

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

**INOCULAÇÃO COM *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium* ASSOCIADA ÀS
DOSES DE FÓSFORO NA SUCESSÃO SOJA E MILHO EM SOLO ARGILOSO
E ARENOSO**

LUCAS DE ALMEIDA RIZZATO

DOURADOS

MATO GROSSO DO SUL

2022

**INOCULAÇÃO COM *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium* ASSOCIADA ÀS
DOSES DE FÓSFORO NA SUCESSÃO SOJA E MILHO EM SOLO ARGILOSO
E ARENOSO**

LUCAS DE ALMEIDA RIZZATO

Engenheiro Agrônomo

Orientadora: PROFA. DRA. ELISÂNGELA DUPAS

Coorientador: DR. DOUGLAS GITTI

Dissertação apresentada à Universidade Federal
da Grande Dourados, como parte das exigências
do Programa de Pós-Graduação em Agronomia
– Produção Vegetal, para obtenção do título de
Mestre.

Dourados

Mato Grosso do Sul

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

R627i Rizzato, Lucas De Almeida

INOCULAÇÃO COM *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium* ASSOCIADA ÀS DOSES DE FÓSFORO NA SUCESSÃO SOJA E MILHO EM SOLO ARGILOSO E ARENOSO [recurso eletrônico] / Lucas De Almeida Rizzato. -- 2023.

Arquivo em formato pdf.

Orientadora: Elisângela Dupas.

Coorientador: Douglas Gitti.

Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Universidade Federal da Grande Dourados, 2022.

Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:

<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

1. Bactérias solubilizadoras de fosfato. 2. Bioeconomia. 3. Diagnose foliar. 4. *Glycine max* L. 5. *Zea mays* L. I. Dupas, Elisângela. II. Gitti, Douglas. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.

**INOCULAÇÃO COM *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium* ASSOCIADA ÀS DOSES
DE FÓSFORO NA SUCESSÃO SOJA E MILHO EM SOLO ARGILOSO E
ARENOSO**

Por

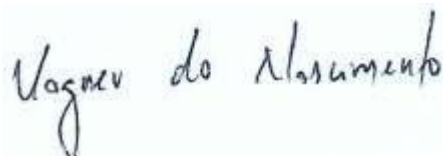
LUCAS DE ALMEIDA RIZZATO

Dissertação apresentada como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de
MESTRE EM AGRONOMIA

Aprovado em: 02 de setembro de 2022.

Profa. Dra. Elisângela Dupas
Orientadora - UFGD/FCA

Profa. Dra. Alessandra Mayumi Tokura Alovisei
UFGD/FCA



Prof. Dr. Vagner do Nascimento
UNESP/FCAT

AGRADECIMENTOS

Um trabalho de mestrado é uma trajetória permeada por grandes desafios, tristezas, incertezas, alegrias e muitos obstáculos durante o caminho, mas apesar das dificuldades durante o processo reúne contributos de várias pessoas, indispensáveis para encontrar o melhor rumo em cada momento da caminhada. Trilhar este caminho só foi possível com o apoio, energia e força de várias pessoas, a quem dedico especialmente este projeto de vida.

Especialmente à minha orientadora, Professora Doutora Elisângela Dupas, que sempre acreditou em mim, agradeço a orientação exemplar pautada por um elevado e rigoroso nível científico, um interesse permanente e fecundo, uma visão crítica e oportuna, um empenho incedível e saudavelmente exigente, os quais contribuíram para enriquecer, com grande dedicação, passo por passo, todas as etapas subjacentes ao trabalho realizado.

Ao meu coorientador, Pesquisador Doutor Douglas de Castilho Gitti e toda equipe do setor de fertilidade e manejo do solo da Fundação MS que nunca mediram esforços para que as atividades e avaliações de campo fossem realizadas.

A meus amigos pesquisadores, André Ricardo Bezerra, Luciano Del Bem Junior e Ana Cláudia, agradeço o apoio na leitura do trabalho, análise estatística como também pela motivação incondicional que ajudou a tornar este trabalho uma válida e agradável experiência de aprendizagem.

Aos meus pais Antônio Geral Rizzato e Eunice Aurora de Almeida Rizzato, meu irmão Otávio de Almeida Rizzato e todos os familiares que mesmo distante sempre acreditaram e apoiaram para que essa trajetória fosse concluída.

Aos meus amigos, Felipe Rosa, Marcelo Furian Cossetin e Guilherme Mochi pelos conselhos preciosos, pela motivação e pela total disponibilidade e encorajamento naqueles momentos cruciais desta difícil jornada.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	132
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3. MATERIAL E METODOS	21
3.1. LOCAL DE CONDUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS AMBIENTES	21
3.2. TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	21
3.3. AVALIAÇÕES	23
3.3.1. ATRIBUTOS QUÍMICOS E FRACIONAMENTO DE P NO SOLO	23
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
5. CONCLUSÃO	52
6. REFERÊNCIAS	53

INOCULAÇÃO COM *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium* ASSOCIADA ÀS DOSES DE FÓSFORO NA SUCESSÃO SOJA E MILHO EM SOLO ARGILOSO E ARENOSO

RESUMO - Objetivou-se avaliar a inoculação com *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium*, associada às doses de fósforo (P) na sucessão soja e milho em solo argiloso e arenoso, determinando o fracionamento do P no solo (somente para solo argiloso), a concentração de macro e micronutrientes nas folhas diagnósticas, os componentes de produção e a produtividade de grãos de soja e milho em sucessão. Os experimentos foram conduzidos em condições de campo em dois municípios: Maracaju – MS (solo argiloso), e em Naviraí – MS (solo arenoso) em área comercial. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados no esquema fatorial 5x2, correspondente a cinco doses de adubação fosfatada no milho safrinha (0, 25, 50, 75 e 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅), utilizando superfosfato triplo, combinados com ausência e presença da inoculação de cepas de *B. subtilis* e *B. megaterium* em 4 repetições. Para a semeadura da soja em sucessão no município de Maracaju, foi utilizada a cultivar M6410 IPRO, já no município de Naviraí a variedade usada foi a M6210 IPRO. No milho safrinha 2020 cultivado em Maracaju – MS, a inoculação não alterou as concentrações foliares dos macronutrientes na cultura nem os componentes produtivos e, o P-CaCl₂ reduziu com a inoculação das sementes. O cultivo da soja safra 20/21, nesta mesma localidade só alterou o número de vagens por planta e altura com aumento na concentração foliar de P. Na safrinha de 2021 em Maracaju – MS, o milho teve o número de grãos por fileira e a produtividade melhorados com o uso isolado de 90,7 kg ha⁻¹ de P₂O₅. O milho safrinha cultivado em Naviraí – MS apresentou maiores teores de N e P foliar, sem alteração nos componentes produtivos. O milho safrinha 2021 cultivado em Maracaju – MS concentrou mais N devido a interação bactérias solubilizadoras de P x doses de P₂O₅, mas, sem resultados positivos nos componentes produtivos. A soja cultivada em Naviraí na safra 20/21, concentrou mais P foliar com redução no número de vagens por planta. Foi verificado baixa resposta ao tratamento de sementes com *Bacillus* para o uso de doses crescentes de P, já que, os teores de P observados nas análises químicas de solo apresentaram teores adequados.

Palavras-chave: Bactérias solubilizadoras de fosfato, Bioeconomia, Diagnose foliar, *Glycine max* L, *Zea mays* L

INOCULATION WITH *Bacillus subtilis* and *Bacillus megaterium* ASSOCIATED WITH PHOSPHORUS DOSES IN SOYBEAN AND CORN SUCCESSION IN CLAY AND SAND SOIL

ABSTRACT - The objective was to evaluate the inoculation with *Bacillus subtilis* and *Bacillus megaterium*, associated with the doses of phosphorus (P) in the soybean and corn succession in clayey and sandy soil, determining the fractionation of P in the soil (only for clayey soil), the concentration of macro and micronutrients in diagnostic leaves, production components and yield of soybean and corn in succession. The experiments were carried out under field conditions in two municipalities: Maracaju – MS (clay soil), and in Naviraí – MS (sandy soil) in a commercial area. The experimental design used was in randomized blocks in a 5^x2 factorial scheme, corresponding to five doses of phosphate fertilization in off-season corn (0, 25, 50, 75 and 100 kg ha⁻¹ of P₂O₅), using triple superphosphate, combined with absence and presence of inoculation of *B. subtilis* and *B. megaterium* strains in 4 replications. For the sowing of soybeans in succession in the municipality of Maracaju, the cultivar M6410 IPRO was used, while in the municipality of Naviraí the variety used was the M6210 IPRO. In 2020 safrinha corn grown in Maracaju - MS, inoculation did not change the foliar concentrations of macronutrients in the crop or the productive components and P-CaCl₂ reduced with seed inoculation. The cultivation of soybean crop 20/21, in this same location, only changed the number of pods per plant and height with an increase in foliar P content. productivity, improved with the isolated use of 90.7 kg ha⁻¹ of P₂O₅. The off-season corn cultivated in Naviraí - MS showed higher levels of N and P in the leaves, with no change in the productive components, interaction of P-solubilizing bacteria x P₂O₅ doses. The 2021 off-season corn grown in Maracaju - MS concentrated more N due to the interaction of P-solubilizing bacteria x P₂O₅ doses, but without positive results in the productive components. Soybean cultivated in Naviraí in the 2020/21 crop, concentrated more P in leaves with a reduction in the number of pods per plant. A low response to the treatment of seeds with *Bacillus* was verified for the use of increasing doses of P, since the levels of P observed in the chemical analyzes of the soil showed adequate levels.

Keywords: Bioeconomy, *Glycine max* L, Leaf nutrient diagnosis, Phosphate solubilizing bacteria, *Zea may* L.

LISTA DE QUADROS

Páginas

FIGURA 1. CRONOLOGIA DA CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO NA REGIÃO DE MARACAJU – MS.	22
FIGURA 2. CRONOLOGIA DA CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO NA REGIÃO DE NAVIRAÍ - MS.	23
QUADRO 1. FRACIONAMENTO DE FÓSFORO OBTIDO EM TRATAMENTOS COM A INOCULAÇÃO DE BACTÉRIAS SOLUBILIZADORAS DE P ASSOCIADA ÀS DOSES DE FÓSFORO (P ₂ O ₅) NO SULCO DE SEMEADURA DO MILHO SAFRINHA. MARACAJU, MS, 2020.	26
QUADRO 2. NÚMERO DE GRÃOS POR FILEIRA, NÚMERO DE FILEIRAS POR ESPIGA, POPULAÇÃO FINAL DE PLANTAS, MASSA DE 100 GRÃOS E PRODUTIVIDADE DO MILHO INOCULADO COM BACTÉRIAS SOLUBILIZADORAS DE FÓSFORO ASSOCIADAS ÀS DOSES DE FÓSFORO (P ₂ O ₅) NO SULCO DE SEMEADURA DO MILHO SAFRINHA. MARACAJU, MS, 2020.	28
QUADRO 3. FRACIONAMENTO DE FÓSFORO OBTIDOS NA CULTURA DA SOJA EM TRATAMENTOS COM A INOCULAÇÃO DE BACTÉRIAS SOLUBILIZADORAS DE P ASSOCIADA ÀS DOSES DE FÓSFORO (P ₂ O ₅) NO SULCO DE SEMEADURA DO MILHO SAFRINHA. MARACAJU, MS, 2020/21.	29
QUADRO 4. CONCENTRAÇÃO FOLIAR DE MACRONUTRIENTES NA CULTURA DA SOJA OBTIDOS EM TRATAMENTOS COM A INOCULAÇÃO DE BACTÉRIAS SOLUBILIZADORAS DE P ASSOCIADA ÀS DOSES DE FÓSFORO (P ₂ O ₅) NO SULCO DE SEMEADURA DO MILHO SAFRINHA. MARACAJU, MS, 2020/21.	30
QUADRO 5. DESDOBRAMENTO DA INTERAÇÃO ENTRE A INOCULAÇÃO DE BACTÉRIAS SOLUBILIZADORAS DE P ASSOCIADA ÀS DOSES DE FÓSFORO (P ₂ O ₅) NO SULCO DE SEMEADURA DO MILHO SAFRINHA NA CONCENTRAÇÃO FOLIAR DE ENXOFRE DA CULTURA DA SOJA. MARACAJU, MS, 2020/21.	30
QUADRO 6. CONCENTRAÇÃO FOLIAR DE MICRONUTRIENTES NA SOJA OBTIDOS EM TRATAMENTOS COM A INOCULAÇÃO DE BACTÉRIAS	

SOLUBILIZADORAS DE P ASSOCIADA ÀS DOSES DE FÓSFORO (P ₂ O ₅) NO SULCO DE SEMEADURA DO MILHO SAFRINHA. MARACAJU, MS, 2020/21.	31
QUADRO 7. DESDOBRAMENTO DA INTERAÇÃO ENTRE A INOCULAÇÃO DE BACTÉRIAS SOLUBILIZADORAS DE P ASSOCIADA ÀS DOSES DE FÓSFORO (P ₂ O ₅) NO SULCO DE SEMEADURA DO MILHO SAFRINHA NA CONCENTRAÇÃO FOLIAR DE COBRE DA CULTURA DA SOJA SUCESSORA. MARACAJU, MS, 2020/21.....	32
QUADRO 8. DESDOBRAMENTO DA INTERAÇÃO ENTRE A INOCULAÇÃO DE BACTÉRIAS SOLUBILIZADORAS DE P ASSOCIADA ÀS DOSES DE FÓSFORO (P ₂ O ₅) NO SULCO DE SEMEADURA DO MILHO SAFRINHA NA CONCENTRAÇÃO FOLIAR DE BORO DA CULTURA DA SOJA SUCESSORA. MARACAJU, MS, 2020/21.....	32
QUADRO 9. NÚMERO DE GRÃOS POR PLANTA, NÚMERO DE VAGENS POR PLANTA, ALTURA FINAL, POPULAÇÃO FINAL, MASSA DE 100 GRÃOS E PRODUTIVIDADE DE SOJA, OBTIDOS EM TRATAMENTOS COM A INOCULAÇÃO DE BACTÉRIAS SOLUBILIZADORAS DE P ASSOCIADA ÀS DOSES DE FÓSFORO (P ₂ O ₅) NO SULCO DE SEMEADURA DO MILHO SAFRINHA. MARACAJU, MS, 2020/21.....	33
QUADRO 10. CONCENTRAÇÃO FOLIAR DE MACRONUTRIENTES NO MILHO OBTIDOS EM TRATAMENTOS COM A INOCULAÇÃO DE BACTÉRIAS SOLUBILIZADORAS DE P ASSOCIADA ÀS DOSES DE FÓSFORO (P ₂ O ₅) NO SULCO DE SEMEADURA DO MILHO SAFRINHA. MARACAJU, MS, 2021.	35
QUADRO 11. DESDOBRAMENTO DA INTERAÇÃO ENTRE A INOCULAÇÃO DE BACTÉRIAS SOLUBILIZADORAS DE P ASSOCIADA ÀS DOSES DE FÓSFORO (P ₂ O ₅) NO SULCO DE SEMEADURA DO MILHO SAFRINHA NA CONCENTRAÇÃO FOLIAR DE ENXOFRE. MARACAJU, MS, 2021.....	35
QUADRO 12. CONCENTRAÇÃO FOLIAR DE MICRONUTRIENTES NO MILHO OBTIDOS EM TRATAMENTOS COM A INOCULAÇÃO DE BACTÉRIAS SOLUBILIZADORAS DE P ASSOCIADA ÀS DOSES DE FÓSFORO (P ₂ O ₅) NO SULCO DE SEMEADURA DO MILHO SAFRINHA. MARACAJU, MS, 2021.	36
QUADRO 13. DESDOBRAMENTO DA INTERAÇÃO ENTRE A INOCULAÇÃO DE BACTÉRIAS SOLUBILIZADORAS DE P ASSOCIADA ÀS DOSES DE	

FÓSFORO (P ₂ O ₅) NO SULCO DE SEMEADURA DO MILHO SAFRINHA NA CONCENTRAÇÃO FOLIAR DE FERRO. MARACAJU, MS, 2021.....	37
QUADRO 14. POPULAÇÃO FINAL, NÚMERO DE FILEIRA POR ESPIGA E GRÃOS POR FILEIRA, MASSA DE 100 GRÃOS E PRODUTIVIDADE, OBTIDOS EM TRATAMENTOS COM A INOCULAÇÃO DE BACTÉRIAS SOLUBILIZADORAS DE P ASSOCIADA ÀS DOSES DE FÓSFORO (P ₂ O ₅) NO SULCO DE SEMEADURA DO MILHO SAFRINHA. MARACAJU, MS, 2021.	37
QUADRO 15. CONCENTRAÇÃO FOLIAR DE MACRONUTRIENTES NO MILHO OBTIDOS EM TRATAMENTOS COM A INOCULAÇÃO DE BACTÉRIAS SOLUBILIZADORAS DE P ASSOCIADA ÀS DOSES DE FÓSFORO (P ₂ O ₅) NO SULCO DE SEMEADURA DO MILHO SAFRINHA. NAVIRAÍ, MS, 2020.....	38
QUADRO 16. DESDOBRAMENTO DA INTERAÇÃO ENTRE A INOCULAÇÃO DE BACTÉRIAS SOLUBILIZADORAS DE P ASSOCIADA ÀS DOSES DE FÓSFORO (P ₂ O ₅) NO SULCO DE SEMEADURA DO MILHO SAFRINHA NA CONCENTRAÇÃO FOLIAR DE NITROGÊNIO DA CULTURA DO MILHO. NAVIRAÍ, MS, 2020.....	39
QUADRO 17. DESDOBRAMENTO DA INTERAÇÃO ENTRE A INOCULAÇÃO DE BACTÉRIAS SOLUBILIZADORAS DE P ASSOCIADA ÀS DOSES DE FÓSFORO (P ₂ O ₅) NO SULCO DE SEMEADURA DO MILHO SAFRINHA NA CONCENTRAÇÃO FOLIAR DE FÓSFORO DA CULTURA DO MILHO. NAVIRAÍ, MS, 2020.....	40
QUADRO 18. CONCENTRAÇÃO FOLIAR DE MICRONUTRIENTES NO MILHO OBTIDOS EM TRATAMENTOS COM A INOCULAÇÃO DE BACTÉRIAS SOLUBILIZADORAS DE P ASSOCIADA ÀS DOSES DE FÓSFORO (P ₂ O ₅) NO SULCO DE SEMEADURA DO MILHO SAFRINHA. NAVIRAÍ, MS, 2020.....	40
QUADRO 19. DESDOBRAMENTO DA INTERAÇÃO ENTRE A INOCULAÇÃO DE BACTÉRIAS SOLUBILIZADORAS DE P ASSOCIADA ÀS DOSES DE FÓSFORO (P ₂ O ₅) NO SULCO DE SEMEADURA DO MILHO SAFRINHA NA CONCENTRAÇÃO FOLIAR DE BORO DA CULTURA DO MILHO. NAVIRAÍ, MS, 2020.....	41
QUADRO 20. NÚMERO DE GRÃOS POR FILEIRA E FILEIRA POR ESPIGA, POPULAÇÃO FINAL, MASSA DE 100 GRÃOS E PRODUTIVIDADE, OBTIDOS EM TRATAMENTOS COM A INOCULAÇÃO DE BACTÉRIAS	

