bacillus subtilis* para o controle de *Penicillium digitatum*. **Revista Brasileira de Fruticultura**. 35 (2). 2013. Disponível em <<https://doi.org/10.1590/S0100-29452013000200011>>

LANGE, A.; ZANDONADI, R. S.; GOBBI, F. C. Distribuição horizontal da fertilidade do solo em sistemas de tráfego controlado com fertilização em linha. **Nativa**, Sinop, v. 7, n. 3, p. 251-255, 2019. Disponível em <DOI: <https://doi.org/10.31413/nativa.v7i3.7639>>

LAZZARETTI E.; BETTIOL W.; Tratamento de Sementes de Arroz, Trigo, Feijão e Soja com Produto Formulado à Base de Células e de Metabólitos de *Bacillus subtilis*. **Scientia Agrícola**. Piracicaba, Brasil 54 (1-2). Jan 1997. Disponível em <<https://doi.org/10.1590/S0103-90161997000100013>>.

MARINEZ, H. E. P.; LUCENA, J. J.; BONILLA, I.; **Relações solo planta: Bases Para a Nutrição e Produção Vegetal**. 1. ed. 307p. Viçosa, MG: UFV, 2021. ISBN: 9786559250196
MONTINO S. P.; Uso do *Bacillus subtilis* Como Agente de Biocontrole de Fitopatógenos da Cultura de Soja. **Revista Multidisciplinar de Educação e Meio Ambiente**, 2(3), 14. 2021. Disponível em <<https://doi.org/10.51189/rema/1338>>.

NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados nos desempenhos das plântulas. In: KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B. (Ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: Abrates, 1999. p. 2-24. DOI: 10.1590/S0101-31222007000200012.

OLIVEIRA-PAIVA, C. A.; MARRIEL, I. E., GOMES, E. A., COTA, L. V., SANTOS, F. C., SOUSA, S. M., LANA, U. G. de P., OLIVEIRA, M. C., MATTOS, B. B., ALVES, V. M. C., RIBEIRO, V. P., VASCO JUNIOR, R. **Recomendação agrônômica de cepas de *Bacillus subtilis* (CNPMS B2084) e *Bacillus megaterium* (CNPMS B119) na cultura do milho**. Embrapa Milho e Sorgo. Sete Lagoas, MG. 2020. 18p. Disponível em <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicações/-/publicação/1120362/recomendacao-agronomica-de-cepas-de-bacillus-subtilis-cnpms-b2084-e-bacillus-megaterium-cnpms-b119-na-cultura-do-milho>>

PEIXOTO C. P.; CÂMARA G. M. de S.; MARTINS M. C.; MARCHIORI L. F. S.; GUERZONI R. A.; MATTIAZZI P.; Épocas de semeadura e densidade de plantas de soja: I. Componentes da produção e rendimento de grãos. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" USP/ESALQ - **Scientia Agrícola**, v.57, n.1, p.89-96, 2000. Piracicaba, SP, Brasil. Disponível em <<https://doi.org/10.1590/S0103-90162000000100015>>

RAIJ, B.; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, p. 300. 2001. Disponível em < lab.iac.sp.gov.br/Publicacao/Raij_et_al_2001_Metod_Anal_IAC.pdf >

RICHARDSON, A.E.; HADOBAS, P.A.; HAYES, J.E. Extracellular secretion of *Aspergillus* phytase from *Arabidopsis* roots enables plants to obtain phosphorus from phytate. **Plant Journal**, Oxford, v. 25, 2001. Disponível em < 10.1046/j.1365-313x.2001.00998.x >

RODRÍGUEZ, H.; FRAGA, R. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. **Biotechnology Advances**, New York, v. 17, 1999. Disponível em < 10.1016/s0734-9750(99)00014-2 >

SCOTT A. J.; KNOTT M. A.; A Cluster Analysis Method For Grouping Means in The Analysis of Variance. **Biometrics**, Washington, v. 30, p. 507-512, Sept. 1974. <https://doi.org/10.2307/2529204>. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/2529204>.

SILVA JUNIOR R. A. da.; **Coinoculação de Microrganismos Benéficos em Sementes de Soja com Diferentes Níveis de Vigor**. 2019. 78 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) p.97 - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2019. Disponível em <<https://locus.ufv.br/handle/123456789/28844>>.

SOUSA, D, M, G, de; LOBATO, E; Cerrado: correção do solo e adubação. EMBRAPA informação tecnológica. 2 ed. 416p. Brasília, DF, 2004. ISBN: 8573832304. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/222588/1/Cerrado-Correcao-solo-adubacao-ed-02-8a-impressao-2017.pdf>

SOUSA, S. M. de; OLIVEIRA, C. A. de; ANDRADE, D. L.; CARVALHO, C. G. de; RIBEIRO, V. P.; PASTINA, M. M.; MARRIEL, I. E.; LANA, U. G. de P.; GOMES, E. A.; Tropical Bacillus Strains Inoculation Enhances Maize Root Surface Area, Dry Weight, Nutrient Uptake and Grain Yield. **Journal of Plant** 40. 2021 p.867-877 < <https://doi.org/10.1007/s00344-020-10146-9>>

VALADARES, R. B. DA. S.; MESCOLOTTI, D. LC.; CARDOSO, E.JBN.; Micorrizas. in CARDOSO, E. J. B. N.; ANDREOTE, F. D.; **Microbiologia do solo**. 2 ed. Piracicaba, SP. ESALQ, 2016 p. 179-198. Disponível em: www.livrosabertos.sibi.usp.br/portaldelivrosUSP/catalog/book/109 . Acesso em 7 julho. 2023.

ZAVASCHI, E.; FARIA, L. de A.; FERRAZ-ALMEIDA, R.; NASCIMENTO, C. A. C. do; PAVINATO, P. S.; OTTO, R.; VITTI, A. C.; VITTI, G. C. V. Dynamic of P Flux in Tropical Acid Soils Fertilized with Humic Acid-Complexed Phosphate; **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, Piracicaba. v.20, p.1937-1948, 2020. <<https://doi.org/10.1007/s42729-020-00265-3>>