

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CAMPUS MARECHAL CÂNDIDO RONDON**

GESSIKA TRES

**FRACIONAMENTO DE FÓSFORO EM FUNÇÃO DO MODO DE
APLICAÇÃO DA ADUBAÇÃO FOSFATADA E BIOSOLUBILIZADOR**

**MARECHAL CÂNDIDO RONDON – PARANÁ
2024**

GESSIKA TRES

**FRACIONAMENTO DE FÓSFORO EM FUNÇÃO DO MODO DE
APLICAÇÃO DA ADUBAÇÃO FOSFATADA E BIOSOLUBILIZADOR**

Tese apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, na linha de pesquisa Manejo de Culturas, para obtenção do título de Doctor Scientiae.

Orientadora: Prof^a. Dra. Maria do Carmo Lana

Coorientadores: Dr. Jucenei F. Frandoloso e Prof. Dr. Paulo Sérgio R. de Oliveira.

MARECHAL CÂNDIDO RONDON - PARANÁ

2024

1. Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

T796f

Tres, Gessika

Fracionamento de fósforo em função do modo de aplicação da adubação fosfatada e biosolubilizador. / Gessika Tres; orientadora, Maria do Carmo Lana; coorientador, Jucenei Fernando Frandaloso e Paulo Sérgio Rabello de Oliveira. - Marechal Cândido Rondon, 2024.

83 f.

Tese (Doutorado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Marechal Cândido Rondon, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Agronomia, 2024.

1. *Bacillus*. 2. Fracionamento de P. 3. Modos de aplicação P. I. Lana, Maria do Carmo, Orient. II. Frandaloso, Jucenei Fernando, Coor. III. Oliveira, Paulo Sérgio Rabello de, Coor. IV. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. III. Título.

CDD 22.ed. 631.85
CIP-NBR 12899



unioeste

Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Campus de Marechal Cândido Rondon - CNPJ 78680337/0003-46

Rua Pernambuco, 1777 - Centro - Cx. P. 91 - <http://www.unioeste.br>

Fone: (45) 3284-7878 - Fax: (45) 3284-7879 - CEP 85960-000

Marechal Cândido Rondon - PR.



PARANÁ

GOVERNO DO ESTADO

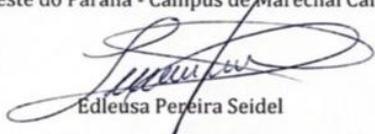
GESSIKA TRES

Fracionamento de fósforo em função do modo de aplicação da adubação fosfatada e biosolubilizador

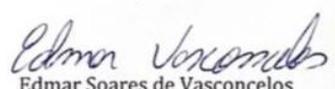
Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Doutora em Agronomia, área de concentração Produção Vegetal, linha de pesquisa Manejo de Culturas, APROVADA pela seguinte banca examinadora:


Orientadora - Maria do Carmo Lana

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Marechal Cândido Rondon (UNIOESTE)


Edleusa Pereira Seidel

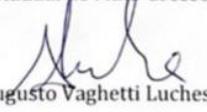
Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Marechal Cândido Rondon (UNIOESTE)


Edmar Soares de Vasconcelos

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Marechal Cândido Rondon (UNIOESTE)


Jean Sergio Rosset

Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS)


Augusto Vaghetti Luchese

Universidade Federal do Paraná (UFPR)

Marechal Cândido Rondon, 29 de maio de 2024

*Aos meu pais, Edegar Tres e Cibeli Rossi,
inspirações da minha vida!*

AGRADECIMENTOS

A Deus, por todo o amparo e acalento nos momentos em que o cansaço esteve presente!

À minha família e aos amigos, pessoas que me amam e que me acompanharam nesta jornada, pelo apoio e incentivo.

À Fazenda Santa Maria, gerente, esposa e funcionários, os quais não mediram esforços para me suportar, em todo o período, além da confiança a mim creditada.

À Família Sostisso e funcionários, pela amizade e parceria sem fim, os quais foram fundamentais do Mestrado ao Doutorado.

À instituição UNIOESTE, ao Laboratório de Fertilidade do solo e nutrição mineral de plantas e aos Doutores, Professora Maria do Carmo Lana e Jucenei Fernando Frandoloso.

À Doutora Tatiane Ohland, pela amizade e auxílio.

Ao Doutor e professor Edmar Soares de Vasconcelos, pelo apoio desmedido.

São inúmeras as pessoas que me auxiliaram, em todos os momentos. Sou grata a cada uma delas e as levo em meu coração, pois fizeram parte deste sonho!

***“Transportai um punhado de terra
todos os dias e fareis uma
montanha!”***

(Confúcio)

RESUMO

TRES, Gessika, Doctor Scientiae. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Maio - 2024. **Fracionamento de fósforo em função do modo de aplicação da adubação fosfatada e biosolubilizador.** Orientadora: Dr^a. Maria do Carmo Lana. Coorientadores: Dr. Jucenei Fernando Frandoloso e Dr. Paulo Sérgio Rabello de Oliveira.

O alto intemperismo dos Latossolos promove alta adsorção de fosfatos provenientes de fertilização mineral. O modo de aplicação do fósforo e o uso de bactérias solubilizadoras podem influenciar a disponibilidade de P no solo. O objetivo do trabalho foi avaliar a resposta das culturas e alterações nas formas de P inorgânico e orgânico em decorrência dos modos de aplicação do fertilizante fosfatado e uso de biosolubilizador. O delineamento foi o de blocos casualizados em parcelas subdivididas: parcela-modo de aplicação (100% P à lanço em superfície, 100% em linha de semeadura, ½ à lanço e ½ em linha e, sem P); subparcela-com e sem Biomaphos[®]), com sete repetições. O solo em estudo foi o Latossolo Vermelho Distroférico. Foi realizada calagem e gessagem, antes da sequência de cultivos, *Brachiaria cv. marandu*, soja, mix de cultura de inverno, feijão e milho. Para o primeiro estudo a coleta do solo ocorreu após a sequência de cultivos e para o segundo estudo, coletou-se antes e depois dos cultivos, em 5 pontos por subparcela (2 linhas e 3 entrelinhas), para uma amostra composta nas profundidades (0-0,05; 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m), efetuando o fracionamento de Bowman. Para o terceiro estudo, foram avaliadas as culturas de soja e feijão em relação a produtividade, o teor de P no grão e na folha e, no solo, o fracionamento de P inorgânico (P_{iH_2O} , P_{iAl} , P_{iFe} e P_{iCa}), coletando o solo aderido as raízes de soja e feijão no estágio R.1. Para a produtividade, o uso do Biomaphos[®] incrementou em uma saca por hectare na soja e duas no feijão. As menores médias dos teores de P nos grãos ocorreram do tratamento sem P. O modo de aplicação alterou as frações de Pi nas culturas, principalmente quando aplicado 100% na linha ou ½ na linha. No feijão, sem adição de P, houve aumento da fração P_{iFe} e diminuição da P_{iCa} , influenciadas pelo uso do Biomaphos[®]. A localização do P em linha proporcionou maior teor de Pi total. A fração moderadamente lábil ($P-H^+$) promoveu maior contribuição para o P-total do solo. Houve maior dependência das frações orgânicas, após o ciclo de cultivos, para a adubação 100% em linha. O Biomaphos[®] promoveu depleção do P-residual na profundidade de 0,10-0,20 m após a sequência de cultivos e, na ausência do

fertilizante fosfatado, houve incremento de P orgânico, na profundidade de até 0,05 m. Para o modo de aplicação do fertilizante fosfatado $\frac{1}{2}$ à lanço mais $\frac{1}{2}$ em linha, o uso do Biomaphos® comparado ao teor inicial, promoveu depleção das frações P orgânico moderadamente lábil (Po-H⁺), Po total e % de Po, para as profundidades de 0-0,05 m e 0,10-0,20 m.

Palavras-chave: *Bacillus*, Frações de fósforo, Labilidade, Latossolo, Rotação de culturas.

ABSTRACT

TRES, Gessika, Doctor Scientiae. State University of Western Paraná, May-2024. **Phosphorus fractionation depending on the application method of phosphate fertilizer and biosolubilizer.** Advisor: Dr^a. Maria do Carmo Lana. Co-Advisors: Dr. Jucenei Fernando Frandoloso and Dr. Paulo Sérgio Rabello de Oliveira.