SOLUBILIZADORAS DE P ASSOCIADA ÀS DOSES DE FÓSFORO (P ₂ O ₅) NO SULCO DE SEMEADURA DO MILHO SAFRINHA. NAVIRAÍ, MS, 2020.	42
QUADRO 21. CONCENTRAÇÃO FOLIAR DE MACRONUTRIENTES NA SOJA OBTIDOS EM TRATAMENTOS COM A INOCULAÇÃO DE BACTÉRIAS SOLUBILIZADORAS DE P ASSOCIADA ÀS DOSES DE FÓSFORO (P ₂ O ₅) NO SULCO DE SEMEADURA DO MILHO SAFRINHA. NAVIRAÍ, MS, 2020/21.	43
QUADRO 22. DESDOBRAMENTO DA INTERAÇÃO ENTRE A INOCULAÇÃO DE BACTÉRIAS SOLUBILIZADORAS DE P ASSOCIADA ÀS DOSES DE FÓSFORO (P ₂ O ₅) NO SULCO DE SEMEADURA DO MILHO SAFRINHA NA CONCENTRAÇÃO FOLIAR DE NITROGÊNIO DA CULTURA DA SOJA SUCESSORA. NAVIRAÍ, MS, 2020/21.	44
QUADRO 23. CONCENTRAÇÃO FOLIAR DE MICRONUTRIENTES NA SOJA OBTIDOS EM TRATAMENTOS COM A INOCULAÇÃO DE BACTÉRIAS SOLUBILIZADORAS DE P ASSOCIADA ÀS DOSES DE FÓSFORO (P ₂ O ₅) NO SULCO DE SEMEADURA DO MILHO SAFRINHA. NAVIRAÍ, MS, 2020/21.	45
QUADRO 24. NÚMERO DE GRÃOS POR PLANTA, NÚMERO DE VAGENS POR PLANTA, ALTURA FINAL, POPULAÇÃO FINAL, MASSA DE 100 GRÃOS E PRODUTIVIDADE DE SOJA, OBTIDOS EM TRATAMENTOS COM A INOCULAÇÃO DE BACTÉRIAS SOLUBILIZADORAS DE P ASSOCIADA ÀS DOSES DE FÓSFORO (P ₂ O ₅) NO SULCO DE SEMEADURA DO MILHO SAFRINHA. NAVIRAÍ, MS, 2020.	46
QUADRO 25. DESDOBRAMENTO DA INTERAÇÃO ENTRE A INOCULAÇÃO DE BACTÉRIAS SOLUBILIZADORAS DE P ASSOCIADA ÀS DOSES DE FÓSFORO (P ₂ O ₅) NO SULCO DE SEMEADURA DO MILHO SAFRINHA NO NÚMERO DE VAGENS POR PLANTA NA CULTURA DA SOJA SUCESSORA. NAVIRAÍ, MS, 2020/21.	47
QUADRO 26. TEOR FOLIAR DE MACRONUTRIENTES NO MILHO OBTIDOS EM TRATAMENTOS COM A INOCULAÇÃO DE BACTÉRIAS SOLUBILIZADORAS DE P ASSOCIADA ÀS DOSES DE FÓSFORO (P ₂ O ₅) NO SULCO DE SEMEADURA DO MILHO SAFRINHA. NAVIRAÍ, MS, 2021.	48
QUADRO 27. DESDOBRAMENTO DA INTERAÇÃO ENTRE A INOCULAÇÃO DE BACTÉRIAS SOLUBILIZADORAS DE P ASSOCIADA ÀS DOSES DE FÓSFORO (P ₂ O ₅) NO SULCO DE SEMEADURA DO MILHO SAFRINHA NA	

CONCENTRAÇÃO FOLIAR DE NITROGÊNIO DA CULTURA DO MILHO. NAVIRAÍ, MS, 2020.	48
QUADRO 28. CONCENTRAÇÃO FOLIAR DE MICRONUTRIENTES NO MILHO OBTIDOS EM TRATAMENTOS COM A INOCULAÇÃO DE BACTÉRIAS SOLUBILIZADORAS DE P ASSOCIADA ÀS DOSES DE FÓSFORO (P ₂ O ₅) NO SULCO DE SEMEADURA DO MILHO SAFRINHA. NAVIRAÍ, MS, 2021.....	49
QUADRO 29. DESDOBRAMENTO DA INTERAÇÃO ENTRE A INOCULAÇÃO DE BACTÉRIAS SOLUBILIZADORAS DE P ASSOCIADA ÀS DOSES DE FÓSFORO (P ₂ O ₅) NO SULCO DE SEMEADURA DO MILHO SAFRINHA NA CONCENTRAÇÃO FOLIAR DE COBRE DA CULTURA DO MILHO. NAVIRAÍ, MS, 2020.	50
QUADRO 30. NÚMERO DE FILEIRA POR ESPIGA E GRÃOS POR FILEIRA, MASSA DE 100 GRÃOS E PRODUTIVIDADE, OBTIDOS EM TRATAMENTOS COM A INOCULAÇÃO DE BACTÉRIAS SOLUBILIZADORAS DE P ASSOCIADA ÀS DOSES DE FÓSFORO (P ₂ O ₅) NO SULCO DE SEMEADURA DO MILHO SAFRINHA. NAVIRAÍ, MS, 2021.	50

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. CRONOLOGIA DA CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO NA REGIÃO DE MARACAJU – MS.	22
FIGURA 2. CRONOLOGIA DA CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO NA REGIÃO DE NAVIRAÍ - MS.	23
FIGURA 3. FLUXOGRAMA DO MÉTODO DE FRACIONAMENTO DO FÓSFORO. FONTE: GATIBONI; CONDRON (2021).	24

1. INTRODUÇÃO

A soja e o milho são as duas principais culturas de grãos do Brasil, com as maiores produções na região Centro-Oeste, garantindo ao estado do Mato Grosso do Sul posição de destaque no cenário nacional. A safra de grãos 2020/21, de acordo com dados da CONAB (2019), teve crescimento total na produção de 6%, com volume estimado em 272,3 milhões de toneladas, 15,4 milhões de toneladas a mais do que em 2019/20.

Para o milho a previsão é de uma produção total recorde, com a possibilidade de superar em 5,4% a safra 2019/20 e atingir mais de 108 milhões de toneladas. O volume histórico deve-se à participação assim distribuída: 23,5 milhões de toneladas na primeira safra, 82,8 milhões na segunda e 1,8 milhão na terceira safra.

No caso da soja, também existe uma tendência de crescimento na área cultivada. Na safra 2022/2023, há possibilidade de crescer 4,1% em relação ao ciclo passado, com área de 38,5 milhões de hectares e produção de 135,1 milhões de toneladas.

Esse incremento na produtividade está relacionado entre outros fatores, a incorporação de tecnologias ao processo de produção, a agricultura de precisão, além do manejo adequado de corretivos e fertilizantes (especialmente os fertilizantes que contêm fósforo (P)). No entanto, deve-se destacar que as aplicações indiscriminadas e excessivas de fertilizantes químicos fosfatados, em solos com teores adequados desse nutriente, podem ter efeitos negativos sobre a sustentabilidade da agricultura e a segurança do solo (SANTOS, 2008).

Destaca-se ainda que os fertilizantes fosfatados são encontrados em rochas que estão distribuídas de forma desigual nos continentes. Isso pode levar a sérios riscos geopolíticos e à concentração de mercado, podendo restringir sua disponibilidade no futuro. Atualmente, apenas alguns países detêm 95% das reservas, sendo 72% delas no Marrocos. Com o passar dos anos e o crescimento da população, a produção de alimento será maior, elevando a demanda pelo nutriente, e se não houver alternativas para melhorar aproveitamento do P, irá ocorrer o adiantamento do esgotamento das reservas de rochas fosfáticas, queda na qualidade produto, somado ao aumento de custos destes produtos (DESMIDT, 2015).

No Brasil, as rochas fosfáticas fornecem quantidades limitadas de P devido à baixa solubilidade de P da rocha ígnea. Estudos e prospecção geológica identificaram que existem excelentes rochas fosfáticas no Brasil, mas, questões logísticas, ambientais e fiscais dificultam que essas reservas sejam exploradas (OTT, 2017).

Quando se aplica uma fonte solúvel de fósforo em determinado solo, cerca de 90% do total aplicado é adsorvido, desse modo, para que as plantas tenham adequada absorção de P, crescimento e produtividade das culturas e elevada eficiência dos fertilizantes fosfatados, é necessário manejo adequado permitindo que as raízes tenham fácil acesso a este nutriente (ANGHINONI; BARBER, 1980).

Solos de textura arenosa apresentam maiores deficiências de fósforo e matéria orgânica. Isto ocorre, porque estes solos apresentam em média 70% de sua composição teores de areia, o que os tornam altamente permeáveis, com baixa capacidade de retenção de água, baixos teores de matéria orgânica e adsorção de íons (BRADY; WEIL, 2013).

Diante do exposto, são necessárias alternativas para que os agricultores possam garantir rendimentos competitivos, para manter disponível esse estoque de nutrientes dos solos (KHAN et al., 2010). Dentre as alternativas vem se explorando a utilização de microrganismos solubilizadores de P, que podem contribuir na liberação do P diante da reserva presente no solo (GADD, 1999; WITHELAN, 2000).

Alguns inoculantes contêm as estirpes *Bacillus subtilis* (CNPMS B2084) e *B. megaterium* (CNPMS B119). Essas bactérias solubilizadoras de fósforo (BSP) são capazes de aumentar a eficiência do uso de P para as plantas, o que pode resultar no aumento da produtividade e, no futuro, na utilização de menores doses de fertilizantes fosfatados. Estas duas estirpes foram isoladas de áreas agrícolas distintas no País, onde prevalece o cultivo de cereais (OLIVEIRA-PAIVA et al., 2020; ABREU et al., 2017).

Neste sentido, objetivou-se avaliar a inoculação do *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium*, associada às doses de P, na sucessão soja e milho safrinha, em solo argiloso e arenoso, determinando o fracionamento do P no solo, a concentração de macro e micronutrientes nas folhas, os componentes de produção e a produtividade de grão de soja e milho em sucessão.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Dinâmica do fósforo em texturas de solo

No solo, as formas moleculares do P variam, da mesma forma que sua dinâmica em função do tipo de solo, porém, basicamente, o nutriente coexiste nas formas orgânica e inorgânica. A porção orgânica é representada pelo nutriente imobilizado em tecidos vegetais, microrganismos e demais estruturas orgânicas como fosfoproteínas, ácidos nucleicos, fosfolipídeos e, majoritariamente, fosfatos de inositol. Em nível molecular, o P orgânico se encontra predominantemente na forma de ortofosfato de monoésteres (R-OPO₃), enquanto seu conteúdo pode variar de menos de 20% até valores próximos a 80% do conteúdo total de P no solo (SANTOS, 2008; ROSSI, 2013).

A relação entre a textura do solo e dinâmica do fósforo é um ponto muito importante a ser levado em consideração quando se pensa na disponibilidade do elemento para as plantas. Os solos de textura arenosa apresentam maiores deficiências de matéria orgânica e de fósforo. Isto ocorre, porque estes solos apresentam em média 70% de sua composição teores de areia, o que os tornam altamente permeáveis, com baixa capacidade de retenção de água, baixos teores de matéria orgânica e adsorção de íons (BRADY; WEIL, 2013). A baixa adsorção do P não é muito boa, pois pode ocorrer a perda deste nutriente por lixiviação.

Devido o Fósforo, considerado um nutriente essencial para as plantas e se encontrar em baixa quantidade nos solos brasileiros (NOVAIS; SMYTH, 1999), sua utilização nas lavouras tem sido indispensável. Quando se aplica uma fonte solúvel de fósforo em determinado solo, cerca de 90% do total aplicado é adsorvido, além do mais, para que ocorra adequada absorção de P, crescimento, produtividade das culturas e elevada eficiência dos fertilizantes fosfatados, é necessário melhorar o manejo para permitir que as raízes tenham acesso fácil a este nutriente (ANGHINONI; BARBER, 1980). A aplicação de fósforo apenas no sulco do plantio pode minimizar os riscos ambientais (DONAGEMMA et al., 2016).

Uma das principais causas da baixa disponibilidade do fósforo para as plantas passa pela grande estabilidade dos fosfatos na fase sólida do solo, decorrente da formação de compostos que se ligam com alta energia aos colóides, especialmente aos oxihidróxidos de Fe e Al, constituintes da fração argila que mais adsorvem fósforo (LEITE, 2015). A consequência é a retenção de grande parte de P adicionado ao solo por meio de adubação mineral.

Estima-se que apenas 10 a 20% do P aplicado na forma de fertilizantes fosfatados seja disponibilizado para as culturas (VU et al., 2008), portanto, faz-se necessário estudos que torne esse nutriente solúvel e disponível para as plantas, pois além de contribuir positivamente para agricultura brasileira (LOPES, 2018), também pode contribuir contra possível escassez do nutriente.

Para saber se realmente os fertilizantes fosfatados estão realmente disponíveis, sugere-se uma avaliação, sendo possível a utilização da técnica de fracionamento, que visa à identificação das formas preferenciais com que o P é retido no solo, sua ocorrência e magnitude com que contribuem para a capacidade de suprimento às plantas.

2.2 Fracionamento de fósforo no solo

A disponibilidade de fósforo (P) nos solos é regulada por processos geoquímicos e biológicos. Em ecossistemas naturais, os processos geoquímicos podem determinar, em longo prazo, a disponibilidade de P nos solos, mas em curto prazo, os processos biológicos merecem destaque em virtude da maior utilização deste elemento pelas plantas, via mineralização da matéria orgânica do solo (CROSS; SCHLESINGER, 1995; CHEN et al., 2003).

Estudar as frações desse nutriente é de suma importância, levando-se em consideração a variação existente entre os diferentes tipos de solo e os sistemas de cultivo, sobretudo no manejo das práticas de correção e adubação empregadas, o que altera o comportamento e a dinâmica das formas de P nos solos (SOUZA et al., 2007; PAVINATO; ROSOLEM, 2008). O P é um nutriente predisposto a sofrer mudanças em sua disponibilidade, as quais estão sempre relacionadas à quantidade de matéria orgânica presente, ao sistema de manejo e ao tempo de cultivo adotado (RODRIGUES, 2013).

O fracionamento de P no solo utilizando diferentes extratores tem sido uma boa ferramenta para compreender a disponibilidade e a solubilidade do P-total, sendo útil para estudar a dinâmica de P sob diferentes manejos e históricos de uso, fornecendo informações úteis para a avaliação da disponibilidade atual deste nutriente (SANTOS et al., 2012). São exemplos de fracionamentos de P, o procedimento proposto por Chang e Jackson (1957), por Condrón et al. (1985), por KUO (1996) e por Gatiboni e Condrón (2021).

No solo, o P encontra-se em formas orgânicas e inorgânicas, retido nos argilominerais e compostos orgânicos com diferentes graus de energia, com maior concentração nos horizontes superficiais. O conteúdo total de P e sua distribuição variam

em função, principalmente, do material de origem e do manejo do solo, sendo encontrados desde aquele ligado a rede cristalina de alguns minerais até as formas orgânicas estáveis, as quais encontram-se em equilíbrio dinâmico com a solução do solo (PAVINATO; ROSOLEM, 2008).

No geral, a forma mais predominante de P no solo são aquelas pouco lábeis, as quais equilibram o P disponível no solo para o acesso das plantas, e que com o cultivo contínuo tendem a passar das formas orgânicas para as formas inorgânicas ligadas a Fe e Al (MIGNACCA, 2016).

Em solos altamente cultivados, principalmente no sistema de plantio direto, o P ligado a Ca também tende a ser maior, devido a realização das calagens ao longo do período de cultivo. Enquanto o P residual aumenta a partir da adição de doses de fertilizantes fosfatados ao longo do cultivo (RHEINHEIMER; ANGHINONI; KAMINSKI, 2000; RHEINHEIMER; ANGHINONI, 2001; MOTTA et al., 2002; GATIBONI et al., 2007).

Segundo Moreira et al. (2006) existe uma correlação positiva entre a capacidade máxima de adsorção de P e o teor de MO no solo. A razão comumente citada para a existência dessa correlação é embasada no fato de que os íons orgânicos carregados negativamente compartilham as valências dos cátions Al^{3+} , Fe^{2+} e Ca^{2+} fazendo pontes com os íons fosfato.

Tradicionalmente, os métodos de avaliação da fertilidade do solo enfocam a fração inorgânica de P como indicadora da disponibilidade deste nutriente para as culturas; contudo, sabe-se que a fração orgânica contribui significativamente para o fornecimento de P às plantas, pelo processo de mineralização (STEVENSON, 1994; CANELLAS et al., 1999; RHEINHEIMER et al., 1999).