The high weathering of Oxisols promotes high adsorption of phosphates from mineral fertilization. The mode of P application and the use of solubilizing bacteria can influence P availability in the soil. The objective of the work was to evaluate the response of crops and changes in the forms of inorganic and organic P as a result of the modes of application of phosphate fertilizer and the use of the Biomaphos® solubilizer. The design was randomized blocks in subdivided plots: plot-application method (100% P broadcast on surface, 100% in sowing line, $\frac{1}{2}$ broadcast and $\frac{1}{2}$ in sowing line and, without P); subplot – with and without Biomaphos®), with seven replications. The soil under study was the Distroferric Red Latossol. Liming and plastering were carried out, with the sequence of crops, *Brachiaria cv. marandu*, soybeans, winter crop mix, beans and millet. For the first study, soil collection occurred after the sequence of crops and for the second study, it was collected before and after the crops, at 5 points per subplot (2 lines and 3 between lines), for a composite sample at depths (0-0,05; 0,05-0,10 and 0,10-0,20 m), performing Bowman fractionation. For the third study, soybean and bean crops were evaluated in relation to productivity, P content in the grain and leaf and, in the soil, the fractionation of inorganic P (P_{iH₂O}, P_{iAl}, P_{iFe} and P_{iCa}), collecting the soil adhered to soybean and bean roots at stage R.1. For productivity, the use of Biomaphos® increased one bag per hectare in soybeans and two in beans. The lowest average P content in the grains occurred in the treatment without P. The application method changed the Pi fractions in the crops, especially

when applied 100% in sowing line or $\frac{1}{2}$ in the line. In beans, without added P, there was an increase in the Pi_{Fe} fraction and a decrease in Pi_{Ca} , influenced by the use of Biomaphos[®]. The location of P in line provided a higher total Pi content. The moderately labile fraction ($P-H^+$) promoted a greater contribution to the soil's total P. There was greater dependence on organic fractions, after the crop cycle, for 100% in sowing line fertilization. Biomaphos[®] promoted depletion of residual P at a depth of 0,10-0,20 m after the cultivation sequence and, in the absence of phosphate fertilizer, there was an increase in organic P at a depth of up to 0,05 m. When applying phosphate fertilizer $\frac{1}{2}$ at broadcast plus $\frac{1}{2}$ in line, the use of Biomaphos[®] compared to the initial content, promoted depletion of the fractions moderately labile organic P ($Po-H^+$), total Po and $\%Po$, for the depths from 0-0,05 m and 0,10-0,20 m.

Keywords: *Bacillus*, Phosphorus fractions, Lability, Oxisol, Crop rotation.

SUMÁRIO

RESUMO.....	v
ABSTRACT	vi
INTRODUÇÃO GERAL	10
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	12
ARTIGO 1 - <u>ALTERAÇÕES DA LABILIDADE DO FÓSFORO ORGÂNICO E INORGÂNICO EM PROFUNDIDADE INFLUENCIADAS PELO MODO DE APLICAÇÃO DO FERTILIZANTE FOSFATADO E BIOMAPHOS®</u>	13
Resumo.....	13
Introdução	14
Material e Métodos.....	15
Resultados e Discussão.....	18
Conclusões.....	23
Referências Bibliográficas	23
Figuras e Tabelas.....	31
ARTIGO 2 - <u>ALTERAÇÕES NOS TEORES DAS FRAÇÕES DE FÓSFORO EM PROFUNDIDADE SOB DIFERENTES MODOS DE APLICAÇÃO DO FERTILIZANTE FOSFATADO E SOLUBILIZADOR BIOMAPHOS®</u>	36
Resumo.....	36
Abstract	36
Introdução	37
Material e Métodos.....	38
Resultados e Discussão.....	41
Conclusões.....	46
Referências Bibliográficas	48
Figuras e Tabelas.....	54
ARTIGO 3 - <u>FRACIONAMENTO DE FÓSFORO INORGÂNICO EM FUNÇÃO DO MODO DE APLICAÇÃO DO FERTILIZANTE FOSFATADO E SOLUBILIZADOR BIOMAPHOS®</u>	60
Resumo.....	60
Abstract	60
Introdução	61
Material e Métodos.....	62

Resultados e Discussão.....	66
Conclusões.....	71
Agradecimentos	71
Referências Bibliográficas	72
Figuras e Tabelas.....	79
CONCLUSÕES GERAIS.....	82

1. INTRODUÇÃO GERAL

O nutriente que mais restringe o aumento de produtividade é o fósforo (P), uma vez que o elemento possui baixa mobilidade no solo e a quantidade adicionada a solos deficientes é insuficiente, necessitando de frequentes adubações. Esta deficiência é devida a sua imobilização decorrente de interações com as cargas do solo, sendo sorvido, como acontece em Latossolos com alta porcentagem de argila (MOTTA et al., 2002).

No solo é dividido em fósforo orgânico (Po), e inorgânico (Pi). A parcela inorgânica está presente em minerais primários e/ou adsorvidos nas argilas silicatadas, nas hidroxilas de oxihidróxidos de alumínio e ferro, e na matéria orgânica do solo por pontes de cátions (SANTOS; GABOTINI; KAMINSKI, 2008). Na forma orgânica, encontra-se ligado fortemente a moléculas orgânicas, originado de resíduos vegetais, tecidos de microrganismos e da decomposição (MARTINAZZO et al., 2007). Encontram-se na forma lábil, moderadamente lábil e não lábil, podendo estar disponíveis com o passar do tempo (PAVINATO; MERLIN; ROSOLEM, 2009).

Esta disponibilidade ocorre devido a liberação gradual, pela manutenção da cobertura do solo com os resíduos das plantas, como ocorre no sistema de semeadura direta, dificultando a ação microbiana (AMARAL; ANGHINONI; DESCHAMPS, 2004). Assim, o manejo da adubação fosfatada é capaz de alterar as reações que ocorrem entre o solo e o fertilizante, e a disponibilidade de P para as plantas, a fim de auxiliar na eficiência da adubação fosfatada (CAIONE et al., 2011).

Os fatores que afetam esta eficiência vão desde as fontes de P e, as espécies de plantas utilizadas, propriedades físicas e químicas do solo, até o modo de aplicação (SILVA et al., 2014).

Outros trabalhos citam os resultados positivos com uso de solubilizadores de P, que convertem o P indisponível para P solúvel, auxiliando a disponibilidade deste e a nutrição de diversas culturas (ALVES et al., 2002; COUTINHO; HOULLOU, 2012; OLIVEIRA et al., 2013). Um destes solubilizadores de P, o Biomaphos®, a base de bactérias do gênero *Bacillus*, *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium*, são capazes de elevar os teores de P solúveis e sua absorção pela cultura (EMBRAPA, 2019).

Para o melhor entendimento da dinâmica do P é necessário conhecer as formas deste nutriente no solo e sua disponibilidade. Assim, o fracionamento de P permite extrair sequencialmente as diferentes formas do nutriente (GABOTINI et al.,

2013), a fim de identificar quais as principais formas que atuam no fornecimento de P para as culturas, nos diferentes sistemas agrícolas.

O modo de aplicação do fertilizante fosfatado associado ao biossolubilizador Biomaphos[®] pode alterar as formas de P orgânico e inorgânico do solo e sua absorção pelas culturas.

De modo a avaliar esta hipótese, a tese foi dividida em 3 artigos científicos.

O artigo 1 intitulado “Alterações da labilidade do fósforo orgânico e inorgânico em profundidade influenciadas pelo modo de aplicação do fertilizante fosfatado e Biomaphos[®]”, o qual teve por objetivo avaliar as alterações nas frações de P orgânico e inorgânico, em decorrência do modo de aplicação do fertilizante fosfatado e do uso do solubilizador Biomaphos[®], nas diferentes profundidades, utilizando as regras e formatações da Revista Brasileira de Ciência do Solo.

O artigo 2 intitulado “Alterações nos teores das frações de fósforo em profundidade sob diferentes modos de aplicação do fertilizante fosfatado e solubilizador Biomaphos[®]”, o qual objetivou avaliar a alteração das frações iniciais e finais de P orgânico e inorgânico, decorrente do uso do solubilizador Biomaphos[®] em profundidade, nos diferentes modos de aplicação do fertilizante fosfatado, utilizando as regras e formatações da Revista Scientiae Agraria Paranaensis.