Duda (2000), trabalhando com diversas amostras de solos do Brasil, observou que 7 a 83% do P total do solo se encontram na forma orgânica e 5 a 86% deste podem estar na fração orgânica lábil (GUERRA, 1996).

De acordo com Silva e Van Raij (1999) para entender melhor a dinâmica do fósforo em solos, é necessário conhecer as diferentes frações do elemento, mediante a utilização sequencial de diferentes soluções extratoras. O conhecimento da natureza e da distribuição dessas frações pode fornecer informações importantes para a avaliação da disponibilidade do fósforo no solo (TIESSEN et al., 1984).

2.3 Bactérias solubilizadoras de fósforo

Os microrganismos podem contribuir com a absorção de P por diversos meios, como: o aumento da área superficial e promoção de crescimento das raízes laterais e pelos radiculares, ocorrendo uma alteração no potencial de adsorção que garante a transferência dos íons fosfatados para a solução de solo ou podendo aumentar a mobilidade do P na forma orgânica, garantindo efeitos de solubilização e mineralização das formas indisponíveis, são processos que excretam íons de hidrogênio, liberação de ácidos orgânicos e a produção de enzimas fosfatase capaz de quebrar o fósforo orgânico (MENDES; REIS JÚNIOR, 2003).

Essas bactérias possuem respostas adaptativas, desenvolvendo capacidades como mobilidade e formação de endósporos, transformação do DNA exógeno, produção de enzimas e antibióticos (HENRIQUES; MORAN, 2000). Como resposta simbiótica com a planta o gênero *Bacillus* melhora o sistema radicular da planta proporcionando maior sensibilidade à absorção dos nutrientes (MANJULA; PODILE, 2005), a ação de solubilização de fosfatos minerais e a associação de microrganismos solubilizadores aos fertilizantes é capaz de aumentar gradativamente a atividade enzimática microbiana e a ciclagem de nutrientes no solo, ao longo do tempo (MENDES; REIS JÚNIOR, 2003).

Para o manejo eficiente da fertilidade do solo e da nutrição das plantas, o conhecimento das relações envolvidas no sistema solo-planta é fundamental. Os microrganismos desempenham papel importante na ciclagem de P no solo, sendo capazes de transformar o P-insolúvel em formas solúveis e acessíveis às plantas. A adição de inoculantes com cepas de *Bacillus subtilis* B2084 ou *B. megaterium* B119 pode acelerar a liberação na rizosfera do P inorgânico ou orgânico não disponível e enriquecer o solo biologicamente (OWEN et al., 2015).

A estirpe de *B. megaterium* (CNPMS B119) foi isolada da rizosfera de milho, e tem capacidade de solubilizar fosfatos de cálcio e de rocha e produzir fosfatase, enquanto a estirpe de *B. subtilis* (CNPMS B2084) é endofítica, solubiliza fosfatos de cálcio e ferro, apresenta alta produção de ácido glucônico e enzima fitase (ABREU et al., 2017; OLIVEIRA-PAIVA et al., 2020). Além disso, estas estirpes possuem propriedades distintas de promoção de crescimento, como a produção de AIA, sideróforos, exopolissacarídeos e formação de biofilme que estimulam o aumento da superfície radicular, especialmente de raízes mais finas (VELLOSO et al., 2020; SOUSA et al., 2021).

Bactérias do gênero *Bacillus* possuem ainda a capacidade de formar endósporos, permitindo que microrganismos solubilizadores de fósforo e potássio na cultura da soja se adaptem a condições abióticas extremas, como temperatura, pH, radiação, dessecação, luz ultravioleta ou exposição a pesticidas (BAHADIR et al., 2018).

Estudos realizados observaram efeito positivo da inoculação de microrganismos solubilizadores, resultando em maior teor de P na parte aérea de plantas perenes, o que significa que há absorção facilitada de P-lábil do solo na presença dos microrganismos (ALVES et al., 2002).

Esses microrganismos ainda apresentam outros mecanismos de promoção de crescimento, como a solubilização de K, produção de fitormônios, enzimas, sideróforos, bioproteção contra patógenos, e podem, por meio de mecanismos secundários, aumentar a absorção de outros nutrientes e água pelo estímulo ao sistema de raízes (GUPTA et al., 2015; RIBEIRO et al., 2018).

2.4 Sucessão soja e milho

O sistema de semeadura utilizando a cultura da soja e o milho em sucessão é um cultivo sem revolvimento no solo fazendo com que o solo se mantenha coberto com resíduos vegetais apresentando uma taxa de decomposição, bem menor, em relação ao preparo convencional, e mais constante no tempo.

A deposição dos resíduos na superfície do solo diminui as perdas de água por evaporação resultando em maior umidade no solo. Esses fatores, somados à baixa mobilidade do P no perfil do solo e à redução das perdas por erosão levam, com o passar do tempo, ao aumento dos teores de P disponível na camada superficial do solo. O aumento na disponibilidade de P, no sistema plantio direto na palhada (SPD), tem sido verificado em análises de P disponível Mehlich e resina de troca aniônica e nos estudos de fracionamento do P no solo (SÁ, 1999; RHEINHEIMER; ANGHINONI, 2001; RHEINHEIMER et al., 2003; SÁ, 2004).

Solos cultivados no Sistema Plantio Diretos (SPD) apresentam alta concentração de raízes na camada superficial; logo, o P proveniente dessas raízes após sua decomposição também passa a ser uma importante fonte para as plantas. O aumento de P orgânico na camada superficial pronuncia-se mais, quando do aporte de altas quantidades de biomassa vegetal e em solos com alta resiliência (RHEINHEIMER; ANGHINONI, 2003). Com o tempo de cultivo sob SPD, as formas de P pouco lábeis em relação ao P total tendem a diminuir, sendo acompanhadas por aumento relativo das

formas mais lábeis (ARAUJO et al., 1993; RHEINHEIMER et al., 2001; CONTE et al., 2002).

Os resíduos culturais acumulados na superfície do solo em SPD proporcionam menor amplitude térmica na camada superficial do solo (BRAGAGNOLO; MIELNICZUK, 1990), diminuindo a perda de água por evaporação e favorecendo a sua subida até a camada superficial por capilaridade. Assim, em função da maior disponibilidade hídrica, deve haver maior difusão de P, que poderá beneficiar o suprimento às raízes e a absorção pelas plantas.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Local de condução e caracterização dos ambientes

Os experimentos foram conduzidos em condições de campo, em dois municípios, onde as áreas apresentam histórico de mais de 10 anos de cultivo de soja no verão e milho na safrinha.

No município de Maracaju - MS, o experimento foi instalado na Fazenda Alegria (Talhão Novo Arroz), de solo argiloso, localizado nas coordenadas (21°39'48.4"S 55°06'14.8"W e 383 m de altitude), com o solo na camada de 0-20 cm apresentando os seguintes atributos químicos e granulométricos: pH CaCl₂ = 5,4; MO = 33,4 g dm⁻³; (P Melich) = 13,9 mg dm⁻³; H+Al, K, Ca, Mg, SB e CTC = 44,36; 5,54; 52,94; 14,22; 72,70 e 117,06 mmol_c dm⁻³, respectivamente; V% = 62,10 e 57,1% de argila.

Já no município de Naviraí - MS, o experimento foi instalado na Unidade de Difusão Tecnológica (Copasul), que tem solo arenoso e fica localizada nas coordenadas (23°14'49.8"S 54°10'50.7"W e 368 m de altitude), com o solo na camada de 0-20 apresentando os seguintes atributos químicos e granulométricos: pH CaCl₂ = 5,7; MO = 14,4 g dm⁻³; (P Melich) = 23,3 mg dm⁻³; H+Al, K, Ca, Mg, SB e CTC = 28,1; 1,62; 22,77; 8,96; 33,35 e 61,4 mmol_c dm⁻³, respectivamente; V% = 54,27 e 19,8% de argila.

O clima dessas regiões, segundo classificação de Köppen, é do tipo Aw, com verões quentes e chuvosos, com risco intermediário de geada no período de inverno, com precipitação pluvial média anual de 1.500 a 1.750 mm e temperatura média anual de 27°C.

3.2. Tratamentos e delineamento experimental

O delineamento utilizado foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 5x2, correspondente a cinco doses de adubação fosfatada no sulco de semeadura do milho (0, 25, 50, 75 e 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅), utilizando superfosfato triplo combinados com ausência e presença da inoculação com cepas de *Bacillus subtilis* e *B. megaterium*, foram 10 tratamentos e 4 repetições. As parcelas foram constituídas com 2,5 m de largura por 10 m de comprimento com 5 linhas totais. Por ocasião da colheita foram consideradas área útil apenas as 3 linhas centrais com oito metros de comprimento.

O milho utilizado foi o híbrido DKB 290 PRO3, na densidade de semeadura de 3,5 sementes por metro com 0,5 m entre linhas. As sementes foram inoculadas antes da semeadura com inoculante a base de *B. subtilis* e *B. megaterium* (4x10⁹ células viáveis mL⁻¹), com a dose de 100 mL ha⁻¹. A inoculação consistiu em colocar as sementes e o

inoculante em recipiente (saco plástico) com posterior agitação para distribuição homogênea.

A adubação do milho foi realizada com 100 kg ha⁻¹ de nitrogênio, sendo 70 kg ha⁻¹ de ureia (46-00-00) em pré-semeadura e 323 kg ha⁻¹ de sulfato de amônio (23-00-00) em estágio fenológico V3 e, 45 kg ha⁻¹ de K₂O, utilizando 75 kg ha⁻¹ de KCl de acordo com a exportação de nutriente com expectativa de produtividade de 7200 kg ha⁻¹ (PAULETTI, 2004).

Para a semeadura da soja em sucessão foi utilizada a cultivar M6410 IPRO, em Maracaju e M6210 IPRO, em Naviraí. A densidade de semeadura foi de 14 plantas por metro e espaçamento de 0,5 m entre linhas. O tratamento de semente foi realizado industrialmente com Standak[®] Top TSI (2,5 mL kg⁻¹ de sementes). A inoculação padrão do produtor foi realizada via sulco de semeadura onde foi aplicado Gelfix 5 (6 mL L⁻¹ de água) e Azo Inquima (2 mL L⁻¹ de água). A inoculação do *B subtilis* e *B megaterium* na dose de 100 mL ha⁻¹ foi realizado via tratamento de semente, constituindo parte dos tratamentos. As cronologias da condução dos experimentos encontram-se nas Figuras 1 e 2.



Figura 1. Cronologia da condução do experimento na região de Maracaju – MS.



Figura 2. Cronologia da condução do experimento na região de Naviraí - MS.

3.3. Avaliações

3.3.1. Fracionamento de P no solo – Solo Argiloso

As coletas das amostras de solo aderido às raízes da cultura do milho safrinha 2020 e cultura da soja safras 2020/21 no município de Maracaju (Argiloso) foram realizadas quando as culturas se encontravam em pleno florescimento. Para coletar o solo na camada de 0-20 cm foi utilizada uma pá reta, para cortar o solo bem perto das raízes. Depois de coletadas as amostras estas foram secas ao ar livre e depois de secas separadas das raízes para serem enviadas ao laboratório. Cada amostra composta de solo enviada ao laboratório foi composta por 6 sub-amostras. Para cada tratamento foram produzidas 4 repetições para a determinação do fracionamento do P.

A extração das frações inorgânicas e orgânicas de P no solo foi realizada conforme metodologia descrita em Gatiboni e Condrón (2021). Os autores propuseram uma técnica alternativa de extração em vários estágios, que é possível concluir em um dia. Isso envolve a análise separada de três subamostras, incluindo avaliação da capacidade de adsorção de P inorgânico (Pi), frações de P (extração sequencial com 1 M CaCl₂, Mehlich-3 (P disponível) , 0,5 M NaOH (P lábil), 1 M HCl (P não lábil) e P total (H₂SO₄ -

H₂O₂ digestão (P residual))). Isso fornece dados sobre P_i potencialmente móvel, P_i disponível para as plantas, P_i moderadamente disponível para as plantas Figura 3.

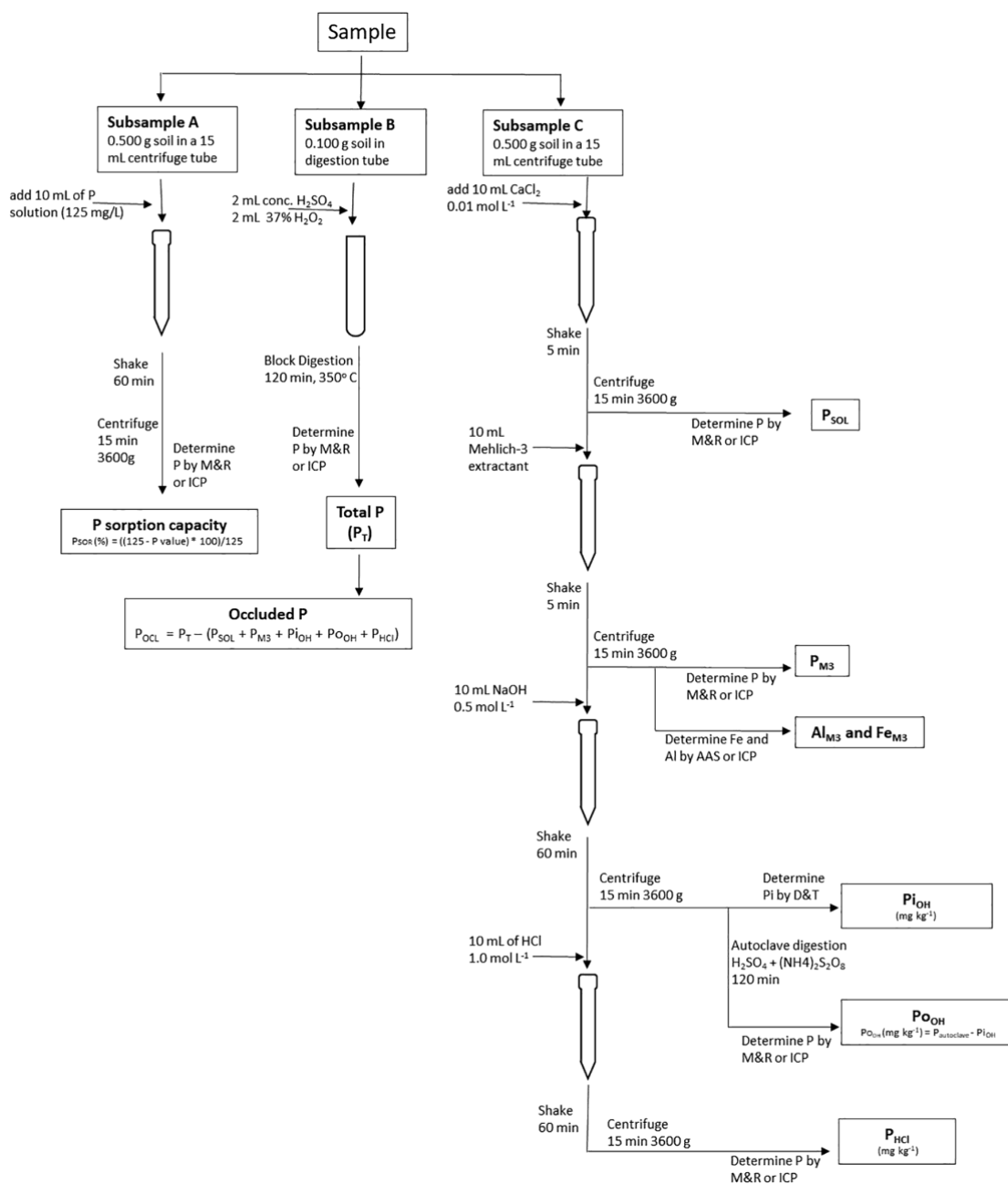


Figura 3. Fluxograma do método de fracionamento do fósforo. Fonte: Gatiboni; Condron (2021).

3.3.2. Concentração de macro e micronutrientes nas folhas diagnósticas da cultura do milho e da soja

A coleta de folhas do milho safrinha 2020 (Naviraí) e 2021 (Maracaju e Naviraí) para a determinação da concentração de nutrientes foi realizada coletando-se 15 folhas

por parcela em quatro repetições por tratamento em pleno florescimento feminino, sendo o terço médio da folha oposta abaixo da espiga principal. Já para a cultura da soja, foi realizada a coleta das folhas sem pecíolos, safras 2020/21. Todas as folhas foram lavadas e secas para determinação de macro e micronutrientes de acordo com metodologia descrita em Malavolta et al. (1997).

3.3.3. Componentes de produção e produtividade de grãos de milho e soja

Para a quantificação do número de grãos por fileira e número de fileira por espiga, foi realizado a contagem do número de grãos por fileira e fileira por espiga, em 6 espigas por parcela nas três ruas centrais da parcela, no momento da colheita. Para a massa de 100 grãos, foi retirada uma amostra de 100 grãos de cada parcela para a análise da massa dos grãos, corrigindo-se para 13% de umidade (base úmida). A produtividade de grãos foi realizada com a colheita mecanizada das parcelas nas três ruas centrais. As amostras foram pesadas e os dados transformados em kg ha^{-1} , corrigindo-se a produtividade para 13% de umidade (base úmida).

3.3.4. Análises estatísticas dos resultados

Os resultados da inoculação foram submetidos à análise de variância com comparação de médias pelo teste de Tukey a 5%, para as doses de fósforo foi aplicado o teste de regressão. Os modelos foram escolhidos com base no elevado R^2 , na lógica biológica e aprovação no teste de normalidade. Utilizou-se o programa de análise estatística SISVAR (FERREIRA, 2014).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Solo Argiloso – Região de Maracaju

4.1.1 Milho Safrinha 2020

Não houve interação entre bactérias solubilizadoras de P x doses de P₂O₅ para a análise do fracionamento de fósforo realizada nas amostras de solo aderido as raízes da cultura do milho. Para as variáveis isoladas verificou-se efeito de tratamento de sementes (bactérias solubilizadoras de P) apenas para o P-CaCl₂ que apresentou decréscimo de 0,6 mg kg⁻¹ quando as sementes foram tratadas com bactérias solubilizadoras de fósforo.