O artigo 3 intitulado “Fracionamento de fósforo inorgânico em função do modo de aplicação do fertilizante fosfatado e solubilizador Biomaphos[®]”, o qual teve por objetivo avaliar as alterações das frações do P inorgânico do solo aderido as raízes da soja e do feijão, e a produtividade, em função do modo de aplicação de P, em sistema de plantio direto em uma sequência de cultivos, utilizando as regras e formatações da Revista Scientiae Agraria Paranaensis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARAL, A.S.; ANGHINONI, I.; DESCHAMPS, F.C. Resíduos de plantas de cobertura e mobilidade dos produtos da dissolução do calcário aplicado na superfície do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.28, p.115-123, 2004.

CAIONE, G.; LANGE, A.; BENETT, C.G.S.; FERNANDES, F.M. Fontes de fósforo para adubação de cana-de-açúcar forrageira no cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 1, p. 66-73, 2011.

COUTINHO, F.P.; HOULLOU, L. M. Fungos solubilizadores de fosfato isolados da rizosfera de cana-de-açúcar (*Saccharum spp. L.*). **Anais..** In: IV Encontro Pernambucano de Micologia, 2016, Recife. IV EPEM, 2016.

EMBRAPA. **Produto com tecnologia brasileira pode reverter dependência externa por adubos fosfatados**. 2019. Acesso em:< <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/45773416/produto-com-tecnologia-brasileira-pode-reverter-dependencia-externa-por-adubos-fosfatados>>. Acessado em 01 de Outubro de 2019.

GATIBONI, L.C.; BRUNETTO, G.; RHEINHEIMER, D.S.; KAMINSKI, J. Fracionamento químico das formas de fósforo do solo: usos e limitações. In: ARAÚJO, A.P.; AVELAR, B.J.R. (Eds.). **Tópicos em Ciência do Solo**, Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.8, p.141-187, 2013.

MARTINAZZO, R.; SANTOS, D. R.; GABOTINI, L. C.; BRUNETTO, G.; KAMINSKI, J. Fósforo microbiano do solo sob sistema plantio direto afetado pela adição de fosfato solúvel. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.31, n.3, p.563-568, 2007.

MOTTA, P.E.F.; CURTI, N.; SIQUEIRA, J.O.; RAIJ, B.V.; FURTINI NETO, A.E.; LIMA, J.M. Absorção e formas de fósforo em Latossolos: influência da mineralogia e histórico de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, n.2, p.349-359, 2002.

OLIVEIRA, C. A. de; MARRIEL, I. E.; GOMES, E. A.; MATTOS, B. B.; SANTOS, F. C. dos; OLIVEIRA, M. C.; ALVES, V. M. C. **Metodologia de aplicação de microrganismos solubilizadores de fósforo em sementes visando melhor aproveitamento deste nutriente pelas plantas**. Boletim de pesquisa e desenvolvimento. 1 Ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 31p., 2013.

PAVINATO, P. S.; MERLIN, A.; ROSOLEM, C. A. Phosphorus fractions in Brazilian Cerrado soils as affected by tillage. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 105, n. 1, p. 149-155, 2009.

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**. Santa Maria, V.38, n.2, p.576-586, 2008.

SILVA, M.A.G.; MUNIZ, A.S.; BULL, L.T.; MANNIGEL, A.R.; MARCHETTI, M.E.; NOLLA, A. Manejo da adubação com sulfato de amônio no desempenho produtivo do milho cultivado após aveia e trigo. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 35, n. 2, p. 577-588, 2014.

2. ARTIGO 1

ALTERAÇÕES DA LABILIDADE DO FÓSFORO ORGÂNICO E INORGÂNICO EM PROFUNDIDADE INFLUENCIADAS PELO MODO DE APLICAÇÃO DO FERTILIZANTE FOSFATADO E BIOMAPHOS®

1 Quando da adição de P com o uso de fertilizantes fosfatados, o tamponamento de P é realizado pelas frações inorgânicas lábeis e em solos com baixa adição de fertilizantes, alto intemperismo e elevada adição de material vegetal, há ocorrência de acúmulo de P na fração orgânica.

2 O P moderadamente resistente possui alta relação com o P-residual, impactando no P-total do solo, devido à forte afinidade de ambas frações e a presença de ácidos orgânicos de alto peso molecular, acarretando em menor P disponível.

3 A produção de ácidos orgânicos por *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium*, desloca o P de partículas ou íons metálicos como ferro e alumínio, disponibilizando-o ou elevando a fração solúvel, impactando no resultado de P-total.

RESUMO: O modo de aplicação do P e o uso de bactérias solubilizadoras podem influenciar a disponibilidade de P no solo. O objetivo do estudo foi avaliar as alterações na labilidade de P orgânico e P inorgânico, em decorrência do modo de aplicação do P e do uso do solubilizador Biomaphos®, avaliadas nas diferentes profundidades. O delineamento foi o de blocos casualizados em parcelas subdivididas: parcela, o modo de aplicação: 100% P à lanço em superfície, ½ à lanço e ½ na linha, 100% na linha de semeadura e, sem P; nas subparcelas, com e sem Biomaphos®, com sete repetições. O solo em estudo foi o Latossolo Vermelho Distroférico, possuindo teor de P alto (Mehlich-1). Foi realizada calagem e gessagem, e em seguida, a sequência de cultivos: *Brachiaria* cv. marandu, soja, Mix de cultura de inverno, feijão e milho. Foi realizada coleta de solo depois da sequência de cultivos, em 5 pontos por subparcela (2 linhas e 3 entrelinhas), para constituir uma amostra composta nas profundidades (0-0,05; 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m), efetuando o fracionamento de Bowman. A fração moderadamente lábil promoveu maior contribuição para o P-total. Para a profundidade de 0-0,05 m, após rotação de culturas, a ausência de adubação incrementou o P orgânico nas diferentes frações, influenciando a maior %Po. Na profundidade de 0,05-0,10 m,

houve interação do Biomaphos® e modos de aplicação nas frações moderadamente lábil, Pi e P totais; na presença do solubilizador com adubação ½ à lanço e ½ na linha houve elevação destas frações, porém, sem P o Biomaphos® não foi suficiente para alterar nenhuma fração e, na profundidade de 0,10-0,20 m o Biomaphos® ocasionou depleção do P-residual.

Palavras-chave: Fósforo lábil, Fracionamento do fósforo, Latossolo, *Bacillus*.

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento das culturas e a produção de grãos muitas vezes é limitada pela baixa disponibilidade do fósforo dos solos brasileiros. Estima-se que uma porcentagem relativamente pequena do P aplicado ao solo fica disponível para as plantas (Juhi et al., 2011) e, 80 a 90% do fertilizante fosfatado é rapidamente convertido em formas insolúveis (Podile e Kishore, 2006). Estratégias de manejo da adubação são fundamentais para melhorar a aquisição de P pelas plantas, minimizando a ineficiência dos fertilizantes fosfatados e suas perdas (Richardson et al., 2011).

Estratégias estas que vão desde as fontes de P e as espécies de plantas utilizadas, as propriedades físicas e químicas do solo e também o modo de aplicação do fertilizante fosfatado (Silva et al., 2014).

Outra importante alternativa, é o uso de bactérias solubilizadoras de fosfatos, como bactérias do gênero *Bacillus* (Oliveira-Paiva et al., 2021), as quais possuem a capacidade de produzir ácidos orgânicos, como o ácido cítrico, ácido oxálico e outros (Pande et al., 2017), e de forma associativa, solubilizam o fosfato inorgânico insolúvel (PO_4^{-3}) (Awasthi et al., 2011). Além disso, produzem enzimas como as fitases e fosfatases, atuando na matéria orgânica, mineralizando o P orgânico (Owen et al., 2015; Bini e Lopez, 2016).

Várias cepas de bactérias estão sendo identificadas com o objetivo de solubilizar o fosfato no solo (Liu et al., 2012; Tong et al., 2014; Chen et al., 2017; Ahmad et al., 2019). Hong et al. (2015) identificaram 10 cepas de *Bacillus* solubilizadoras de fosfatos, sendo uma delas *Bacillus megaterium* (Hong et al., 2015). O Biomaphos®, a

base de *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium*, é o recente lançamento no Brasil (Oliveira-Paiva et al., 2021).