Quadro 1. Fracionamento de fósforo obtido em tratamentos com a inoculação de bactérias solubilizadoras de P associada às doses de fósforo (P₂O₅) no sulco de semeadura do milho safrinha. Maracaju, MS, 2020.

Bactérias solubilizadoras de P (BSP)	P	P	P	P	P	P	P	P
	Total	CaCl ₂	Mehlich 3	NaOH	HCl	Orgânico (Mehlich)	Orgânico Total	Residual
	g kg ⁻¹	-----			mg kg ⁻¹	-----		
Ausente	2,0	1,8 a	52,7	166,1	12,4	35,4	53,5	88,9
<i>Bacillus subtilis</i> e <i>B. megaterium</i>	2,1	1,2 b	46,3	163,1	10,7	41,3	54,4	89,5
P₂O₅ (kg ha⁻¹)								
0	2,1	1,2	42,6	114,2	8,5	11,4 ⁽¹⁾	57,3	68,8 ⁽²⁾
25	2,4	1,5	38,1	176,2	9,6	32,8	41,8	70,1
50	1,9	1,4	49,2	140,5	11,7	37,6	63,0	89,6
75	2,0	2,1	65,9	230,8	17,8	70,0	50,8	120,9
100	2,1	1,4	51,8	161,1	10,3	39,7	56,9	96,7
Teste F								
BSP	1,04 ^s	12,12 [*]	1,55 ^{ns}	0,02 ^{ns}	1,15 ^{ns}	0,34 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,03 ^{ns}
Doses P ₂ O ₅	2,16 ^s	3,28 ^{ns}	3,40 ^{ns}	4,59 ^{ns}	4,44 ^{ns}	3,48 [*]	0,61 ^{ns}	2,57 [*]
BSP x D	0,76 ^s	0,96 ^{ns}	0,97 ^{ns}	0,07 ^{ns}	1,97 ^{ns}	0,62 ^{ns}	1,72 ^{ns}	0,92 ^{ns}
DMS (5%) - BSP	-	0,34	-	-	-	-	-	-
Regressão -D	-	-	-	-	-	RQ	-	RQ
CV (%)	17,81	34,03	32,89	35,06	42,03	82,88	54,06	42,39
Médias	2,11	1,56	49,56	164,58	11,62	38,37	54,01	89,27

⁽¹⁾y = 8,8028 + 1,2398x - 0,0086x² (R=0,73); ⁽²⁾y = 67,9435 + 0,4266x (R=0,61); **, * e ns – significativo a 1 e 5% de probabilidade, e não significativo pelo teste de F, respectivamente. Médias seguidas por letras minúsculas nas colunas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV – Coeficiente de variação. DMS – diferença mínima significativa

Para o efeito de doses, foram observadas diferenças das frações P-orgânico e P-residual, apresentando os maiores teores dessas frações nos tratamentos que receberam a dose de 72 kg ha⁻¹ P₂O₅ para o P-orgânico e para o P-residual, à medida que aumentaram as doses de P, aumentaram os teores de P-residual (Quadro 1). Esse aumento do P-residual

pode ser devido à dose de 72 kg ha⁻¹ P₂O₅ ter alcançado o ponto de saturação para este experimento.

De maneira geral, destacar o P, como um elemento de baixa mobilidade e, conseqüentemente, menos disponível para absorção pelos vegetais. Neste sentido, a microbiota, distúrbios ambientais naturais ou antrópicos, pode afetar sua disponibilização às plantas através de processos de solubilização de fosfatos inorgânicos e mineralização de fosfatos na forma orgânica (KHAN et al., 2009; SHARMA et al., 2013; JURBURG; SALLES, 2015). Situação que pode justificar os resultados desta pesquisa, já que, ocorreram secas e geadas no período de condução.

Também cabe destacar que, em solos já cultivados, o P inorgânico torna-se mais importante do que o orgânico, especialmente naqueles com baixos teores de matéria orgânica e que recebem adubações fosfatadas (RANNO et al., 2007). Porém, quando o objetivo for reduzir a fixação é melhor que fique na forma orgânica.

Os componentes de produção e produtividade não foram influenciados pela adubação fosfatada e inoculação com solubilizadores (Quadro 2). Esses resultados, no entanto, divergem dos resultados encontrados por Paiva et al. (2020), avaliando o efeito da inoculação com as cepas de *Bacillus subtilis* (B2084) e *Bacillus megaterium* (B119) aplicadas isoladamente ou em mistura ao fertilizante na produtividade de grãos de milho em condições de campo e com teores médios de fósforo no solo, em diferentes localidades, com ganho médio de 8,9% onde foi adicionado a inoculação, ou seja, a eficiência das bactérias solubilizadoras de P está relacionada com os teores de P no solo.

O possível efeito não significativo das bactérias solubilizadoras e das doses de P, provavelmente deve-se ao elevado teor inicial de P solo (13,9 mg dm⁻³), sendo feita a adubação fosfatada baseada na exportação da cultura visando a maior produtividade. Apesar de não significativa as produtividades ficaram elevadas com média de 126 sc ha⁻¹ de milho.

Quadro 2. Número de grãos por fileira, número de fileiras por espiga, população final de plantas, massa de 100 grãos e produtividade do milho inoculado com bactérias solubilizadoras de fósforo associadas às doses de fósforo (P₂O₅) no sulco de semeadura do milho safrinha. Maracaju, MS, 2020.

TRATAMENTOS	Nº de grãos	Nº de fileiras	Pop. Final (plantas ha ⁻¹)	Massa de 100 grãos (g)	Produtividade (sc ha ⁻¹)
Bactérias solubilizadoras de P (BSP)					
Ausente	38,3	17,1	37.409	32,8	126,6
<i>Bacillus subtilis</i> e <i>B. megaterium</i>	27,4	17,5	36.618	32,4	124,9
Doses de P₂O₅ (kg ha⁻¹)					
0	27,0	17,3	37.833	32,7	121,8
25	55,8	17,5	35.868	32,0	125,8
50	27,6	17,2	37.047	32,4	129,4
75	26,5	17,5	37.666	32,9	127,9
100	27,3	17,1	36.654	32,9	123,8
Teste F					
BSP	0,90 ^{ns}	2,93 ^{ns}	0,98 ^{ns}	0,83 ^{ns}	0,29 ^{ns}
Doses de P ₂ O ₅ - D	1,00 ^{ns}	0,63 ^{ns}	0,79 ^{ns}	0,57 ^{ns}	0,78 ^{ns}
BSP x D	0,95 ^{ns}	0,36 ^{ns}	2,49 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,79 ^{ns}
DMS (5%) - BSP	-	-	-	-	-
Regressão - D	-	-	-	-	-
CV (%)	110,4	3,78	6,81	4,40	7,72
Médias	32,86	17,35	37.014	32,63	125,78

** e ^{ns} – significativo a 1 e 5% de probabilidade, e não significativo pelo teste de F, respectivamente. Médias seguidas por letras distintas, minúsculas nas colunas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV – Coeficiente de variação. DMS – diferença mínima significativa

4.1.2 Soja Safra 2020/21

A interação bactérias solubilizadoras de P x doses de P₂O₅, assim com os efeitos isolados desses tratamentos não foram significativos para o fracionamento do P (Quadro 3). Os efeitos não significativos provavelmente se devem a alto teor de fósforo no solo, e como as bactérias solubilizadoras teria a função de complementar eventual falta em solos pobres de P, não precisaram atuar na solubilização do nutriente.

O extrator Mehlich₃ é importante, pois correlacionam significativamente as frações consideradas lábeis, ou seja, P facilmente solúvel (ROCHA et al., 2005). No trabalho realizado in vitro de Fernández et al. (2007) mostraram que nenhuma das BSP aumentou a absorção de P pelas plantas. Nesses casos, os resultados sugerem que a inoculação de BSP não promoveu necessariamente a nutrição de P na soja, nem houve qualquer relação entre a disponibilidade de P e o teor de P na parte aérea da soja, nas condições avaliadas.

Quadro 3. Fracionamento de fósforo obtidos na cultura da soja em tratamentos com a inoculação de bactérias solubilizadoras de P associada às doses de fósforo (P₂O₅) no sulco de semeadura do milho safrinha. Maracaju, MS, 2020/21.

Bactérias solubilizadoras de P (BSP)	P	P	P	P	P	P	P	P
	Total	CaCl ₂	Mehlich ₃	NaOH	HCl	Orgânico (Mehlich)	Orgânico Total	Residual
	g kg ⁻¹		mg kg ⁻¹					
Ausente	2,1	1,9	42,2	125,4	8,2	43,4	47,6	1,8
<i>Bacillus subtilis</i> e <i>B. megaterium</i>	2,1	1,1	45,5	135,2	9,0	70,1	53,3	1,8
Doses de P₂O₅ (kg ha⁻¹)								
0	2,1	1,3	42,3	111,3	7,8	39,3	58,9	1,8
25	2,7	0,9	41,1	120,0	7,7	31,4	45,4	2,3
50	1,9	0,9	46,9	130,6	8,4	54,1	58,3	1,6
75	1,9	1,0	41,6	126,6	8,2	31,9	41,1	1,7
100	1,9	3,3	47,4	162,9	11,0	127,1	48,5	1,5
Teste F								
BSP	0,06 ^{ns}	0,73 ^{ns}	1,82 ^{ns}	0,68 ^{ns}	2,52 ^{ns}	1,86 ^{ns}	0,87 ^{ns}	0,98 ^{ns}
Doses P ₂ O ₅	1,86 ^{ns}	1,10 ^{ns}	1,19 ^{ns}	2,22 ^{ns}	4,91 ^{ns}	3,40 ^{ns}	1,37 ^{ns}	2,69 ^{ns}
BSP x D	0,86 ^{ns}	0,93 ^{ns}	0,51 ^{ns}	0,67 ^{ns}	0,85 ^{ns}	0,34 ^{ns}	1,17 ^{ns}	0,91 ^{ns}
DMS (5%) - BSP	-	-	-	-	-	-	-	-
Regressão - D	-	-	-	-	-	-	-	-
CV (%)	25,35	180,53	17,89	28,63	20,08	109,0	37,72	27,89
Médias	2,12	1,54	43,89	130,34	8,65	56,79	50,49	1,83

**, * e ^{ns} – significativo a 1 e 5% de probabilidade, e não significativo pelo teste de F, respectivamente. Médias seguidas por letras minúsculas nas colunas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV – Coeficiente de variação. DMS – diferença mínima significativa

A interação bactérias solubilizadoras de P x doses de P₂O₅ foi significativa apenas para a concentração de enxofre nas folhas diagnósticas da cultura da soja (Quadro 4).

Para as concentrações foliares dos macronutrientes na cultura da soja, com a presença de bactérias solubilizadoras de fósforo no tratamento de semente, verificou-se que o N, P, Ca e o Mg apresentaram incrementos com a presença das bactérias solubilizadoras de fósforo. O P foi o nutriente que mais aumentou (39%) justificando sua aplicação. Mesmo com os efeitos significativos obtidos na concentração nutricional foliar da cultura da soja os teores apresentaram-se na faixa adequada de acordo com KURIHARA et al. (2013).

Quadro 4. Concentração foliar de macronutrientes na cultura da soja obtidos em tratamentos com a inoculação de bactérias solubilizadoras de P associada às doses de fósforo (P_2O_5) no sulco de semeadura do milho safrinha. Maracaju, MS, 2020/21.

TRATAMENTOS	-----g kg ⁻¹ -----					
	N	P	K	Ca	Mg	S
Bactérias solubilizadoras de P (BSP)						
Ausente	62,8 b	3,6 b	21,5	10,6 a	3,7 b	4,9
<i>Bacillus subtilis</i> e <i>B. megaterium</i>	68,5 a	5,0 a	22,0	10,0 b	3,8 a	4,9
Doses de P_2O_5 (kg ha⁻¹)						
0	64,0	4,0	21,8	10,6	3,71	4,9
25	65,4	4,3	22,3	10,5	3,8	5,2
50	66,8	4,2	21,4	10,1	3,7	4,2
75	66,1	4,7	22,5	10,2	3,9	5,1
100	65,8	4,1	20,8	10,1	3,6	5,1
Teste F						
BSP	32,17 **	101,23 **	1,25 ns	4,22 *	6,24 *	0,00 ns
Doses de P_2O_5 - D	0,85 ns	2,65 ns	1,78 ns	0,63 ns	2,01 ns	2,87 *
BSP x D	0,52 ns	1,59 ns	2,53 ns	1,74 ns	0,35 ns	3,76 *
DMS (5%) - BSP	2,06	0,28	-	0,51	0,13	-
Regressão - D	-	-	-	-	-	-
CV (%)	4,84	10,92	6,81	7,66	5,52	13,18
Médias	65,67	4,32	21,79	10,34	3,78	4,94

** , * e ns – significativo a 1 e 5% de probabilidade, e não significativo pelo teste de F, respectivamente. Médias seguidas por letras minúsculas nas colunas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV – Coeficiente de variação. DMS – diferença mínima significativa

Em relação ao desdobramento de bactérias solubilizadoras de P x doses de P_2O_5 para a concentração foliar de enxofre, apresentam as melhores respostas, as doses de 50 kg ha⁻¹ de P_2O_5 ausente de inoculação enquanto que 75 e 100 kg ha⁻¹ de P_2O_5 com a inoculação das bactérias solubilizadoras apresentaram incrementos, 10 e 12,5% para 75 e 100 kg ha⁻¹, respectivamente (Quadro 5).

Quadro 5. Desdobramento da interação entre a inoculação de bactérias solubilizadoras de P associada às doses de fósforo (P_2O_5) no sulco de semeadura do milho safrinha na concentração foliar de enxofre da cultura da soja. Maracaju, MS, 2020/21.

TRATAMENTOS	----- Doses de P_2O_5 (kg ha ⁻¹) -----				
	0	25	50	75	100
Bactérias solubilizadoras de P (BSP)					
----- Concentração foliar de S (g kg ⁻¹) -----					
Ausente	4,7	5,2	5,0 a	4,9 b	4,8 b
<i>Bacillus subtilis</i> e <i>B. megaterium</i>	5,1	5,1	3,5 b	5,4 a	5,4 a
DMS (5%) - I	0,94				
Regressão - D	-				

ns – significativo a 1 e 5% de probabilidade, e não significativo pelo teste de F, respectivamente. Médias seguidas por letra, minúsculas nas colunas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

É importante enfatizar que, os resultados da ausência ou presença das bactérias solubilizadoras, resultaram em concentrações de S foliar acima do ideal que é de 2,4 a 3,3 de acordo com Kurihara et al. (2013).

As concentrações foliares de cobre e boro apresentaram interação para bactérias solubilizadoras de P x doses de P₂O₅, conforme verificado no Quadro 6. Na análise das variáveis isoladas, a concentração foliar de manganês na ausência da inoculação das bactérias solubilizadoras de fósforo, resultou em incremento de 3,8 mg kg⁻¹.

Quadro 6. Concentração foliar de micronutrientes na soja obtidos em tratamentos com a inoculação de bactérias solubilizadoras de P associada às doses de fósforo (P₂O₅) no sulco de semeadura do milho safrinha. Maracaju, MS, 2020/21.

TRATAMENTOS	Fe	Mn	Zn	Cu	B
	----- mg kg ⁻¹ -----				
Bactérias solubilizadoras de P (BSP)					
Ausente	118,8	58,4 a	48,0	12,6	81,3
<i>Bacillus subtilis</i> e <i>B. megaterium</i>	119,8	54,6 b	47,9	11,2	82,8
Doses de P₂O₅ (kg ha⁻¹)					
0	113,7	54,3	47,4	11,9	82,0
25	116,4	59,4	48,7	12,0	83,4
50	116,3	56,7	48,4	11,8	81,0
75	130,9	56,5	47,5	12,4	82,6
100	119,2	55,7	47,8	11,6	81,4
Teste F					
BSP	0,05 ^{ns}	4,44 [*]	0,00 ^{ns}	30,47 ^{**}	0,31 ^{ns}
Doses de P ₂ O ₅ - D	2,50 ^{ns}	0,84 ^{ns}	0,36 ^{ns}	1,04 ^{ns}	0,11 ^{ns}
BSP x D	0,23 ^{ns}	0,20 ^{ns}	0,87 ^{ns}	6,15 [*]	3,79 [*]
DMS (5%) - BSP	-	3,72	-	-	-
Regressão - D	-	-	-	-	-
CV (%)	10,13	10,14	5,49	6,60	10,02
Médias	119,35	56,57	47,98	11,98	82,12

^{**}, ^{*} e ^{ns} – significativo a 1 e 5% de probabilidade, e não significativo pelo teste de F, respectivamente. Médias seguidas por letras minúsculas nas colunas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV – Coeficiente de variação. DMS – diferença mínima significativa

Contudo, deve ser destacado que as espécies de *Bacillus* utilizadas são consideradas solubilizadoras de fosfatos e, com potencial de disponibilizar o fósforo orgânico por meio da liberação de ácidos orgânicos ou inorgânico através da produção de enzimas fosfatases. Dessa forma, ocorre a liberação destes nutrientes na forma iônica assimilável pelas plantas e, conseqüentemente, em maior absorção, desenvolvimento e rendimento da cultura (SOBRAL et al., 2018).

Em relação ao desdobramento de bactérias solubilizadoras de P, associado às doses de P₂O₅, para a concentração foliar de cobre, notou-se que as doses de 75 e 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅, na ausência da inoculação das bactérias solubilizadoras de fósforo foram as que apresentaram incrementos significativos, com 22,8 e 18%, respectivamente, comparado às mesmas doses na presença da inoculação (Quadro 7).

Quadro 7. Desdobramento da interação entre a inoculação de bactérias solubilizadoras de P associada às doses de fósforo (P₂O₅) no sulco de semeadura do milho safrinha na concentração foliar de cobre da cultura da soja sucessora. Maracaju, MS, 2020/21.