No solo, o P é encontrado nas formas orgânicas e inorgânicas (Gabotini et al., 2013), podendo ser lábil (em equilíbrio com a solução) ou não-lábil (adsorvido, e/ou de baixa solubilidade) (Novais e Smyth, 1999). Uma ferramenta analítica importante para avaliar as alterações nas formas e disponibilidade de P no solo, otimizando as práticas de manejo citadas é o fracionamento de P (Camargo et al., 2010). A metodologia proposta por Bowman (1989), baseia-se na extração sequencial de formas lábeis, moderadamente lábeis e moderadamente resistentes, de P orgânico e inorgânico, de menor a maior intensidade.

O modo de aplicação de P no solo associado ao solubilizador Biomaphos® pode alterar as formas de P orgânico e inorgânico do solo. O objetivo do estudo foi avaliar as alterações nas frações de P orgânico e inorgânico, em decorrência do modo de aplicação do fertilizante fosfatado e do uso do solubilizador Biomaphos®, nas diferentes profundidades.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Fazenda Santa Maria, no município de Santa Terezinha de Itaipu, estado do Paraná, sob coordenadas geográficas 25°28'09" S e 54°22'41" W, com altitude de 292 metros. O solo da região em estudo é classificado como Latossolo Vermelho Distroférico (Santos et al., 2014), com 746 g kg⁻¹ de argila, 199 g kg⁻¹ de silte e 55 g kg⁻¹ de areia.

A área do experimento apresentava-se em Sistema de Plantio Direto (SPD) com Integração Lavoura-Pecuária há 14 anos, sendo que nos últimos 5 anos houveram semeaduras da soja e milho, tanto no inverno como no verão. No ano de 2015 o teor de P no solo era de 5,4 mg dm⁻³, considerado baixo, pelo extrator Mehlich-1 (SBSC/NEPAR, 2017).

Instalou-se nas parcelas apenas os modos de aplicação, tema do primeiro estudo, efetuando correção dos teores de P no solo, considerando a exportação pelas culturas inseridas de outubro de 2015 a março de 2017, com soja e milho verão,

elevando o teor do solo para 10,10 mg dm⁻³, teor muito alto, para o mesmo extrator (SBSC/NEPAR, 2017), com uso de fonte a base de Super fosfato simples e Fosfato monoamônico.

Em abril de 2017, realizou-se aplicação de calcário calcítico na dose de 4 Mg ha⁻¹ (PRNT 90%) e após gessagem na dose de 0,25 Mg ha⁻¹, esta a fim de elevar o teor de enxofre (S) no solo. Efetuou-se uma nova análise de solo na camada de 0-0,20 m para análise química, a qual apresentou pH (H₂O): 6,23; matéria orgânica: 27,52 g kg⁻¹; P:10,10 mg dm⁻³ e S: 2,18 mg dm⁻³; Ca, Mg, K, Al e H+Al, respectivamente, 6,95; 1,82; 0,85; 0,0 e 4,28 cmol_c dm⁻³, soma de bases: 9,62 cmol_c dm⁻³ e CTC:13,90 cmol_c dm⁻³, V%: 69,21; %Ca, %Mg e %K, respectivamente, 50; 13 e 6,12. O solo possui alto teor de P pelo extrator Mehlich-1 (SBSC/NEPAR, 2017).

Foram utilizadas as culturas, *Brachiaria brizantha* cv. *marandu* (nov/2017 a Ago/2019), soja (Nov/2019 a Mar/2020), Mix de Cultura de inverno, composto por nabo japonês, nabo forrageiro, aveia branca, aveia preta e centeio (Mai/2020 a Set/2020), Feijão (Out/2020 a Fev/2021) e Milheto (Out/2021 a Mar/2022).

Na Figura 1 encontram-se os dados meteorológicos de 2017 a 2022, segundo o INMET. O Delineamento experimental foi o de blocos casualizados em parcelas subdivididas, sendo alocadas nas parcelas quatro modos de aplicação: 100% P à lanço em superfície, ½ à lanço em superfície mais ½ na linha, 100% na linha de semeadura e, sem aplicação de P, e nas subparcelas, com e sem Biomaphos[®], com 7 repetições, sendo que as parcelas continham 50 m².

Na Tabela 1 encontram-se os dados dos fertilizantes/condicionadores, doses e quantidades de N, P₂O₅, K₂O, S e CaO aplicados em cada cultivo, 2 anos antes do experimento e ao decorrer deste.

Para as sementes de *Brachiaria brizantha* cv. *marandu*, foram lançadas manualmente nas parcelas 33 kg ha⁻¹, incorporando com grade em 2 pontos de abertura para mínimo revolvimento do solo. Efetuaram-se 4 cortes da massa verde da *Brachiaria* com uso de uma cegadeira, a fim de proteção de solo e ciclagem de nutrientes. Para a soja e o feijão, utilizou-se uma semeadora/adubadora de 11 linhas e 0,45 m de espaçamento entre linhas, dividindo-a em 5 linhas cada lado, com 1 nula central, a fim de analisar as subparcelas, com e sem Biomaphos[®]. A semeadura

da soja ocorreu em 17/11/2019 e a do feijão em 14/10/2020. A direção da semeadora foi alterada conforme o sorteio da subparcela. Para soja, utilizou-se a cultivar M5947 IPRO, com 12 sementes por metro e, para o feijão a cultivar IPR Sabiá com 16 sementes por metro.

A inoculação com Biomaphos® foi de 150 mL ha⁻¹ no tratamento de sementes, no momento da semeadura, segundo recomendação do fabricante, de forma manual, calculando-se a dose por m² e quilogramas de semente utilizada. A inoculação e as adubações ocorreram somente para as culturas da soja e do feijão, na dose recomendada para exportação dos nutrientes para a expectativa de 5 ton ha⁻¹ de produtividade (SBCS/NEPAR, 2017). A adubação à lanço, tanto parcial como total, foi realizada manualmente, por parcela, a fim de evitar a heterogeneidade na distribuição. Utilizou-se 268 kg ha⁻¹ de 4-30-10 (N-P₂O₅-K₂O) na soja e, para o feijão 289 kg ha⁻¹ de 04-28-08 (N-P₂O₅-K₂O) com 285 kg ha⁻¹ de sulfato de amônio na formulação com 21% de N, em cobertura, em única parcela aos 40 DAP.

Para Mix de inverno, semeou-se com semeadora de trigo/cobertura, utilizando 50 kg ha⁻¹ do Mix RX 210. Quando atingiu-se o pico máximo de matéria seca no pré-florescimento, efetuou-se a dessecação com 4 L ha⁻¹ de Glifosato (48%) e aproximadamente 20 dias após houve corte utilizando rolo faca. Para o milheto, a semeadura ocorreu conforme a cultura da *Brachiaria*, utilizando a variedade ADR300, com 25 kg ha⁻¹, com corte utilizando a cegadeira no pré-florescimento.

Foram realizados os tratos culturais necessários em todas as culturas, assim como dessecações pré-semeaduras, para que ocorresse sem a presença de invasoras.

Para todas as culturas, o resíduo da palhada de colheita e corte foram espalhados nas subparcelas experimentais (Barbosa et al., 2015).

Foi realizada a coleta de solo após o milheto em abril de 2022, para o fracionamento de Bowman (1989), utilizando uma pá de corte, em 5 pontos por subparcela, coletando-se 2 amostras nas linhas e 3 amostras nas entrelinhas, a fim de obter uma amostra composta, por profundidade. As amostras compostas foram realizadas nas profundidades de 0 a 0,05 m; de 0,05 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m. Após a coleta as amostras foram enviadas para o laboratório de Fertilidade do solo e Nutrição Mineral de Plantas da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), em

Marechal Cândido Rondon, Paraná, onde foram secas em estufa por 24 horas a 40°C e após moídas utilizando um moinho com peneira de 2 mm de malha (TFSA – Terra fina seca ao ar).

A metodologia utilizada para o fracionamento sequencial de P, foi a de Bowman (1989), a qual baseia-se na quantificação e extração das formas totais orgânicas (Po) e inorgânicas (Pi) de P, a fim de verificar as alterações nas formas lábeis (P-Bic), moderadamente lábeis (P-H⁺) e moderadamente resistentes (P-OH⁻) do nutriente ocasionadas pelo modo de aplicação do fertilizante fostatado e pelo uso do Biomaphos[®]. A determinação foi realizada por colorimetria e quantificação do P no sobrenadante foi por espectrofotometria UV/Vis a 660 nm (Teixeira et al., 2017), sendo os resultados expressos em mg kg⁻¹.

Foi realizado teste de normalidade e homogeneidade de variâncias. Realizou-se análise estatística em esquema de parcelas subdivididas, avaliando cada profundidade separadamente.

Efetou-se o teste F e, em caso de significância procedeu-se o teste de Tukey, sendo considerado alfa <0.05. O aplicativo computacional utilizado foi o Genes (Cruz, 2013).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Tabelas 2, 3 e 4 estão apresentados os resultados relacionados aos teores para cada profundidade. Para a profundidade de 0-0,05 m foi possível concluir que não houve interação entre os modos de aplicação e o uso do Biomaphos[®], em nenhuma fração (Tabela 2).

Considerando todas as frações de P do solo a maior proporção encontra-se na forma moderadamente lábil, em todas as profundidades analisadas. Esta fração compreende o Pi ligado a superfície de óxidos e ligado ao cálcio (pouco solúvel) (Gabotini et al, 2007), e o P orgânico que está associado a ácidos fúlvicos do solo (Gabotini et al, 2013). Este resultado também constatado por outros autores (Carneiro et al., 2011; Guareschi et al., 2016; Rosset et al., 2016; Ohland, 2019). Desta forma, também verifica-se uma relação alta entre Pi-H⁺ e Pi total.

Quando não houve adição de fertilizante fosfatado (sem P), ao longo dos cultivos, houve aumento da fração moderadamente lábil orgânica (Po-H⁺) e do Po-total quando comparada a adubação 100% à lanço e, maior %Po em relação aos modos de aplicação que receberam o fertilizante fosfatado (Tabela 2). Estes resultados demonstram que a sequência de cultivos foi importante para a recuperação do P inorgânico, tornando-se adsorvido aos ácidos resultantes da decomposição da matéria orgânica, acumulando assim na fração Po-H⁺ (Gonçalves e Meurer, 2009). Outro autor cita a importância do P orgânico na manutenção do P total do solo (Tiecher et al., 2012a). Gabotini et al. (2007), citaram que em solos sem adição de fertilizantes fosfatados, o P orgânico é responsável por até 75% do P total absorvido pelas plantas.

Foram verificados menores valores de P lábil (Pi-Bic e Pt-Bic) quando da não adição de P comparada a adubação ½ à lanço mais ½ em linha e, sem diferença estatística entre estes modos de aplicação de P e sem P na fração Po-Bic (0-0,05 m).

Estes resultados podem ter ocorrido possivelmente devido o aporte de massa vegetal na superfície, ciclando as formas orgânicas (Tiessen et al., 1984; Guggenberger et al., 1996). Porém, quando há a adição de P através do uso de fertilizantes fosfatados, o tamponamento de P é realizado pelas frações inorgânicas lábeis (Conte et al., 2003), e em solos com baixa adição de fertilizantes e com alta proporção de intemperismo (Gabotini et al., 2007) com adição de material vegetal e/ou inserção de outras espécies, há ocorrência de acúmulo de P na fração orgânica, ocorrendo tamponamento do Pi pelo Po (Tiessen et al., 1984; Novais et al., 2007; Leite et al., 2016), em frações de labilidade intermediária (Conte et al., 2003; Gabotini et al., 2007).

Os resultados obtidos também podem ser justificados pelo local de deposição do fertilizante fosfatado e a camada superficial analisada. Adubações fosfatadas anuais elevam os teores de P inorgânico lábil, devido a saturação de sítio de adsorção que possuem afinidade com o P (Bravo et al., 2007; Rosset et al., 2016). Santos et al. (2008) também verificaram que a adubação parcelada promove incremento nas frações inorgânicas. Barbosa et al. (2015) relataram que até 0,05 m de profundidade, o P aplicado parcelado apresentou altos teores, contribuindo para a homogeneização do nutriente no perfil.

Para o P moderadamente resistente, nota-se uma alta relação com o P-residual, impactando no P-total do solo, para as três profundidades (Tabela 2, 3 e 4). Pavinato e Rosolem (2008) citam que há forte afinidade do P-residual com o Po-OH^- , devido a presença de ácidos orgânicos de alto peso molecular, desta forma, acarretando em menor P disponível.

Para estas frações de menor labilidade (Pt-OH^- e P residual), o modo de aplicação 100% em linha, proporcionou maiores médias quando comparada a ausência do fertilizante fosfatado, na profundidade de 0-0,05 m. O menor volume de solo que recebeu o fertilizante, pode ter elevado a concentração do nutriente (Barber, 1995), ocasionando maiores frações em Pi e incremento de Pt (Matos et al., 2006), devido as altas doses de P adicionadas via fertilização (Beutler et al., 2015).

Para os Latossolos, a CMAP pode ser superior a 2 mg de P para cada grama de solo, sendo que o dreno de P pelo solo cessa com adição de $42.800 \text{ kg ha}^{-1}$ de superfosfato simples (Boitt, 2014). ocasionada principalmente pela constituição mineralógica do solo e da argila presente (Novais e Smyth, 1999).

O mesmo foi verificado na profundidade de 0,05-0,10 m nas frações Pt-Bic e Pi-OH^- , após a sequência de cultivos, com teores de P significativamente inferiores na ausência de adubação com P quando comparadas a adubação 100% em linha de semeadura (Tabela 3). Estes resultados confirmam o exposto por Santos (2009), o qual afirma que na linha de semeadura o P concentra-se de 3 a 10 cm de profundidade, favorecendo a absorção do nutriente pela cultura, principalmente nos estádios iniciais (Rosa et al., 2020).

O aumento do P-residual também está associado ao acúmulo do nutriente (Schmitt et al., 2014), ao pH (Daroub et al., 2000) e ao teor de Cálcio (Beck e Sanches, 1994; Turner e Leytem, 2004), refletindo a formação de P não lábil. Além do que, houveram aplicações de gessagem e calagem, elevando os teores de Cálcio no sistema. Santos et al. (2008), relataram que há relação do P-residual com o Pi-total e que não houveram diferenças entre os modos de aplicação do fertilizante fosfatado à lanço e na linha de semeadura, assim como os resultados apresentados neste estudo. Silva (2018), cita que o P-residual em solos com alto grau de intemperismo é difícil de ser acessado.

Ainda na profundidade de 0,05-0,10 m houve interação do modo de aplicação do P com o uso do Biomaphos[®], para as frações Pi-H⁺, Pt-H⁺, Pi-total e P-total. Para Pi-H⁺, Pt-H⁺ e Pi total, o uso do Biomaphos[®] promoveu as menores médias quando comparada a ausência do solubilizador, na aplicação realizada 100% em linha. Podemos inferir, portanto, que pode ter ocorrido a produção de ácidos orgânicos por *Bacillus subtilis* (Oliveira-Paiva et al., 2013) e *Bacillus megaterium* (Saeid et al., 2018), o qual desloca o P de partículas ou íons metálicos como Ferro e Alumínio, disponibilizando-o ou elevando a fração solúvel em outras frações (Dakora et al., 2002; Jetiyanon, 2015; Eisenhauer et al., 2017), impactando no resultado de P-total.

O contrário foi verificado quando da aplicação ½ a lanço e ½ em linha de semeadura, havendo maiores teores destas frações quando foi realizada a inoculação com Biomaphos[®] em todas as frações em que obtiveram interação. Haichar et al. (2014) citam que quanto menor a oferta de P mediada pelo fertilizante fosfatado, maior é a concentração dos ácidos orgânicos de baixo peso molecular excretados pelas raízes. Fato este que explica os resultados para P-total neste mesmo modo de aplicação do fertilizante fosfatado. Pereira et al. (2012) também verificaram que a quantidade de microrganismos os quais promovem solubilização de P é inversamente correlacionado ao teor do nutriente no solo.