TRATAMENTOS	Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)				
	0	25	50	75	100
Bactérias solubilizadoras de P (BSP)	Concentração foliar de Cu (mg kg ⁻¹)				
Ausente	11,8	12,5	12,1	14,0 a	12,8 a
<i>Bacillus subtilis</i> e <i>B. megaterium</i>	12,1 ⁽¹⁾	11,6	11,4	10,8 b	10,5 b
DMS (5%) - I	1,14				
Regressão - D	RL				

⁽¹⁾ $y = 12,0950 - 0,0161x$ ($R^2=0,98$); e ^{ns} – significativo a 1 e 5% de probabilidade, e não significativo pelo teste de F, respectivamente. Médias seguidas por letras, minúsculas nas colunas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os microrganismos utilizam diferentes mecanismos para transformar formas pouco solúveis de fosfato em solúveis, como processos de acidificação, quelação e reações de troca, mas o principal mecanismo de solubilização é a liberação de metabólitos como ácidos orgânicos e enzimas extracelulares (BALIAH et al., 2016; ABREU et al., 2017).

O desdobramento bactérias solubilizadoras de P associada às doses de P₂O₅ para a concentração foliar de boro, resultou no acúmulo de 17,3 mg kg⁻¹ a mais, para a dose de 75 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na ausência da inoculação das bactérias solubilizadoras (Quadro 8).

Quadro 8. Desdobramento da interação entre a inoculação de bactérias solubilizadoras de P associada às doses de fósforo (P₂O₅) no sulco de semeadura do milho safrinha na concentração foliar de boro da cultura da soja sucessora. Maracaju, MS, 2020/21.

TRATAMENTOS	Doses de P (kg ha ⁻¹)				
	0	25	50	75	100
Bactérias solubilizadoras de P (BSP)	Concentração foliar de B (mg kg ⁻¹)				
Ausente	82,1	80,5	77,5	91,3 a	75,5
<i>Bacillus subtilis</i> e <i>B. megaterium</i>	82,0	86,4	84,6	74,0 b	87,3
DMS (5%) - I	11,94				
Regressão - D	-				

** e * – significativo a 1 e 5% de probabilidade, e não significativo pelo teste de F, respectivamente. Médias seguidas por letras distintas, minúsculas nas colunas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os componentes de produção avaliados na safra de soja 2020/21 no município de Maracaju - MS apresentaram resultado significativo estatisticamente para o número de vagens por planta e altura de plantas no momento da colheita. A presença da inoculação de bactérias solubilizadoras de fósforo no tratamento de semente incrementou o número de vagens em 6,5 vagens por planta, enquanto a altura das plantas foi 5,1 cm menor (Quadro 9).

O menor crescimento das plantas pode ter relação com o gasto de energia utilizado pela planta para produzir mais vagens, fato considerado positivo para a produtividade final de grãos, se essas vagens não tiverem seus enchimentos prejudicados.

Os resultados observados para a soja na safra 20/21 corroboram os resultados da pesquisa realizada por Zucareli et al. (2018), onde a associação de P com a inoculação de *Bacillus subtilis* não promoveram efeitos na produtividade de grãos em feijoeiro (cultura com as mesmas características da soja).

Quadro 9. Número de grãos por planta, número de vagens por planta, altura final, população final, massa de 100 grãos e produtividade de soja, obtidos em tratamentos com a inoculação de bactérias solubilizadoras de P associada às doses de fósforo (P₂O₅) no sulco de semeadura do milho safrinha. Maracaju, MS, 2020/21.

TRATAMENTOS	Nº de grãos	Nº de vagens	Altura (cm)	Pop. Final (plantas ha ⁻¹)	Massa de 100 grãos (g)	Produtividade (sc ha ⁻¹)
Bactérias solubilizadoras de P (BSP)						
Ausente	151,6	60,2 b	113,5 a	201.333	14,1	62,4
<i>Bacillus subtilis</i> e <i>B. megaterium</i>	162,8	66,7 a	108,4 b	201.166	14,1	63,6
Doses de P₂O₅ (kg ha⁻¹)						
0	158,8	66,2	110,4	211.666	13,9	62,7
25	167,9	63,6	110,7	211.250	14,2	61,5
50	164,7	67,5	110,5	200.416	14,2	65,6
75	150,9	61,1	112,0	193.333	14,2	62,8
100	143,6	59,0	111,2	189.583	14,0	62,4
Teste F						
BSP	3,86 ^{ns}	4,78 [*]	6,75 [*]	0,00 ^{ns}	0,06 ^{ns}	1,06 ^{ns}
Doses de P ₂ O ₅ - D	2,44 ^{ns}	1,10 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,43 ^{ns}	0,41 ^{ns}	1,44 ^{ns}
BSP x D	0,35 ^{ns}	0,52 ^{ns}	1,87 ^{ns}	0,32 ^{ns}	0,88 ^{ns}	2,69 ^{ns}
DMS (5%) - BSP	-	6,07	3,96	-	-	-
Regressão - D	-	-	-	-	-	-
CV (%)	11,47	14,76	5,51	18,68	3,88	5,68
Médias	157,21	63,49	111,00	201.250	14,14	63,0

^{**}, ^{*} e ^{ns} – significativo a 1 e 5% de probabilidade, e não significativo pelo teste de F, respectivamente. Médias seguidas por letras, minúsculas nas colunas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV – Coeficiente de variação. DMS – diferença mínima significativa.

Vale destacar que mesmo não aplicando fertilizante fosfatado na soja, ou seja, aproveitando o efeito residual da aplicação da adubação fosfatada no milho, obtiveram-se excelentes produtividades, com média de 63 sacas ha⁻¹. Em períodos de escassez ou alto custo dos fertilizantes, deve-se adotar estratégias de redução de custos de produção, e nas condições de altos teores de P no solo isso foi possível sem que houvesse interferência na produtividade. Sendo que essas decisões precisam sempre ser amparadas pela análise de solo.

4.1.3 Milho Safrinha 2021

A interação de inoculação x doses de P₂O₅ foi significativa apenas para a concentração de enxofre foliar (Quadro 10). As concentrações de K apresentaram significância para efeito de doses de P₂O₅, com a máxima concentração obtida com a dose de 47 kg ha⁻¹ de P₂O₅. A concentração foliar de magnésio com presença da inoculação de semente foi incrementado em 0,2 g kg⁻¹, que representa 15,4% a mais, em relação à testemunha (sem inoculação).

Quadro 1. Concentração foliar de macronutrientes no milho obtidos em tratamentos com a inoculação de bactérias solubilizadoras de P associada às doses de fósforo (P_2O_5) no sulco de semeadura do milho safrinha. Maracaju, MS, 2021.

TRATAMENTOS	N	P	K	Ca	Mg	S
	-----g kg ⁻¹ -----					
Bactérias solubilizadoras de P (BSP)						
Ausente	26,2	1,88	20,8	5,0	1,3 b	2,0
<i>Bacillus subtilis</i> e <i>B. megaterium</i>	26,1	1,94	20,8	5,1	1,5 a	2,0
Doses de P_2O_5 (kg ha⁻¹)						
0	24,9	1,7	20,2 ⁽¹⁾	5,0	1,4	2,0
25	27,3	1,8	21,5	5,0	1,3	1,9
50	25,5	1,9	21,3	4,8	1,4	2,0
75	27,2	2,1	21,3	5,2	1,5	2,0
100	26,0	1,8	19,8	5,2	1,5	2,0
Teste F						
BSP	0,01 ^{ns}	0,86 ^{ns}	0,00 ^{ns}	2,55 ^{ns}	31,61 [*]	0,06 ^{ns}
Doses de P_2O_5 - D	1,48 ^{ns}	4,38 ^{ns}	3,24 [*]	1,99 ^{ns}	2,33 ^{ns}	0,56 ^{ns}
BSP x D	0,31 ^{ns}	1,95 ^{ns}	1,46 ^{ns}	0,45 ^{ns}	1,61 ^{ns}	3,33 [*]
DMS (5%) - BSP	-	-	-	-	0,09	-
Regressão - D	-	-	RQ	-	-	-
CV (%)	9,35	10,71	5,66	6,60	10,02	12,10
Médias	26,23	1,91	20,84	5,09	1,46	2,01

⁽¹⁾ $y = 20,2950 + 0,0567x - 0,0006x^2$ (R=0,95); *, * e ns – significativo a 1 e 5% de probabilidade, e não significativo pelo teste de F, respectivamente. Médias seguidas por letras minúsculas nas colunas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV – Coeficiente de variação. DMS – diferença mínima significativa.

A concentração de enxofre foliar apresentou interação entre tratamento de semente x dose de P_2O_5 , deste modo na ausência da aplicação de P_2O_5 no sulco de semeadura e inoculação de bactérias solubilizadoras houve incremento de 0,4 g kg⁻¹. O mesmo incremento quando na ausência do tratamento de semente e na dose de 50 kg ha⁻¹ de P_2O_5 no sulco de semeadura superou em 0,4 g kg⁻¹ a mesma dose que recebeu o tratamento (Quadro 11). Essas duas doses podem ser consideradas ideais para que o milho possa absorver da melhor maneira o enxofre.

Quadro 2. Desdobramento da interação entre a inoculação de bactérias solubilizadoras de P associada às doses de fósforo (P_2O_5) no sulco de semeadura do milho safrinha na concentração foliar de enxofre. Maracaju, MS, 2021.

TRATAMENTOS	Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)				
	0	25	50	75	100
Bactérias solubilizadoras de P (BSP)	Concentração foliar de S (g kg ⁻¹)				
Ausente ⁽¹⁾	1,8 b	1,9	2,2 a	2,1	1,9
<i>Bacillus subtilis</i> e <i>B. megaterium</i> ⁽²⁾	2,2 a	1,8	1,8 b	1,9	2,1
DMS (5%) - I	0,35				
Regressão - D	RQ				

⁽¹⁾ $y = 1,7728 + 0,0143x - 0,0001x^2$ ($R^2=0,80$); ⁽²⁾ $y = 2,1971 - 0,0133x + 0,0001x^2$ ($R^2=0,92$); e^{ns} – significativo a 1 e 5% de probabilidade, e não significativo pelo teste de F, respectivamente. Médias seguidas por letras minúsculas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

As concentrações dos micronutrientes foliares no milho só apresentou interação entre bactérias solubilizadoras \times doses de P₂O₅ para a concentração de ferro (Quadro 12). Nos tratamentos isolados as bactérias solubilizadoras de fósforo apresentaram efeito significativo para o zinco e o cobre. Os valores apresentados decresceram 15,1 e 6,1 mg kg⁻¹ para zinco e cobre, respectivamente.

Quadro 3. Concentração foliar de micronutrientes no milho obtidos em tratamentos com a inoculação de bactérias solubilizadoras de P associada às doses de fósforo (P₂O₅) no sulco de semeadura do milho safrinha. Maracaju, MS, 2021.

TRATAMENTOS	Fe	Mn	Zn	Cu	B
	mg kg ⁻¹				
Bactérias solubilizadoras de P (BSP)					
Ausente	187,0 a	38,9	36,9 a	14,1 a	9,6
<i>Bacillus subtilis</i> e <i>B. megaterium</i>	135,8 b	39,8	21,8 b	8,0 b	9,0
Doses de P₂O₅ (kg ha⁻¹)					
0	181,2	40,5	29,2	10,1	8,7
25	141,8	39,3	31,0	12,2	11,4
50	140,3	35,8	30,8	12,5	8,9
75	163,3	40,1	29,6	11,0	8,9
100	180,5	40,9	26,3	9,4	8,7
Teste F					
BSP	56,67 **	0,30 ^{ns}	46,77 **	21,95 **	0,79 ^{ns}
Doses de P ₂ O ₅ - D	6,85 **	1,25 ^{ns}	0,60 ^{ns}	0,84 ^{ns}	2,68 ^{ns}
BSP \times D	4,68 **	0,42 ^{ns}	0,74 ^{ns}	0,96 ^{ns}	0,90 ^{ns}
DMS (5%) - BSP	-	-	-	-	-
Regressão - D	-	-	-	-	-
CV (%)	13,33	13,18	23,75	37,19	21,30
Médias	161,46	39,36	29,42	11,07	9,35

** e^{ns} – significativo a 1 e 5% de probabilidade, e não significativo pelo teste de F, respectivamente. Médias seguidas por letras minúsculas nas colunas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV – Coeficiente de variação. DMS – diferença mínima significativa.

A presença de bactérias solubilizadoras de P interferiu negativamente na concentração de ferro. As reduções nas concentrações de Fe chegaram a 42,6; 19,3 e 33,5%, para as doses de 0, 75 e 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅, respectivamente (Quadro 13). Santos

et al. (2021) também observaram redução na concentração foliar de Fe, após a inoculação de *B. subtilis* e *B. megaterium*. Os autores atribuíram a redução do teor com uso do inoculante, ao fato das bactérias estarem competindo com a planta por esse elemento. Além disso, pode ter ocorrido quelatização do Fe com a liberação de ácidos orgânicos pelas bactérias solubilizadoras. Mesmo com os efeitos significativos obtidos na concentração nutricional foliar na cultura do milho, os teores apresentaram-se na faixa adequada segundo (MARTINEZ, 1999).

Quadro 4. Desdobramento da interação entre a inoculação de bactérias solubilizadoras de P associada às doses de fósforo (P_2O_5) no sulco de semeadura do milho safrinha na concentração foliar de ferro. Maracaju, MS, 2021.

TRATAMENTOS	Doses de P_2O_5 (kg ha ⁻¹)				
	0	25	50	75	100
Bactérias solubilizadoras de P (BSP)	Concentração foliar de Fe (mg kg ⁻¹)				
Ausente ⁽¹⁾	230,3 a	151,6	155,8	180,8 a	216,8 a
<i>Bacillus subtilis</i> e <i>B. megaterium</i>	132,1 b	132,0	124,8	145,9 b	144,2 b
DMS (5%) - I	31,22				
Regressão - D	RQ				

⁽¹⁾ $y = 222,3714 - 2,8491x + 0,0285x^2$ ($R^2=0,88$); e^{ns} – significativo a 1 e 5% de probabilidade, e não significativo pelo teste de F, respectivamente. Médias seguidas por letras distintas, minúsculas nas colunas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para o cultivo do milho safrinha no ano de 2021 para o solo argiloso no município de Maracaju – MS, só foi verificado efeito das doses de P_2O_5 para a produtividade, sendo a dose calculada de 90,7 kg ha⁻¹ de P_2O_5 que proporcionou maior produtividade (Quadro 14). Essa baixa produtividade (média de 60 sc ha⁻¹) quando comparada à safra 2020 foi devido as condições climáticas com grande período de déficit hídrico e presença de geadas no período de condução do experimento.

Quadro 5. População final, número de fileira por espiga e grãos por fileira, massa de 100 grãos e produtividade, obtidos em tratamentos com a inoculação de bactérias

solubilizadoras de P associada às doses de fósforo (P₂O₅) no sulco de semeadura do milho safrinha. Maracaju, MS, 2021.

TRATAMENTOS	Pop. Final (plantas ha ⁻¹)	Nº de fileiras por espiga	Nº de grãos por fileira	Massa de 100 grãos (g)	Produtividade (sc ha ⁻¹)
Bactérias solubilizadoras de P (BSP)					
Ausente	71.422	12,7	21,7	20,6	59,9
<i>Bacillus subtilis</i> e <i>B. megaterium</i>	71.644	12,3	21,6	20,4	59,7
Doses de P₂O₅ (kg ha⁻¹)					
0	71.222	11,6	22,0	19,9	53,5 ⁽¹⁾
25	70.777	12,9	20,5	20,5	57,3
50	72.222	12,9	20,6	20,6	61,8
75	72.111	11,8	23,0	21,1	63,7
100	71.333	13,6	22,3	20,5	62,8
Teste F					
BSP	0,06 ^{ns}	0,68 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,39 ^{ns}	0,01 ^{ns}
Doses de P ₂ O ₅ - D	0,40 ^{ns}	2,40 ^{ns}	5,17 ^{ns}	1,14 ^{ns}	6,27 ^{**}
BSP x D	0,67 ^{ns}	1,07 ^{ns}	0,54 ^{ns}	0,38 ^{ns}	0,35 ^{ns}
DMS (5%) - BSP	-	-	-	-	-
Regressão - D	-	-	-	-	RQ
CV (%)	3,32	13,60	7,02	5,82	9,05
Médias	71.533	12,56	21,68	20,56	59,84

⁽¹⁾ $y = 53,1628 + 0,2360x - 0,0013x^2$ ($R^2=0,98$); **, * e ns – significativo a 1 e 5% de probabilidade, e não significativo pelo teste de F, respectivamente. Médias seguidas por letras minúsculas nas colunas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV – Coeficiente de variação. DMS – diferença mínima significativa.

Cabe observar, que a produtividade de grão de milho está diretamente ligada ao número de grão por espiga (MORTATE et al., 2018). No entanto, se durante o cultivo aparecer problemas como geadas e/ou secas, principalmente na fase de enchimento dos grãos, embora a altura de plantas tenha sido maior nas parcelas adubadas, as produtividades serão afetadas (HAAS; DUARTE, 2017).

4.2 Solo Arenoso - Região de Naviraí

4.2.1 Milho Safrinha 2020

As concentrações foliares de nitrogênio e fósforo apresentaram interação significativa entre tratamento de semente x doses de P₂O₅ (Quadro 15). A concentração foliar de cálcio e enxofre, na presença da inoculação de semente foi reduzida em 0,7 e 0,2 g kg⁻¹ em relação ao tratamento sem a inoculação de bactérias solubilizadoras de fósforo.

Quadro 6. Concentração foliar de macronutrientes no milho obtidos em tratamentos com a inoculação de bactérias solubilizadoras de P associada às doses de fósforo (P₂O₅) no sulco de semeadura do milho safrinha. Naviraí, MS, 2020.