Vários trabalhos citam que bactérias do gênero *Bacillus* são capazes de mineralizar e solubilizar o P através da produção de ácidos orgânicos e enzimas como as fosfatases e fitases (Xiangi et al., 2011; Tong et al., 2014; Meena et al., 2016; Pande et al., 2017; Wei et al., 2018; Zhu et al., 2018; Oliveira-Paiva et al., 2020; Sousa et al., 2021). Wang et al. (2022) realizando a triagem de bactérias solubilizadoras de P, identificaram que o gênero *Bacillus* promoveu aumento significativo na labilidade do P do solo quando comparado ao tratamento controle.

Para a ausência do fertilizante fosfatado, não houve diferença significativa com e sem uso do Biomaphos[®], para todas as frações em que a interação foi significativa. Isto porque, com adição do solubilizador de P, a adubação fosfatada não deve ser excluída, visto que as bactérias são associativas, melhorando o aproveitamento e disponibilidade do nutriente, mas não possuem a função de fornecer a demanda total de P (Oliveira-Paiva et al., 2021). Ekin (2010), concluiu que houve interação com o uso de bactérias solubilizadoras de fosfato e o fertilizante fosfatado,

promovendo as maiores médias para a produtividade na cultura do girassol. Zucareli et al. (2018), estudando *Bacillus subtilis* em um Latossolo vermelho, na cultura do feijão, verificaram que não houve diferença significativa entre as variáveis com e sem bactérias solubilizadoras de P, para o tratamento controle (sem fertilizante fosfatado).

Para a profundidade de 0,10-0,20 m o Pi moderadamente lábil obteve menor média estatística para quando não houve adição de P, quando comparado a 100% Lanço ou 100% Linha, porém, para Pi-Bic não foram constatadas diferenças. Isto porque, devido a processos de ciclagem e mineralização o solo mantém o P lábil, mesmo aqueles com baixas adições de P via fertilizantes, atuando como fonte de P as formas intermediárias de labilidade, a fim de manter o equilíbrio de P na solução (Rheinheimer e Anghinoni, 2001; Conte et al., 2003; Gabotini et al., 2007). Novais e Smyth (1999) já haviam verificado que em solos com alto grau de intemperismo, o P do solo é diretamente dependente de formas moderadamente lábeis, como o Pi-H⁺.

Sharpley e Smith (1985) concluíram que em solos com menores adubações e sequência de cultivos, havia depleção das frações mais resistente e tamponamento das formas mais lábeis.

Para a mesma profundidade, não houve interação entre o modo de aplicação de P e o uso do Biomaphos[®]. Para o P-Residual houve menor média quando houve adição do solubilizador Biomaphos[®]. Isto porque, *B. subtilis*, promove diminuição do pH do meio elevando o fosfato solúvel proveniente de P complexado com Ferro, Alumínio e Cálcio (Ribeiro et al., 2018). Bactérias solubilizadoras de fosfatos, as quais elevam a disponibilidade de P proveniente de P-Ca, foram descritas em outros trabalhos (Haameeda et al., 2008; Abreu et al., 2017. Pérez-Miranda et al. (2007), citam que a acidificação do meio ocorrida pela produção de ácidos, dentre eles o glucônico, parece ser o meio de solubilização de Ca₃(PO)₄.

Formas insolúveis como o fosfato de Cálcio, podem ser convertidas em formas com maior solubilidade por microrganismos solubilizadores de P (Gupta et al., 2007; Khan et al., 2013; Sharma et al, 2013).

CONCLUSÕES

A fração moderadamente lábil promoveu maior contribuição para o P-total do solo tanto nas formas orgânicas quanto inorgânica de P.

Após a sucessão de culturas *Brachiaria*, soja, mix de cultura de inverno, feijão e milho, houve incremento da %P orgânico, na ausência da adubação fosfatada, para a camada até 0,05 m e, maior Pi-lábil quando da adição do fertilizante fosfatado ½ à lanço e ½ em linha, em relação a ausência de P.

Na camada de 0,05 – 0,10 m com o parcelamento da adubação ½ à lanço mais ½ na linha a inoculação com Biomaphos® incrementou as frações de P moderadamente lábil (Pi-H⁺ e Pt-H⁺) refletindo também nas frações Pi-total e P-total.

Para as frações com interação positiva entre Biomaphos® e modo de aplicação (Pi-H⁺, Pt-H⁺, Pi total e P total), o solubilizador não foi suficiente para alterar as frações na ausência do fertilizante fosfatado, pois com adição do solubilizador de P, a adubação fosfatada não deve ser excluída, devido o efeito associativo das bactérias.

Para a profundidade de 0,10 – 0,20 m a inoculação do Biomaphos® ocasionou depleção do P-residual, sem diferenças para os modos de aplicação do fertilizante fosfatado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abreu C S, Figueiredo J E, Oliveira C A, et al. Maize endophyticbacteria as mineral phosphate solubilizers. *Genet Mol Res.* 2017, 16: 1-13. DOI: 10.4238/gmr16019294.
- Ahmad M, Adil Z, Hussain A, Mumtaz M Z, Nafees M, Ahmad I, Jamil M. Potential of phosphate solubilizing bacillus strains for improving growth and nutrient uptake in mungbean and maize crops. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences.* 2019; 56: 283-289. DOI: 10.21162/PAKJAS/19.7285.
- Anghinoni I. Uso de fósforo pelo milho afetado pela fração de solo fertilizada com fosfato solúvel. *Revista Brasileira de Ciência do Solo,* 1992, 16 (3):349-353.
- Awasthi R, Tewari R, Nayyar H. Synergy between Plants and P-Solubilizing Microbes in soils: Effects on Growth and Physiology of Crops. *IRJM.* 2011;2:484–503.
- Barber S A. A Diffusion and mass-flow concept of soil nutrient availability. *Soil Science,* 1962, 93: 39–49. DOI: 10.1097/00010694-196201000-00007.

Barbosa N C, Arruda E M, Brod E, Pereira H S. Distribuição vertical do fósforo no solo em função dos modos de aplicação. *Bioscience Journal*, 2015; 31 (1): 87-95. DOI: 10.14393/BJ-v31n1a2015-18196.

Beck M A, Sanchez P A. Soil Phosphorus Fraction Dynamics during 18 Years of Cultivation on a Typic Paleudult. 1994, 58 (5): 1424-1431. DOI: 10.2136/sssaj1994.03615995005800050021x.

Beutler S J, Pereira M G, Loss A, Perin A, Anjos L H C. Humic substances and phosphorus fractions in areas with croplivestock integration, pasture and natural cerrado vegetation in Goiás, Brazil. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 2015, 18 (1): 11-25.

Bini D, Lopez MV. Transformações microbianas do fósforo. In: CARDOSO E J B N; Andreote FD (ed.). *Microbiologia do solo*. Piracicaba: ESALQ, 2016. p. 149-166.

Boitt G. Mineralogia e distribuição das formas de fósforo com diferentes graus de intemperismo. [Dissertação - Mestrado em Ciência do Solo]. Lages: Universidade do Estado de Santa Catarina, 2014.

Bowman R A. A sequential extraction procedure with concentrated sulfuric acid and diluted base for soil organic phosphorus. *Soil Science Society of America Journal*. 1989; 53: 326-366. DOI: 10.2136/sssaj1989.03615995005300020008x.

Bravo C A, Giraldez J V, Ordoñez R, Gonzalez P, Torres F P. Long term influence of conservation tillage on chemical properties of surface horizon and legume crops yield in a Vertisol of Southern Spain. *Soil Science*, 2007, 172 (2): 141-148. DOI: 10.1097/ss.0b013e31802db198.

Camargo M S, Barbosa D S, Resende R H, Korndörfer G H, Pereira H S. Fósforo em solos de Cerrado submetidos à calagem. *Bioscience Journal*. 2010; 26 (2): 187-194.

Carneiro L F, Resende Á V, Furtini Neto A E, Santos J Z L, Curi N, Reis T H P, Valle L A R. Frações de fósforo no solo em resposta à adubação fosfatada em um Latossolo com diferentes históricos de uso. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, 2011, 35(2):483–91. DOI: 10.1590/S0100-0683201100020001.

Chen D, Li H, Zhang B, Zha D, Yang J. Phosphate solubilization activities and action mechanisms of two phosphate-solubilizing bacteria. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2017, 25(3): 410-418. DOI: 10.13930/j.cnki.cjea.160667. DOI: 10.13930/j.cnki.cjea.160667.

Hong P, Cuiling C, Yanbing L, Xu L, Li W. Identification of PSB and their impact on soil inorganic phosphorus. *Journal of Northwest A & F University*. 2015; 43 (10): 114-122.

Conte E, Anghinoni I, Rheinheimer D S. Frações de fósforo acumuladas em Latossolo argiloso pela aplicação de fosfato no sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 2003, 27: 896-900. DOI: 10.1590/S0100-06832003000500014.

Cruz C D. GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. *Acta Scientiarum*, 2013, 35 (3):271-276. DOI: 10.4025/actasciagron.v35i3.21251.

Dakora F D, Phillips D A. Root exudates as mediators of mineral acquisition in low-nutrient environment. *Plant and Soil*, 2002, 245: 35–47. DOI:10.1023/A:1020809400075.

Daroub S H, Pierce F J, Ellis B G. Phosphorus fractions and fate of phosphorus-33 in soils under plowing and no-tillage. *Soil Science Society of America Journal*, 2000, 64 (1): 170–176. DOI: 10.2136/sssaj2000.641170x

Duda G P, Guerra J G M, Pereira M G, Anjos L H C, Ribeiro M R. Avaliação da biodisponibilidade de fósforo em diferentes classes de solos do Brasil. *Semina: Ciências Agrárias*, 2013, 34(4): 1563–1576. DOI: 10.5433/1679-0359.2013v34n4p1563.

Eghball B, Binford G D, Baltensperger D D. Phosphorus movement and adsorption soil receiving long-term manure and fertilizer application. *Journal of Environmental Quality*, 1996, 25 (6): 1339-1343. DOI: 10.2134/jeq1996.00472425002500060024x.

Eisenhauer, N.; Lanoué, A.; Strecker, T.; Scheu, S.; Steinauer, K.; Thakur, deputado; Mommer, L. Root biomass and exudates link plant diversity with soil bacterial and fungal biomass. *Sci Rep*. 2017, 7: 44641. DOI: 10.1038/srep44641.

Ekin Z. Performance of phosphate solubilizing bacteria for improving growth and yield of sunflower (*Helianthus annuus* L.) in the presence of phosphorus fertilizer. *African Journal of Biotechnology*. 2010, 9(25): 3794-3800. DOI: 10.5897/AJB09.1954.

Fan J, McConkey B, Wang H, Janzen H. Root distribution by depth for temperate agricultural crops. *Field Crops Research*, 2016, 189: 68-74. DOI: 10.1016/j.fcr.2016.02.013.

Gatiboni L, Brunetto C, Santos D, Kaminski J. Chemical fractionation of soil phosphorus forms: uses and limitations. In: ARAÚJO, A.P.; AVELAR, B.J.R. (Eds.). *Tópicos em Ciência do Solo*, Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2013. p. 141-187.

Gabotini L C, Kaminski J, Rheinheimer D S, Flores J P C. Biodisponibilidade de formas de fósforo acumuladas em solo sob sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 2007, 31: 691-699. DOI: 10.1590/S0100-06832007000400010.

Gonçalves G K, Meurer E J. Frações de fósforo no solo e sua relação com a absorção pelas plantas de arroz irrigado por alagamento em solos do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira De Ciência Do Solo*, 2009, 33: 357-362. DOI: 10.1590/S0100-06832009000200013.

Guareschi R F, Pereira M G, Perin A. Phosphorus fractions in an agricultural chronosequence under tillage regimes in the Cerrado area in Goiás, Brazil. *Semina: Ciências Agrárias*, 2016, 37(2): 611-624. DOI: 10.5433/1679-0359.2016v37n2p611

- Guggenberger G, Christensen, BT, Rubæk, GH, Zech, W. Land use and fertilization effects on P forms in two European soils: resin extraction and ^{31}P NMR analysis. *European Journal of Soil Science*, 1996, 47: 605-614. DOI:10.1111/j.1365-2389.1996.tb01859.x
- Gupta N, Sabat J, Parida R, Kerkatta D. Solubilization of tricalcium phosphate and rock phosphate by microbes isolated from chromite, iron and ,manganese mines. *Acta Bot Croat*, 66:197–204.
- Haichar F Z, Santaella C, Heulin T, Achouak W. Root exudates mediated interactions below ground. *Soil Biol. Biochem.* 2014, 77: 69–80. DOI:10.1016/j.soilbio.2014.06.017.
- Hameeda B, Harini G, Rupela O P, Wani S P, Reddy G. Growth promotion of maize by phosphate-solubilizing bacteria isolated from composts and macrofauna. *Microbiological Research*, 2008, 163 (2): 234-242. DOI: 10.1016/j.micres.2006.05.009.
- Hansel F D, Amado T J C, Diaz D A R, Rosso L H M, Nicoloso F T, Schorr M. Phosphorus fertilizer placement and tillage affect soybean root growth and drought tolerance. *Agronomy Journal*, 2017, 109:1-9. DOI: 10.2134/agronj2017.04.0202
- Jetiyanon K. Multiple mechanisms of *Enterobacter asburiaea* strain RS83 for plant growth enhancement. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 2015, 37 (1): 29-36.
- Juhi Y, Swati Y, Samuel GS. Plant growth promotion in wheat crop under environmental condition by PSB as bio-fertilizer. *Res J Agric Sci.* 2011; 2: 76–78.
- Khan M S, Ahmad E, Zaidi A, Oves M. Functional aspect of phosphate-solubilizing bacteria: importance in crop production. In: Maheshwari DK et al (eds) *Bacteria in agrobiology: crop productivity*. Berlin: Springer; 2013. p. 237–265. DOI: 10.1007/978-3-642-37241-4_10.
- Leite J N F, Cruz M C P da, Ferreira M E, Andrioli I, Braos L B. Frações orgânicas e inorgânicas do fósforo no solo influenciadas por plantas de cobertura e adubação nitrogenada. *Pesq agropec bras.* 2016, 51(11):1880–9. DOI: 10.1590/S0100-204X2016001100010.
- Li H, Mollier A, Ziadi N, Shi Y, Paren E, Morel C. Soybean root traits after 24 years of different soil tillage and mineral phosphorus fertilization management. *Soil & Tillage Research*, 2017, 165: 258-267. DOI: 10.1016/j.still.2016.09.002.
- Liu W, He Y, Zhang K, Fan J, Cao H. Isolation, identification and characterization of a strain of phosphate-solubilizing bacteria from red soil. *Wei Sheng Wu Xue Bao.* 2012 ;52(3):326-33.
- Matos E S, Mendonça E S, Villani E M A, Leite L F C, Galvão J C C. Formas de fósforo no solo em sistemas de milho exclusivo e consorciado com feijão sob adubação orgânica e mineral. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 2006, 30: 625-632. DOI: 10.1590/S0100-06832006000400003.