TRATAMENTOS	N	P	K	Ca	Mg	S
	g kg ⁻¹					
Bactérias solubilizadoras de P (BSP)						
Ausente	22,7	2,9	24,1	5,6 a	3,3	3,4 a
<i>Bacillus subtilis</i> e <i>B. megaterium</i>	23,9	3,0	24,2	4,9 b	3,5	3,2 b
Doses de P₂O₅ (kg ha⁻¹)						
0	23,7	2,9	24,5	5,3	3,3	3,3
25	23,1	3,0	24,2	5,3	3,4	3,5
50	22,6	3,0	24,8	5,2	3,3	3,1
75	23,4	3,1	23,1	5,4	3,8	3,2
100	23,5	2,9	24,2	5,2	3,3	3,2
Teste F						
BSP	3,69 ^{ns}	1,03 ^{ns}	0,02 ^{ns}	31,56 ^{**}	0,86 ^{ns}	6,79 [*]
Doses de P ₂ O ₅ - D	0,47 ^{ns}	2,08 ^{ns}	1,22 ^{ns}	0,38 ^{ns}	1,26 ^{ns}	2,68 ^{ns}
BSP x D	3,61 [*]	4,34 [*]	1,38 ^{ns}	1,61 ^{ns}	0,52 ^{ns}	0,96 ^{ns}
DMS (5%) - BSP	-	-	-	0,25	-	0,15
Regressão - D	-	-	-	-	-	RL
CV (%)	8,63	6,16	6,53	7,49	14,93	7,16
Médias	23,36	3,02	24,20	5,33	3,46	3,30

** e ^{ns} – significativo a 1 e 5% de probabilidade, e não significativo pelo teste de F, respectivamente. Médias seguidas por letras minúsculas nas colunas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV – Coeficiente de variação. DMS – diferença mínima significativa.

A interação entre o tratamento de semente x doses de P₂O₅ com a dose de 75 kg ha⁻¹ no sulco incrementou a concentração de nitrogênio foliar em 27% e o teor de fósforo foliar em 10% (Quadros 16 e 17).

Quadro 7. Desdobramento da interação entre a inoculação de bactérias solubilizadoras de P associada às doses de fósforo (P₂O₅) no sulco de semeadura do milho safrinha na concentração foliar de nitrogênio da cultura do milho. Naviraí, MS, 2020.

TRATAMENTOS	Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)				
	0	25	50	75	100
Bactérias solubilizadoras de P (BSP)					
Concentração foliar de N (g kg ⁻¹)					
Ausente	22,9	22,7	22,7	20,6 b	24,6
<i>Bacillus subtilis</i> e <i>B. megaterium</i>	24,5	23,4	22,5	26,2 a	23,1
DMS (5%) - I	2,92				
Regressão - D	-				

** e ^{ns} – significativo a 1 e 5% de probabilidade, e não significativo pelo teste de F, respectivamente. Médias seguidas por letras, minúsculas nas colunas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O aumento do teor de N nas folhas de plantas milho por meio da inoculação de *B. subtilis* previamente inoculado às sementes e associada à adubação também foi observado por Araújo (2008), constatando incremento de cerca de 150% quando comparado à testemunha.

Baldotto et al. (2012) também relataram maior acúmulo de N e P foliar em plantas milho inoculadas com bactérias diazotróficas e solubilizadoras de fosfato, quando comparado ao sem inoculação. Porém, deve ser enfatizado que, o aumento de teores de P foliar no milho independente do tipo de solo, tem sido evidenciado na literatura devido a habilidade da cultura em solubilizar fosfatos inorgânicos (Pi) e mineralizar fosfatos orgânicos (Po), fornecendo P assimilável as raízes (GOSWAMI et al., 2016).

Quadro 8. Desdobramento da interação entre a inoculação de bactérias solubilizadoras de P associada às doses de fósforo (P₂O₅) no sulco de semeadura do milho safrinha na concentração foliar de fósforo da cultura do milho. Naviraí, MS, 2020.

TRATAMENTOS	Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)				
	0	25	50	75	100
Bactérias solubilizadoras de P (BSP)	Concentração foliar de P (g kg ⁻¹)				
Ausente	3,1 ⁽¹⁾	3,1	2,9	3,0 b	2,8
<i>Bacillus subtilis</i> e <i>B. megaterium</i>	2,8	2,8	3,1	3,3 a	3,0
DMS (5%) - I	0,27				
Regressão - D	RL				

⁽¹⁾y = 3,1250 - 0,0026x (R=0,63); **, * e ns – significativo a 1 e 5% de probabilidade, e não significativo pelo teste de F, respectivamente. Médias seguidas por letras minúsculas nas colunas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para as concentrações foliares de micronutrientes avaliadas no milho safrinha no ano de 2020, apenas o boro apresentou resultado significativo para a interação entre o tratamento de semente x doses de P₂O₅ (Quadro 18). Em relação ao tratamento de sementes, observou-se diferença estatística nos teores de cobre com redução de 15,2% onde foi realizada a inoculação.

Estes efeitos de promoção da maior absorção de P relacionados ao maior contato íon-raiz e maior disponibilidade de P na solução do solo podem ser aqui associados à inoculação das sementes com um tratamento bem realizado.

Quadro 9. Concentração foliar de micronutrientes no milho obtidos em tratamentos com a inoculação de bactérias solubilizadoras de P associada às doses de fósforo (P₂O₅) no sulco de semeadura do milho safrinha. Naviraí, MS, 2020.

TRATAMENTOS	Fe	Mn	Zn	Cu	B
	mg kg ⁻¹				

Bactérias solubilizadoras de P (BSP)					
Ausente	166,0	39,6	26,0	11,8 a	56,2
<i>Bacillus subtilis</i> e <i>B. megaterium</i>	163,5	40,0	24,6	10,0 b	54,5
Doses de P₂O₅ (kg ha⁻¹)					
0	156,6	41,1	26,0	11,5	51,3
25	170,5	36,6	25,6	10,9	59,4
50	165,1	39,0	24,2	10,6	52,6
75	169,3	44,4	26,8	11,3	58,8
100	162,3	37,9	23,8	10,3	54,7
Teste F					
BSP	0,09 ^{ns}	0,03 ^{ns}	3,16 ^{ns}	3,59 [*]	0,46 ^{ns}
Doses de P ₂ O ₅ - D	0,36 ^{ns}	1,32 ^{ns}	2,06 ^{ns}	64,63 ^{ns}	1,53 ^{ns}
BSP x D	0,60 ^{ns}	1,89 ^{ns}	1,38 ^{ns}	0,32 ^{ns}	2,82 [*]
DMS (5%) - BSP	-	-	-	0,47	-
Regressão - D	-	-	-	-	-
CV (%)	15,83	18,87	9,73	6,69	15,02
Médias	164,81	39,84	25,32	10,96	55,39

* e^{ns} – significativo a 1 e 5% de probabilidade, e não significativo pelo teste de F, respectivamente. Médias seguidas por letras distintas, minúsculas nas colunas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV – Coeficiente de variação. DMS – diferença mínima significativa.

O desdobramento da inoculação de bactérias solubilizadoras de fósforo via tratamento de semente associado às doses de fósforo aplicado no sulco de semeadura para a concentração de boro, teve decréscimo de 14,6 mg kg⁻¹ na amostra com inoculação, quando se aplicou 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (Quadro 19). Para o efeito de doses, na ausência de inoculação, à medida que aumentaram as doses de P₂O₅, aumentaram as concentrações foliares de Boro.

Quadro 10. Desdobramento da interação entre a inoculação de bactérias solubilizadoras de P associada às doses de fósforo (P₂O₅) no sulco de semeadura do milho safrinha na concentração foliar de boro da cultura do milho. Naviraí, MS, 2020.

TRATAMENTOS	Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)				
	0	25	50	75	100
Bactérias solubilizadoras de P (BSP)	Concentração foliar de B (mg kg ⁻¹)				
Ausente	46,5 ⁽¹⁾	56,0	54,7	62,1	62,0 a

<i>Bacillus subtilis</i> e <i>B. megaterium</i>	56,0	62,8	50,6	55,6	47,4 b
DMS (5%) - I	12,07				
Regressão - D	RL				

⁽¹⁾ $y = 48,9000 + 0,1478x$ (R=0,83); **, * e ns – significativo a 1 e 5% de probabilidade, e não significativo pelo teste de F, respectivamente. Médias seguidas por letras minúsculas nas colunas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Na safrinha de milho 2020, para o solo arenoso, município de Naviraí - MS, apenas o número de grãos por fileira apresentou diferença significativa para as bactérias solubilizadoras de P sendo essa variável influenciada negativamente pelo tratamento de semente com bactérias solubilizadoras de fósforo, com decréscimo de 1,9 grãos por fileira isso se deve ao fato dos *Bacillus* não ter sofrido efeito simbiótico com a rizosfera em solos com altos teores de fósforo (Quadro 20).

Estudos mostram que a inoculação de bactérias associada à adubação fosfatada proporciona um melhor desenvolvimento da planta e conseqüentemente nos componentes produtivos.

Efeitos positivos do tratamento de semente com bactérias solubilizadoras de fósforo e uso de adubação fosfatada foi verificado por Pereira et al. (2020) beneficiando o desenvolvimento dos componentes produtivos, promovendo aumento de 39,5% na produtividade de grãos quando comparado ao tratamento controle, divergindo dos dados desse experimento.

Já no estudo realizado por Mazzuchelli et al. (2014) foi verificado que o efeito da inoculação de *B. subtilis* no crescimento e na produção de milho safrinha no norte do Paraná aumentou a produtividade em aproximadamente 17% e 14,6% com a inoculação no sulco de semeadura e na semente de milho, respectivamente. Do mesmo modo, Paiva et al. (2020), estudaram os efeitos da inoculação de sementes associados a adubação fosfatada sobre plantas milho conduzidas em diferentes localidades, notaram incrementos na produtividade de grãos de 13,7% em Sete Lagoas e 6,5% em Santo Antônio do Itambé, chegando a 50% quando comparado ao tratamento sem adubação.

Quadro 11. Número de grãos por fileira e fileira por espiga, população final, massa de 100 grãos e produtividade, obtidos em tratamentos com a inoculação de bactérias solubilizadoras de P associada às doses de fósforo (P₂O₅) no sulco de semeadura do milho safrinha. Naviraí, MS, 2020.

TRATAMENTOS	Nº de grãos	Nº de fileiras	Pop. Final (plantas ha ⁻¹)	Massa de 100 grãos (g)	Produtividade (sc ha ⁻¹)
-------------	-------------	----------------	--	------------------------	--------------------------------------

	por fileira	por espiga			
Bactérias solubilizadoras de P (BSP)					
Ausente	30,1 a	17,7	40.642	34,3	112,2
<i>Bacillus subtilis</i> e <i>B. megaterium</i>	28,2 b	17,9	40.142	33,6	109,2
Doses de P₂O₅ (kg ha⁻¹)					
0	29,2	17,8	39.964	34,3	107,3
25	27,8	17,8	39.285	34,4	107,9
50	29,7	17,7	41.964	33,9	110,2
75	29,2	17,9	41.785	33,7	117,5
100	29,8	17,8	41.964	33,4	110,8
Teste F					
BSP	4,61 *	1,42 ^{ns}	0,04 ^{ns}	2,83 ^{ns}	0,25 ^{ns}
Doses de P ₂ O ₅ - D	0,60 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,75 ^{ns}	0,68 ^{ns}	0,38 ^{ns}
BSP x D	2,54 ^{ns}	2,16 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,90 ^{ns}	0,45 ^{ns}
DMS (5%) - BSP	1,86	-	-	-	-
Regressão - D	-	-	-	-	-
CV (%)	9,85	3,11	17,93	4,06	16,72
Médias	29,21	17,85	40.392	33,98	110,78

** e ^{ns} – significativo a 1 e 5% de probabilidade, e não significativo pelo teste de F, respectivamente. Médias seguidas por letras, minúsculas nas colunas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV – Coeficiente de variação. DMS – diferença mínima significativa.

E ainda, Mohammadi et al. (2003) observaram que o peso do grão e o número de grãos por espiga foram os componentes mais importantes na predição do rendimento de grãos. Todavia, será necessários realizar mais estudos, principalmente nos dois municípios, pois, somente com informações contínuas serão produzidos dados suficientes para argumentar os possíveis sucessos e entraves da região quando for tratado da utilização da inoculação de bactérias solubilizadoras de P associada às doses de fósforo.

4.2.2 Soja Safra 2020/21

Verificou-se interação entre o tratamento de semente x doses de P₂O₅ apenas na concentração de N foliar da soja cultivada no solo arenoso no município de Naviraí - MS (Quadro 21). Onde ocorreu o tratamento de sementes houve de 0,7 g kg⁻¹ na concentração de fósforo e 0,2 g kg⁻¹ no magnésio, no entanto, para as concentrações de K e Ca, notou-se reduções onde se tinha a presença do tratamento.

Quadro 12. Concentração foliar de macronutrientes na soja obtidos em tratamentos com a inoculação de bactérias solubilizadoras de P associada às doses de fósforo (P₂O₅) no sulco de semeadura do milho safrinha. Naviraí, MS, 2020/21.

TRATAMENTOS	N	P	K	Ca	Mg	S
Bactérias solubilizadoras de P (BSP)	-----g kg ⁻¹ -----					

Ausente	63,7	4,0 b	20,3 a	10,5 a	4,0 b	4,0
<i>Bacillus subtilis</i> e <i>B. megaterium</i>	61,7	4,7 a	18,8 b	9,1 b	4,2 a	4,0
Doses de P₂O₅ (kg ha⁻¹)						
0	63,9	4,2	19,2	10,3	4,1	4,5
25	61,6	4,2	19,4	10,3	4,0	4,5
50	61,9	4,4	19,4	9,6	4,0	4,3
75	63,7	4,4	19,8	9,5	4,1	4,3
100	62,4	4,6	19,9	9,4	4,1	4,3
Teste F						
BSP	2,93 ^{ns}	41,09 ^{**}	12,87 [*]	34,08 ^{**}	11,93 ^{**}	0,21 ^{ns}
Doses de P ₂ O ₅ - D	0,64 ^{ns}	2,52 ^{ns}	0,43 ^{ns}	2,53 ^{ns}	0,57 ^{ns}	1,58 ^{ns}
BSP x D	3,00 [*]	0,92 ^{ns}	0,54 ^{ns}	0,78 ^{ns}	0,34 ^{ns}	2,49 ^{ns}
DMS (5%) - BSP	-	0,19	0,83	0,47	0,12	-
Regressão - D	-	-	-	-	-	-
CV (%)	5,87	6,90	6,60	7,43	4,57	5,39
Médias	62,73	4,39	19,57	9,87	4,10	4,42

^{**}, ^{*} e ^{ns} – significativo a 1 e 5% de probabilidade, e não significativo pelo teste de F, respectivamente. Médias seguidas por letras minúsculas nas colunas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV – Coeficiente de variação. DMS – diferença mínima significativa

O desdobramento da interação entre o tratamento de semente x doses de P₂O₅ do teor de N foliar resultou que na dose de 25 kg ha⁻¹ de P₂O₅ no sulco de semeadura do milho antecessor na ausência do tratamento de semente foi 8,4 g kg⁻¹ maior do que na mesma dose com tratamento (Quadro 22).

Quadro 13. Desdobramento da interação entre a inoculação de bactérias solubilizadoras de P associada às doses de fósforo (P₂O₅) no sulco de semeadura do milho safrinha na concentração foliar de nitrogênio da cultura da soja sucessora. Naviraí, MS, 2020/21.

TRATAMENTOS	Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)				
	0	25	50	75	100
Bactérias solubilizadoras de P (BSP)	Concentração foliar de N (g kg ⁻¹)				
Ausente	65,9 ⁽¹⁾	65,8 a	63,0	62,4	61,4
<i>Bacillus subtilis</i> e <i>B. megaterium</i>	61,9	57,4 b	60,9	64,9	63,5
DMS (5%) - I	5,34				
Regressão - D	RL				

⁽¹⁾y = 66,2200 - 0,0497x² (R=0,92); ^{**}, ^{*} e ^{ns} – significativo a 1 e 5% de probabilidade, e não significativo pelo teste de F, respectivamente. Médias seguidas por letras minúsculas nas colunas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para efeito de doses, na ausência do tratamento de semente, à medida que aumentaram as doses de P₂O₅ diminuíram a concentração de N foliar (Quadro 22). Neste caso, pode ter ocorrido efeito antagônico entre a presença de *Bacillus* e aumento de doses de P₂O₅.

As concentrações foliares na cultura da soja apresentaram incremento significativo de ferro, manganês, zinco e cobre com a utilização das bactérias

solubilizadoras de fósforo no tratamento de semente, sendo os acréscimos de: 15,6; 16,7; 3,2 e 1,9 mg kg⁻¹ de ferro, manganês, zinco e cobre, respectivamente (Quadro 23).

Portanto, fica destacado que os microrganismos solubilizadores de P liberam ácidos orgânicos, como ácido húmico e ácido fúlvico (PRABHU; BORKAR; GARG, 2019), que podem inibir reações químicas entre cátions altamente reativos, impedindo-os de formar compostos insolúveis e indisponíveis para a absorção das plantas (LEE *et al*, 2012), como por exemplo o ferro e alumínio, liberando formas solúveis de P.

Quadro 14. Concentração foliar de micronutrientes na soja obtidos em tratamentos com a inoculação de bactérias solubilizadoras de P associada às doses de fósforo (P₂O₅) no sulco de semeadura do milho safrinha. Naviraí, MS, 2020/21.

TRATAMENTOS	Fe	Mn	Zn	Cu	B
	----- mg kg ⁻¹ -----				
Bactérias solubilizadoras de P (BSP)					
Ausente	97,6 b	59,8 b	37,9 b	7,7 b	61,0
<i>Bacillus subtilis</i> e <i>B. megaterium</i>	113,2 a	76,5 a	41,1 a	9,6 a	63,1
Doses de P₂O₅ (kg ha⁻¹)					
0	108,2	70,6	40,0	8,7	57,8
25	111,4	65,5	38,0	8,3	63,8
50	105,4	68,9	40,9	8,7	59,6
75	97,6	65,4	38,9	9,1	62,2
100	104,3	70,3	39,8	8,3	66,9
Teste F					
BSP	19,03 **	18,35 **	8,04 *	30,32 *	0,17 ns
Doses de P ₂ O ₅ - D	1,64 ns	0,34 ns	0,79 ns	0,65 ns	0,41 ns
BSP x D	0,37 ns	0,32 ns	0,62 ns	1,75 ns	0,02 ns
DMS (5%) - BSP	7,32	7,97	2,33	0,70	-
Regressão - D	-	-	-	-	-
CV (%)	10,70	18,04	9,11	12,50	25,05
Médias	105,42	68,17	39,56	8,66	62,10

**,* e ns – significativo a 1 e 5% de probabilidade, e não significativo pelo teste de F, respectivamente. Médias seguidas por letras minúsculas nas colunas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV – Coeficiente de variação. DMS – diferença mínima significativa

O número de vagens por planta apresentou interação entre tratamento de semente x doses de P₂O₅ (Quadro 24). A utilização das bactérias solubilizadoras de fósforo foi estatisticamente diferente para a altura de plantas de soja, sendo que o tratamento que recebeu o inoculante resultou em plantas com média 3,1 cm, menores do que as plantas que não receberam o tratamento.

Todavia, é importante salientar que a altura das plantas é importante para a colheita mecanizada, porém, não estar diretamente ligada com a produtividade e ainda

pode afetar negativamente o acamamento das plantas no caso de plantas muito altas e locais passíveis de temporais (LIMA et al., 2011).

Quadro 15. Número de grãos por planta, número de vagens por planta, altura final, população final, massa de 100 grãos e produtividade de soja, obtidos em tratamentos com a inoculação de bactérias solubilizadoras de P associada às doses de fósforo (P_2O_5) no sulco de semeadura do milho safrinha. Naviraí, MS, 2020.

TRATAMENTOS	Nº de grãos por planta	Nº de vagens por planta	Altura (cm)	Pop. Final (plantas ha ⁻¹)	Massa de 100 grãos (g)	Produtividade (sc ha ⁻¹)
Bactérias solubilizadoras de P (BSP)						
Ausente	159,6	80,7	123,1 a	163.000	16,6	50,2
<i>Bacillus subtilis</i> e <i>B. megaterium</i>	138,8	71,0	120,0 b	152.666	16,5	50,2
Doses de P_2O_5 (kg ha⁻¹)						
0	160,6	87,7	120,3	163.750	16,5	48,5
25	128,8	61,5	116,6	165.416	16,8	55,0
50	147,3	75,9	125,9	147.083	16,5	49,3
75	145,0	71,4	124,1	155.000	16,5	50,4
100	162,1	81,6	121,1	157.916	16,4	48,1
Teste F						
BSP	2,61 ^{ns}	3,31 ^{ns}	4,59 [*]	0,96 ^{ns}	0,11 ^{ns}	0,00 ^{ns}
Doses de P_2O_5 - D	0,90 ^{ns}	2,79 [*]	4,81 ^{ns}	0,38 ^{ns}	0,66 ^{ns}	2,07 ^{ns}
BSP x D	2,11 ^{ns}	3,38 [*]	1,40 ^{ns}	0,47 ^{ns}	1,59 ^{ns}	1,63 ^{ns}
DMS (5%) - BSP	-	-	2,99	-	-	-
Regressão - D	-	-	-	-	-	-
CV (%)	27,26	22,34	3,79	18,29	3,62	11,02
Médias	149,23	75,90	121,57	157.833	16,57	50,2

^{**}, ^{*} e ^{ns} – significativo a 1 e 5% de probabilidade, e não significativo pelo teste de F, respectivamente. Médias seguidas por letras minúsculas nas colunas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV – Coeficiente de variação. DMS – diferença mínima significativa

Para a interação bactérias solubilizadoras de P x doses de P_2O_5 , observou-se que sem adição de P_2O_5 com a inoculação das bactérias solubilizadoras, verificou-se a maior redução com 32 vagens por planta, para a dose de 25 kg ha⁻¹ de P_2O_5 com a presença das bactérias solubilizadoras de fósforo no tratamento de semente, houve incremento de 24,8 vagens por plantas (Quadro 25).

Os resultados obtidos neste trabalho, para o solo de baixa fertilidade (arenoso) como é o caso do solo de Naviraí – MS, diferem dos encontrados por Oliveira et al., (2020), que encontraram efeito significativo na produtividade do milho para inoculação de *B. megaterium* e *B. subtilis* separadamente, em solo de baixa fertilidade. Os autores ainda destacaram que, a inoculação de *B. megaterium* e *B. subtilis* associado a 50% da

dose de P, proporcionou produtividade do milho superior ao tratamento com 100% da dose de P sem a inoculação, o que não se observou na presente pesquisa.

Quadro 16. Desdobramento da interação entre a inoculação de bactérias solubilizadoras de P associada às doses de fósforo (P₂O₅) no sulco de semeadura do milho safrinha no número de vagens por planta na cultura da soja sucessora. Naviraí, MS, 2020/21.

TRATAMENTOS	Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)				
	0	25	50	75	100
Bactérias solubilizadoras de P (BSP)	Nº de vagens por planta				
Ausente	103,7 a	49,1 b	82,8	74,2	94,0
<i>Bacillus subtilis</i> e <i>B. megaterium</i>	71,7 b	73,9 a	69,0	67,6	71,8
DMS (5%) - I	24,64				
Regressão - D	-				

**,* e ns – significativo a 1 e 5% de probabilidade, e não significativo pelo teste de F, respectivamente. Médias seguidas por letras minúsculas nas colunas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Estes resultados sugerem a necessidade da realização de novos estudos nas mesmas condições, principalmente em diferentes níveis de fertilidade do solo, para mensurar os efeitos desta inoculação e indicar as situações em que o uso desta tecnologia é eficiente.

4.2.3 Milho Safra 2021

Para as concentrações de macronutrientes foliar na cultura do milho em função do tratamento de semente e doses de P₂O₅ no sulco de semeadura apresentou interação apenas para a variável N (Quadro 26). As concentrações de P, K e Ca foram influenciadas tanto pelo tratamento de semente quanto pelas doses de P₂O₅. Houve decréscimo de 0,3 g kg⁻¹ de P quando se utilizou as bactérias solubilizadoras de fósforo no tratamento de semente, já para as doses de P₂O₅, à medida que aumentaram as doses de P₂O₅ aumentaram as concentrações de P foliar.

Para a concentração de K e Ca, as bactérias solubilizadoras no tratamento de sementes proporcionaram efeito positivo com incremento de 1,9 e 0,9 g kg⁻¹ para o K e Ca, respectivamente.

Deve ser observado que o N, P e K apresentaram concentrações que são consideradas deficientes de acordo com Malavolta et al. (1997), mas, o Ca, Mg e o S tiveram seus teores dentro da faixa considerada adequada. Contudo, além do balanço

destes nutrientes devemos considerar solo e clima, como características que resultam no sucesso da produção.

Quadro 17. Teor foliar de macronutrientes no milho obtidos em tratamentos com a inoculação de bactérias solubilizadoras de P associada às doses de fósforo (P₂O₅) no sulco de semeadura do milho safrinha. Naviraí, MS, 2021.

TRATAMENTOS	-----g kg ⁻¹ -----					
	N	P	K	Ca	Mg	S
Bactérias solubilizadoras de P (BSP)						
Ausente	34,1	2,8 a	17,8 b	5,2 b	2,8	2,6
<i>Bacillus subtilis</i> e <i>B. megaterium</i>	33,6	2,5 b	19,7 a	6,1 a	2,9	2,6
Doses de P₂O₅ (kg ha⁻¹)						
0	33,2	2,3 ⁽¹⁾	19,7 ⁽²⁾	5,1 ⁽³⁾	2,7	2,5
25	33,3	2,4	19,8	5,7	2,8	2,5
50	34,7	2,7	18,9	5,9	2,9	2,7
75	33,1	2,9	18,1	5,8	3,0	2,7
100	35,0	2,8	17,3	5,8	3,0	2,5
Teste F						
BSP	0,61 ^{ns}	11,52 ^{**}	22,32 ^{**}	36,28 ^{**}	1,06 ^{ns}	0,13 ^{ns}
Doses de P ₂ O ₅ - D	1,43 ^{ns}	5,79 ^{**}	5,80 ^{**}	3,05 [*]	0,92 ^{ns}	1,43 ^{ns}
BSP x D	3,60 [*]	0,61 ^{ns}	0,90 ^{ns}	1,73 ^{ns}	1,87 ^{ns}	2,36 ^{ns}
DMS (5%) - BSP	-	0,19	0,80	0,32	-	-
Regressão - D	-	RL	RL	RQ	-	-
CV (%)	6,23	10,94	6,57	8,78	14,18	8,20
Médias	33,89	2,68	18,79	5,70	2,91	2,62

⁽¹⁾y = 2,3950 + 0,0057x (R=0,82); ⁽²⁾y = 20,0700 - 0,0255x (R=0,92); ⁽³⁾y = 5,2110 + 0,0217x - 0,0001x² (R=0,93); **, * e ns – significativo a 1 e 5% de probabilidade, e não significativo pelo teste de F, respectivamente. Médias seguidas por letras minúsculas nas colunas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV – Coeficiente de variação. DMS – diferença mínima significativa

De acordo com desdobramento da interação do tratamento de sementes x doses de 25 kg ha⁻¹ de P₂O₅, houve decréscimo de 4,8 g kg⁻¹ na média das amostras que receberam o tratamento, essa redução representa 13,4% de redução (Quadro 27).

Quadro 18. Desdobramento da interação entre a inoculação de bactérias solubilizadoras de P associada às doses de fósforo (P₂O₅) no sulco de semeadura do milho safrinha na concentração foliar de nitrogênio da cultura do milho. Naviraí, MS, 2020.

TRATAMENTOS	----- Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹) -----				
	0	25	50	75	100
Bactérias solubilizadoras de P (BSP)					
Ausente	32,2	35,7 a	34,6	34,1	34,1
<i>Bacillus subtilis</i> e <i>B. megaterium</i>	34,3	30,9 b	34,8	32,2	34,8
DMS (5%) - I	1,05				

* e ns – significativo a 1 e 5% de probabilidade, e não significativo pelo teste de F, respectivamente. Médias seguidas por letras minúsculas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A interação entre tratamento de sementes \times doses de 25 kg ha⁻¹ de P₂O₅, foi significativa apenas para o teor de Cu foliar (Quadro 28). O tratamento de sementes foi significativo para todas as variáveis e as doses de P₂O₅, somente para Mn (Quadro 28).

Quadro 19. Concentração foliar de micronutrientes no milho obtidos em tratamentos com a inoculação de bactérias solubilizadoras de P associada às doses de fósforo (P₂O₅) no sulco de semeadura do milho safrinha. Naviraí, MS, 2021.

TRATAMENTOS	Fe	Mn	Zn	Cu	B
	----- mg kg ⁻¹ -----				
Bactérias solubilizadoras de P (BSP)					
Ausente	149,0 a	68,2 a	22,4 a	4,9	4,5 b
<i>Bacillus subtilis</i> e <i>B. megaterium</i>	118,6 b	50,5 b	18,0 b	6,9	5,3 a
Doses de P₂O₅ (kg ha⁻¹)					
0	128,4	53,8 ⁽¹⁾	20,7	5,8	4,8
25	131,9	53,0	18,7	5,7	5,1
50	139,8	61,0	20,8	6,3	5,0
75	138,2	63,0	20,2	5,8	4,9
100	130,5	65,8	20,7	6,1	4,8
Teste F					
BSP	106,23 **	39,90 **	41,18 **	148,52 **	15,25 **
Doses de P ₂ O ₅ - D	2,29 ns	3,30 *	1,34 ns	2,07 ns	0,30 ns
BSP \times D	1,41 ns	0,97 ns	1,73 ns	11,88 **	0,47 ns
DMS (5%) - BSP	-	5,74	1,39	-	0,42
Regressão - D	-	RL	-	-	-
CV (%)	6,98	14,93	10,62	8,99	13,21
Médias	133,81	59,36	20,24	5,96	4,96

⁽¹⁾y = 52,5500 + 0,1363x² (R=0,89); **, * e ns – significativo a 1 e 5% de probabilidade, e não significativo pelo teste de F, respectivamente. Médias seguidas por letras, minúsculas nas linhas, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV – Coeficiente de variação. DMS – diferença mínima significativa

Os micronutrientes foliares Fe, Mn e Zn na cultura do milho safrinha apresentaram decréscimo comparado com a testemunha, quando se utilizou as bactérias solubilizadoras de fósforo no tratamento de sementes. A redução chegou a 30,4 mg kg⁻¹ no teor foliar de Fe, 17,7 mg kg⁻¹ no teor de Mn e 4,4 mg kg⁻¹ no teor de Zn. Já a concentração de B incrementou em 0,8 mg kg⁻¹, com a utilização das bactérias solubilizadoras no tratamento de sementes.

A concentração de cobre foliar no milho apresentou interação significativa para efeito do tratamento de semente \times doses de P₂O₅, assim a utilização das bactérias solubilizadoras proporcionou incremento em todas as doses avaliadas, sendo que o efeito

de doses na ausência foi que à medida que aumentaram as doses, diminuíram a concentração de cobre e, na presença das bactérias, à medida que aumentaram as doses, aumentaram a concentração de cobre (Quadro 29).

Quadro 20. Desdobramento da interação entre a inoculação de bactérias solubilizadoras de P associada às doses de fósforo (P₂O₅) no sulco de semeadura do milho safrinha na concentração foliar de cobre da cultura do milho. Naviraí, MS, 2020.

TRATAMENTOS	Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)				
	0	25	50	75	100
Bactérias solubilizadoras de P (BSP)	Concentração foliar de Cu (mg kg ⁻¹)				
Ausente	5,4 b ⁽¹⁾	5,2 b	5,1 b	4,6 b	4,1 b
<i>Bacillus subtilis</i> e <i>B. megaterium</i>	6,2 a ⁽²⁾	6,1 a	7,5 a	6,9 a	8,1 a
DMS (5%) - I	0,77				
Regressão - D	RL				

⁽¹⁾ $y = 5,5400 - 0,0122x^2$ (R=0,91); ⁽²⁾ $y = 6,0650 + 0,0186x^2$ (R=0,72); ** e ^{ns} – significativo a 1 e 5% de probabilidade, e não significativo pelo teste de F, respectivamente. Médias seguidas por letras, minúsculas nas, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Com relação aos componentes de produção só foi verificado efeito do tratamento de semente para o número de fileira por espiga, onde foi feita a inoculação houve média de redução de 2,5 no número de fileira por espiga (Quadro 30). Já para a produtividade teve efeito das doses de P₂O₅, à medida que aumentaram a doses houve aumento de produtividade.

Na prática, respostas às doses muito altas de P são comuns em solos com baixos teores de fósforo disponível. Talvez por isso, para este estudo foi verificado baixa resposta ao tratamento de sementes com *Bacillus* para o uso de doses crescentes de P, já que, os teores de P observados nas análises químicas de solo apresentaram teores adequados.

Como não foi fonte deste estudo, sugere-se que, uma das alternativas para melhorar todos os parâmetros produtivos do milho, seja o uso de fertilizante fosfatado, essencialmente mineral, revestido com polímero, associado aos chamados bioestimulantes. Pois, estudos mostraram o incremento na produtividade de grãos de até 3,48 t ha⁻¹, comparado à testemunha (FIGUEIREDO et al., 2012), apenas com os adubos revestidos e pode ser potencializado com o uso dos *Bacillus*.

Quadro 21. Número de fileira por espiga e grãos por fileira, massa de 100 grãos e produtividade, obtidos em tratamentos com a inoculação de bactérias solubilizadoras de

P associada às doses de fósforo (P₂O₅) no sulco de semeadura do milho safrinha. Naviraí, MS, 2021.

TRATAMENTOS	Nº de fileiras por espiga	Nº de grãos por fileira	Massa de 100 grãos (g)	Produtividade (sc ha ⁻¹)
Bactérias solubilizadoras de P (BSP)				
Ausente	17,0 a	25,3	20,4	69,7
<i>Bacillus subtilis</i> e <i>B. megaterium</i>	14,5 b	21,7	27,1	66,8
Doses de P₂O₅ (kg ha⁻¹)				
0	14,8	22,1	19,0	63,3 ⁽¹⁾
25	16,9	24,7	19,4	65,9
50	17,2	24,7	40,8	70,6
75	15,1	23,4	19,8	71,0
100	14,7	22,7	19,3	70,2
Teste F				
BSP	4,66 *	3,65 ^{ns}	0,67 ^{ns}	1,75 ^{ns}
Doses de P ₂ O ₅ - D	0,85 ^{ns}	0,30 ^{ns}	1,10 ^{ns}	1,95 ^{ns}
BSP x D	0,53 ^{ns}	0,77 ^{ns}	0,99 ^{ns}	0,37 ^{ns}
DMS (5%) - BSP	-	-	-	-
Regressão - D	-	-	-	RL
CV (%)	25,73	27,99	120,35	11,37
Médias	15,78	23,56	23,81	68,25

⁽¹⁾ $y = 64,4640 + 0,0757x$ ($R^2=0,76$); **, * e ^{ns} – significativo a 1 e 5% de probabilidade, e não significativo pelo teste de F, respectivamente. Médias seguidas por letras minúsculas nas colunas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV – Coeficiente de variação. DMS – diferença mínima significativa

Não obstante, busca-se aprimorar a eficiência dos fertilizantes, adotado tecnologias tais como os inoculantes adicionados no tratamento de sementes. A adição destes inoculantes pode acelerar a liberação do fósforo inorgânico ou orgânico, não disponíveis, promovendo a disponibilização para absorção pelas plantas, além de enriquecer o solo biologicamente (OWEN et al., 2015). E ainda, incrementar de 13,7% na produtividade em solo com baixo teor de P e de 6,5% em solo com alto teor de P (OLIVEIRA et al., 2020).

A ausência de resposta à inoculação deste experimento pode ser explicada pelas condições climáticas favoráveis. Nessas condições, os microrganismos podem não ser capazes de mostrar o seu potencial. Segundo Richardson e Simpson (2011), as interações entre microrganismos e plantas em condições de campo são bastante complexas e difíceis de compreender, tendo como consequência resposta altamente variável à inoculação.

Isto posto, o fato é que a utilização de microrganismos do gênero *Bacillus* vem ganhando destaque no cenário nacional com produtos comerciais em forte crescimento. Contudo, estudo de grande escala deve ser replicado o máximo possível, para produzir

dados suficientes e seguro que subsidiem tanto os produtores como a assistência técnica como um todo.

5. CONCLUSÕES

Não houve interação entre as bactérias solubilizadoras de fósforo \times doses de P_2O_5 , para o milho safrinha 2020 e a soja 2020/21, no experimento de Maracajú – MS. Para as concentrações foliares dos macronutrientes na cultura da soja verificou-se que o N, P, apresentaram incrementos com a presença das bactérias solubilizadoras de fósforo. Os componentes de produção e produtividade do milho safrinha 2020 não foram influenciados pela adubação fosfatada e inoculação com solubilizadores. Na safra de soja 2020/21, s componentes de produção foram influenciados pela interação entre as bactérias solubilizadoras de fósforo \times das doses de P_2O_5 .

Na safrinha de milho em 2021, no município de Maracajú – MS, não foi verificado interação entre a inoculação das bactérias *x* das doses de P₂O₅.

Na safrinha de milho 2021 em Naviraí – MS houve interação entre as bactérias solubilizadoras de fósforo *x* das doses de P₂O₅, nas concentrações foliares de P e K. Os componentes de produção da soja safra 2020/21 não foi influenciado. Na só houve interação entre o tratamento de semente *x* doses de P₂O₅ apenas na concentração de N foliar. No milho safra 2020/21 concentrações de macronutrientes foliar em função do tratamento de semente e doses de P₂O₅ no sulco de semeadura apresentou interação apenas para a variável N. A produtividade alterou em função do tratamento de semente *x* doses de P₂O₅.

Foi verificado baixa resposta ao tratamento de sementes com *Bacillus* para o uso de doses crescentes de P, já que, os teores de P observados nas análises químicas de solo apresentaram teores adequados.

6. REFERÊNCIAS

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

ALVES, L.; MENDOZA, E.A.; SILVA FILHO, G.N. Microrganismos solubilizadores de fosfatos e o crescimento de pinus e eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 4, p. 939-947, 2002.

ANGHINONI, I.A.; BARBER, S.A. Phosphorus influx and growth characteristics of corn roots as influenced by phosphorus supply. **Agronomy Journal**, v. 72, n. 4, p. 685-688, 1980.

ARAÚJO, F.F. Inoculação de sementes com *Bacillus subtilis*, formulado com farinha de ostras e desenvolvimento de milho, soja e algodão. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 2, p. 456-462, 2008.

BALDOTTO, L.E.B.; SILVA, L.G. Jr. dos S.; CANELLAS, L.P.; OLIVARES, F.L.; BALDOTTO, M.A. Initial growth of maize in response to application of rock phosphate, vermicompost and endophytic bacteria. **Revista Ceres**, v. 59, n. 2, p. 262-270. 2012.

BALIAH, N.T.; PANDIARAJAN, G.; KUMAR, B. Isolation, identification and characterization of phosphate solubilizing bacteria from different crop soils of Srivilliputtur Taluk, Virudhunagar District, Tamil Nadu. **Tropical Ecology**, v. 57, n. 3, p. 465-474, 2016.

BRADY, N.C.; WEIL, R.R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 790p.

CARVALHO, F.T.; NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.V.H.; BARROS, N.F.; CANTARUTTI, R.B.; BAHIA FILHO, A.F.C. Sistema de interpretação de análise de solo para recomendação de NPK para a cultura do milho. **Revista Ceres**, v. 53, n. 306, p. 211-223, 2006.

CHANG, S.C.; JACKSON, M.L. **Fractionation of soil phosphorus**. Soil Science, Baltimore, v.84, p.133-144, 1957.

COMPANHIA NACIONAL de ABASTECIMENTO (CONAB). **Produção de 246 milhões de toneladas garante o recorde de safra de grãos. Brasília/DF. 13 de novembro de 2019**. Disponível em: [<https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/3140-produção-de-246-milhões>] de toneladas-garante-o-recorde-da-safra-de-grãos]. Acesso em: 08 de setembro de 2020.

CONDRON, L.M.; GOH, K.M.; NEWMAN, R.H. Nature and distribution of soil phosphorus as revealed by a sequential extraction method followed by ³¹P nuclear magnetic resonance analysis. **Journal of Soil Science**, Oxford, 36:199-207, 1985.

CONDRON, L.M.; GOH, K.M. Effects of long-term phosphatic fertilizer applications on amounts and forms of phosphorus in soils under irrigated pasture in New Zealand. **Journal of Soil Science**, v. 40, p. 383-395, 1989.

COSTA, D.D.A. **Fracionamento do fósforo no solo em função dos sistemas de manejo**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, p. 1. 2019.

DONAGEMMA, G.K.; FREITAS, P.L.; BALIEIRO, F.C.; FONTANA A. Characterization, Agricultural potential, and perspectives for the management of light soils in Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p.1003-1020. 2016.

DESMIDT, E.; GHYSELBRECHT, K.; ZHANG, Y.; PINOY, L.; BRUGGEN, B.V.D.; VERSTRAETE, W.; RABAEY, K.; MEESSCHAER, T.B. **Environmental Science & Technology**, v. 45, n. 5, p.336. 2015.

FERREIRA, D.F. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 38, p. 109-112, 2014.

FIGUEIREDO, C.C.; BARBOSA, D.V.; OLIVEIRA, S.A.; FAGIOLI, M.; SANTO, J.H. Adubo fosfatado revestido com polímero e calagem na produção e parâmetros morfológicos de milho. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 3, p. 446-452, 2012.

GADD, G. Fungal production of citric and oxalic acid: importance of metal specification, physiology and biochemical processes. **Advances in Microbial Physiology**, v. 41, p. 47-92, 1999.

GATIBONI, L.C; CONDRON, L.M. A rapid fractionation method for assessing key soil phosphorus parameters in agroecosystems. **Geoderma**, v, 383, p. 114893, 2021.

GOSWAMI, D.; THAKKER, J. N. DHANDHUKIA, P.C. Portraying mechanics of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): a review. **Cogent Food & Agriculture**, v. 2, n. 1, p. 1127500, 2016.

GUPTA, G.; PARIHAR, S.S.; AHIRWAR, N.K.; SNEHI, S.K.; SINGH, V. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): current and future prospects for development of sustainable agriculture. **Journal of Microbial and Biochemical Technology**, v. 7, n. 2, p. 96-102, 2015.

HAAS, P.; DUARTE, A.P. Adubação fosfatada em sistemas produtivos de milho safrinha e soja. In: CONGRESSO INTERINSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 11., **Anais...** Campinas: Instituto Agrônomo, 2017. 14p.

HEDLEY, M.J.; STEWART, J.W.B.; CHAUHAN, B.S. Changes in inorganic and organic soil phosphorus fractions induced by cultivation practices and by laboratory incubations. **Soil Science Society of American Journal**, v. 46, p. 970-976, 1982.

HENRIQUES, A.O.; MORAN JUNIOR, C.P. Structure and assembly of the bacterial endospore coat. **Methods**, v. 20, p. 95-110, 2000.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO (IMB). Informações e análises da economia mineral brasileira. 5. ed. Brasília, DF, 2010. Disponível em: Acesso em: 15 nov. 2017.

JURBURG, S.D.; SALLES, J.F. Functional redundancy and ecosystem function—the soil microbiota as a case study. **Biodiversity in ecosystems-linking structure and function**, p. 29-49, 2015.

KHAN, M.S.; ZAIDI, A.; AHMAD, M.; OVES, M.; WANI, P.A. Plant growth promotion by phosphate solubilizing fungi - current perspective. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 56, n. 1, p. 73-98, 2010.

KHAN, M.S.; ZAIDI, A.; WANI, P.A. Role of phosphate solubilizing microorganisms in sustainable agriculture—a review. **Sustainable Agriculture**, p. 551-570, 2009.

KUO, S. Phosphorus. In: SPARKS, D.L.; PAGE, A.L.; HELMKE, P.A. (Eds.) **Methods of Soil Analysis: Chemical Methods**. Madison: SSSA, 1996. p. 869-920.

KURIHARA, C.H.; VENEGAS, V.H.A.; NEVES, J.C.L.; NOVAIS, R.F. DE; STAUT, L.A. Faixas de suficiência para teores foliares de nutrientes em algodão e em soja, definidas em função de índices DRIS. **Revista Ceres**, v. 60, n. 3, p. 412-419, 2013.

LANA, R.M.Q.; OLIVEIRA, S.A; LANA, Â.M.Q.; FARIA, M.V. Levantamento do estado nutricional de plantas de *Coffea arabica* L. pelo DRIS, na região do Alto Paranaíba – Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.1147-1156, 2010.

LEE, S.; YOON, J.Y.; JUNG, H.I.; LEE, D.J.; SHIN, D.Y.; HYUN, K.H.; KUK, Y.I. Ameliorative effects of squash (*Cucurbita moschata* Duchesne ex Poiret) leaf extracts on oxidative stress. **Plant Growth Regulation**, v. 67, p. 9-17. 2012.

LEITE, J.N.F. **Formas orgânicas e inorgânicas de fósforo no solo em função de plantas de cobertura e de adubação nitrogenada**. 2015. 67 f. Dissertação (Mestrado em agronomia) - UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP, Jaboticabal, SP, 2015.

LIMA, F.F.; DO VB FIGUEIREDO, M.; LIMA, L.M.; DE ARAÚJO, A.S.; NUNES, L.A.; DE ARAÚJO, F.F. *Bacillus subtilis* e adubação nitrogenada na produtividade do milho. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 6, n. 4, p. 657-661, 2011.

LOPES, A. **Fósforo é nutriente vital e finito para agricultura**. Globo Rural. São Paulo, 19, de Nov de 2018. Disponível em: <https://revistagloborural.globo.com/Noticias/Agricultura/noticia/2018/11/fosforo-e-nutriente-vital-e-finito-para-agricultura-diz-engenheiro-agronomo.html>. Acesso em 10 de set de 2020.

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

MANJULA, K.; PODILE, A.R. Increase in seedling emergence and dry weight of pigeon pea in the field with chitin-supplemented formulations of *Bacillus subtilis* AF 1. **World Journal of Microbiology & Biotechnology**, v.21, p.1057–1062, 2005.

MAZZUCHELLI, R.C.L.; SOSSAI, B.F.; ARAUJO, F.F. Inoculação de *Bacillus subtilis* e *Azospirillum brasilense* na cultura do milho. **Colloquium Agrariae**, v. 10, n. 2, p. 40-47. 2014.

MENDES, I.C.; REIS JÚNIOR, F.B. **Microrganismos e disponibilidade de fósforo (P) nos solos: uma análise crítica**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2003. 26 p. (Embrapa Cerrados. Documentos, 85).

MIGNACCA, F.A. **Fracionamento de fósforo de um argissolo vermelho distroférico submetido a manejos de correção e adubação em sistema de integração lavoura-pecuária**. 2016. 73 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - UNIVERSIDADE DO OESTE PAULISTA - Unoeste, Presidente Prudente, SP, 2016.

MOHAMMADI, S.A.; PRASANNA, B.M.; SINGH, N.N. Sequential path model for determining interrelationship among grain yield related characters in maize. **Crop Science**, v. 43, n. 5, p. 690-1697, 2003.

MORTATE, R.K.; NASCIMENTO, E.F.; de SOUZA GONÇALVES, E.G.; de PAULA LIMA, M.W. Resposta do milho (*Zea mays* L.) à adubação foliar e via solo de nitrogênio. **Revista de Agricultura Neotropical**, v.5, n.1, p.1-6, 2018.

MURPHY, J.; RILEY, J.P.A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chimica Acta*, v.27, p.31-36, 1962.

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: UFV, DPS, 1999. 399p.

OLIVEIRA-PAIVA, C.A.; COTA, L.V.; MARRIEL, I.E.; GOMES, E.A.; DE SOUSA, S.M.; LANA, U.D.P.; ALVES, V.M.C. **Viabilidade técnica e econômica do Biomaphos®(*Bacillus subtilis* CNPMS B2084 e *Bacillus megaterium* CNPMS B119) nas culturas de milho e soja**. Embrapa Milho e Sorgo-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E), 2020.

OTT, H. **Mercados de fertilizantes e sua interação com os preços de commodities e alimentos**. Relatório da Comissão Europeia 25392 PT, Luxemburgo: Serviço das Publicações da União Europeia. (22 de novembro de 2017) (2012).

OWEN, D.; WILLIAMS, A.; GRIFFITH, G.; WITHERS, P. Use of commercial bioinoculants to increase agricultural production through improved phosphorous acquisition. **Applied Soil Ecology**, v. 86, p. 41-54, 2015.

PAIVA, C.A.O.; MARRIEL, I.E.; GOMES, E.A.; COTA, L.V.; SANTOS, F.C.; TINOCO, S.M.S.; LANA, U.G.P.; OLIVEIRA, M.C.; MATTOS, B.B.; ALVES, V.M.C.; RIBEIRO, V.P.; VASCO JUNIOR, R. **Recomendação agronômica de cepas de *Bacillus subtilis* (CNPMS B2084) e *Bacillus megaterium* (CNPMS B119) na cultura do milho**. Sete Lagoas: Embrapa, 19 p. 2020.

PAULETTI, V. Nutrientes: **Teores e interpretações**. 2.ed. Castro, Fundação ABC, 2004.

PAVINATO, P.S.; ROSOLEM, C.A. Disponibilidade de Nutrientes no Solo – Decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 911-920, 2008.

PEREIRA, N.C.M.; GALINDO, F.S.; GAZOLA, R.P.D.; DUPAS, E.; ROSA, P.A.L.; MORTINHO, E.S.; TEIXEIRA FILHO, M.C.M. Corn yield and phosphorus use efficiency response to phosphorus rates associated with plant growth promoting bacteria. **Frontiers of Environmental Science**, v. 8, n. 40, p. 1-12, 2020.

PRABHU, N.; BORKAR, S.; GARG, S. Phosphate solubilization by microorganisms: overview, mechanisms, applications and advances. **Advances in biological science research**, p. 161-176, 2019.

RANNO, S.K.; SILVA, L.S.; MALLMANN, F.J.K. Fracionamento do fósforo inorgânico em solos de várzea do Rio Grande do Sul. **Current Agricultural Science and Technology**, v. 13, n. 1, p. 47-54, 2007.

- RICHARDSON, A.E.; SIMPSON, R.J. Soil microorganisms mediating phosphorous availability update on microbial phosphorous. **Plant Physiology**, v.156, n.3, p.989-996, 2011.
- ROCHA, A.T.; DUDA, G.P.; NASCIMENTO, C.W.A.; RIBEIRO, M.R. Fracionamento do fósforo e avaliação de extratores do P-disponível em solos da Ilha de Fernando de Noronha. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, p. 178-184, 2005.
- RODRIGUEZ, H.; FRAGA, R. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. **Biotechnology Advances**, v. 17, p. 319-339, 1999.
- ROSSI, C.Q.; PEREIRA, M.G.; GARCÍA, A.C.; PERIN, A.; GAZOLLA, P.R.; GONZÁLEZ, A.P. Fósforo em cronosequência de cana-de-açúcar queimada no cerrado goiano: análise de ácidos húmicos por RMN de ³¹P. **Química Nova**, v. 36, p. 1126-1130, 2013.
- SANTOS, A.F.; CORRÊA, B.O.; KLEIN, J.; BONO, J.A.M.; PEREIRA, L.C.; GUIMARÃES, V.F.; FERREIRA, M.B. Biometria e estado nutricional da cultura da aveia branca (*Avena sativa* L.) sob inoculação com *Bacillus subtilis* e *B. megaterium*. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 5, p. e53410515270-e53410515270, 2021.
- SANTOS, D.R.; GATIBONI, L.C.; KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v. 38, n. 2, p. 576-586, 2008.
- SANTOS, J.Z.L.; FURTINI NETO, A.E.; RESENDE, A.E.; CARNEIRO, L.F.; CURI, N.; MORETTI, B.S.; do VALE, L.A.R. Dinâmica de frações de fósforo em latossolo de cerrado com diferentes históricos de uso. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 33. **Anais...** Uberlândia, 2012.
- SHARMA, S.B.; SAYYED, R.Z.; TRIVEDI, M.H.; GOBI, T.A. Phosphate solubilizing microbes: sustainable approach for managing phosphorus deficiency in agricultural soils. **SpringerPlus**, v. 2, n. 1, p. 1-14, 2013.
- SILVA, F.C.; ABREU, M.F.; PÉREZ, D.V.; EIRA, P.A.; ABREU, C.A.; RAIJ, B.; GIANELLO, C.; COELHO, A.M.; QUAGGIO, J.A.; TEDESCO, M.J.; SILVA, C.A.; BARRETO, W.O. Métodos de análises químicas para fins de fertilidade do solo. In: SILVA, F.C. (Ed). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília, Distrito Federal, p.107-189, 2009.
- SOBRAL, L.F.; OLIVEIRA, C.A.; SANTOS, F.C. **Adubação organomineral no milho associada a microrganismos solubilizadores de fósforo**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros. 17 p. Boletim de Pesquisa, ISSN 1678-1961, 2018.
- VU, D.T.; TANG, C.; ARMSTRONG, R.D. Changes and availability of P fractions following 65 years of P application to a calcareous soil in a Mediterranean climate. **Plant and Soil**, v. 304, p. 21-34, 2008.

ZUCARELI, C.; BARZAN, R.R.; SILVA, J.B.D.; CHAVES, D.P. Associação de fosfatos e inoculação com *Bacillus subtilis* e seu efeito no crescimento e desempenho produtivo do feijoeiro. **Revista Ceres**, v. 65, p. 189-195, 2018.