- Meena V S, Maurya B R, Meena S K, Meena R K, Kumar A, Verma J P, Singh N P. Can *Bacillus* Species Enhance Nutrient Availability in Agricultural Soils? In: Islam M, Rahman M, Pandey P, Jha C, Aeron A, editors. *Bacilli and Agrobiotechnology*. 1st ed. Switzerland: Springer; 2016. p 367-395.
- Nunes M R, Karlen D L, Denardin J E, Cambardella C A. Corn root and soil health indicator response to no-till production practices. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2019, 285:2-12. DOI: 10.1016/j.agee.2019.106607.
- Novais R F, Smyth T J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399 p.
- Novais R F, Smyth T J, Nunes F N. Fósforo. In: Novais R F, Alvarez V V H, Barros N F, Fontes R L F, Cantarutti R B, Neves J C L. *Fertilidade do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, p. 276-374.
- Oliveira-paiva C A, Cota L V, Marriel I E, Gomes E A, Sousa S M, Lana U G P, Santos F C, Pinto júnior A S, Alves V M C. Viabilidade técnica e econômica do Biomaphos® (*Bacillus subtilis* CNPMS B2084 e *Bacillus megaterium* CNPMS B119) nas culturas de milho e soja. Sete Lagoas: Embrapa; 2020 [citado 2023 Ago 29]. Available from: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/217542/1/Bol-210.pdf>.
- Oliveira-Paiva C A, Bini D, Marriel I E, Gomes E A, Santos F C, Cota L V, Sousa S M, Alves V M C, Lana U G P, Souza F F. Inoculante à base de bactérias solubilizadoras de fosfato nas culturas do milho e da soja (BiomaPhos®): dúvidas frequentes e boas práticas de inoculação. Sete Lagoas: Embrapa; 2021 [citado 2023 Ago 29]. Available from: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/227071/1/COT-252-BiomaPhos-duvidas-frequentes-e-boas-praticas.pdf>.
- Owen D; Williams A, Griffith G, Withers P. Use of commercial bioinoculants to increase agricultural production through improved phosphorus acquisition. *Applied Soil Ecology*. 2015; 86:41-54. DOI:10.1016/j.apsoil.2014.09.012.
- Pande A, Pandey P, Mehra S, Singh M, Kaushik S. Phenotypic and genotypic characterization of phosphate solubilizing bacteria and their efficiency on the growth of maize. *J. Genet. Eng. Biotechnologia*. 2017, 15:379–391. doi: 10.1016/j.jgeb.2017.06.005.
- Pavinato P S, Rosolem C A. Disponibilidade de nutrientes no solo - decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 2008, 32 (3): 911-920. DOI: 10.1590/S0100-06832008000300001.
- Pereira T P, Lemos L N, Barboza A D, Saraiva M A, Roesh L F W. Reestruturação e perda de diversidade bacteriana no bioma Pampa brasileiro. In: Anais, n.02, IV SIEPE - SALÃO INTERNACIONAL DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO; 2012 Nov. 26-28; Bagé, Brasil, Unipampa. p. 15-18.
- Perez-Miranda S, Cabirol N, George-Téllez R, Zamudio-Rivera L S, Fernández F J. O-CAS, a fast and universal method for siderophore detection. *J Microbiol Methods*. 2007, 70:127–131. DOI: 10.1016/j.mimet.2007.03.023.

Podile A R, Kishore G K. Plant growth-promoting rhizobacteria. In: Gnanamanickam, S.S. (eds) Plant-Associated Bacteria. Dordrecht: Springer, 2006. p. 195–230.

Rheinheimer D S, Anghinoni I. Distribuição do fósforo inorgânico em sistemas de manejo de solo. *Pesq. Agropec. Bras.*, 2001, 36:151-160. DOI: 10.1590/S0100-204X2001000100019

Rheinheimer D S, Anghinoni I, Kaminski J. Depleção do fósforo inorgânico de diferentes frações provocada pela extração sucessiva com resina em diferentes solos e manejos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 2000, 24(2): 345-354. DOI: 10.1590/S0100-06832000000200012

Ribeiro V P, Marriel I E, Sousa S M, Lana U G P, Mattos B B, Oliveira-Paiva C A, Gomes E A. Endophytic *Bacillus* strains enhance pearl millet growth and nutrient uptake under low-P. *Brazilian Journal of microbiology*, 2018, 49:40-46. DOI: 10.1016/j.bjm.2018.06.005.

Richardson A E, Lynch J P, Ryan P R, Delhaize E, Smith F A, Smith S E, Lambers H. Plant and microbial strategies to improve the phosphorus efficiency of agriculture. *Plant and soil*. 2011; 349:121-156. DOI: 10.1007/s11104-011-0950-4.

Rodríguez H, Fraga R. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. *Biotechnol. Adv.*, 1999, 17: 319–339. DOI: 10.1016/S0734-9750(99)00014-2.

Rosa A T, Diaz D R, Hansel F. Phosphorus fertilizer optimization is affected by soybean varieties and placement strategy. *Journal of Plant Nutrition*. 2020, 43:1-14. DOI: 10.1080/01904167.2020.1771583.m7.

Rosset J, Guareschi R, Pinto L A S, Pereira M, Lana, M C. Phosphorus fractions and correlation with soil attributes in a chronosequence of agricultural under no-tillage. *Semina: Ciências Agrárias*. 2016, 37 (6): 3915-3926. DOI: 10.5433/1679-0359.2016v37n6p3915.

Saeid A, Prochownik E, Dobrowolska-Iwanek J. Phosphorus Solubilization by *Bacillus* Species. *Molecules*. 2018; 23(11):2897. DOI: 10.3390/molecules23112897.

Santos D B M. Distribuição do fósforo no perfil do solo sob sistema plantio direto. [Mestrado]. Brasília: Universidade de Brasília; 2009.

Santos H G, Jacomine P K T, Anjos L H C, Oliveira V A, Lumberras J F, Coelho M R, Almeida, J A, Cunha T J F, Oliveira J B. Sistema Brasileiro de classificação de solos. 4.ed. Brasília: Embrapa; 2014.

Santos J Z L, Furtini Neto A E, Resende Á, Curi N, Carneiro L F, Costa S E V G A. Frações de fósforo em solo adubado com fosfatos em diferentes modos de aplicação e cultivado com milho. *Rev Bras Ciênc.* 2008, 32(2):705–14. DOI:10.1590/S0100-06832008000200025.

Schmitt D E, Gabotini L C, Girotto E, Lorensini F, Melo G W B, Brunetto G. Phosphorus fractions in the vineyard soil of the Serra Gaúcha of Rio Grande do Sul,

Brazil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 2014, 18 (2): 134–140. DOI: 10.1590/S1415-43662014000200002

Sharley A N, Smith S J. Fractionation of inorganic and organic phosphorus in virgin and cultivated soils. *Soil Science Society of American Journal*, 1985, 51: 362-365. DOI: 10.2136/sssaj1985.03615995004900010025x.

Sharma S B, Sayyed R Z, Trivedi M H, Gobi T A. Phosphatesolubilizing microbes: sustainable approach for managing phosphorus deficiency in agricultural soils. SpringerPlus. 2013, 2:587. DOI: 10.1186/2193-1801-2-587.

Silva A P L. Fracionamento de fósforo em pastagem solteira e consorciada com fontes de fósforo. [Mestrado em Agronomia]. Presidente Prudente: Universidade do Oeste Paulista; 2018.

Silva M A G, Muniz A S, Bull L T, Mannigel A R, Marchetti M E, Nolla A. Manejo da adubação com sulfato de amônio no desempenho produtivo do milho cultivado após aveia e trigo. *Semina: Ciências Agrárias*. 2014; 35 (2): 577-588. DOI: doi.org/10.5433/1679-0359.2014v35n2p577.

Sociedade Brasileira de Ciência do solo - SBCS. Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná. Curitiba: SBCS/NEPAR; 2017.

Sousa S M, Oliveira C A, Andrade D L, Carvalho C G, Ribeiro V P, Pastina M M, Marriel I E, Lana U G P, Gomes E A. Tropical *Bacillus* strains inoculation enhances maize root surface area, dry weight, nutrient uptake and grain yield. *Journal of Plant Growth Regulation*, 2021, 40: 867-877. DOI:10.1007/s00344-020-10146-9.

Teixeira P C, Donagema G K, Fontana A, Teixeira W G. Manual de métodos de análise de solos. 3.ed. Brasília: Embrapa, 2017.

Tiecher T, Rheinheimer D S, Kaminski J, Calegari A. Forms of inorganic phosphorus in soil under different long term soil tillage systems and winter crops. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 2012a, 36: 271-281. DOI: 10.1590/S0100-06832012000100028.

Tiecher T D R, Santos D F, Calegari A. Soil organic phosphorus forms under different soil management systems and winter crops, in a long term experiment. *Soil and Tillage Research*, 2012b, 124 (1):57-67. DOI: 10.1016/j.still.2012.05.001.

Tiessen H, Stewart J W B, Cole C V. Pathways of phosphorus transformations in soils of differing pedogenesis. *Soil Science Society of American Journal*, 1984, 48:853-858. DOI: 10.2136/sssaj1984.03615995004800040031x.

Tong W, Lingya K, Guo J J, Manqiang L, Feng H, Sunbo, Xin L H. Screening of phosphate-solubilizing bacteria in red soil and their acting mechanisms. *Acta Pedologica Sinica*. 2014; 51 (2): 373-380. DOI:10.11766/trxb201302250083.

Turner B L, Leytem A B. Phosphorus compounds in sequential extracts of animal manures: Chemical speciation and a novel fractionation procedure. *Environmental Science and Technology*, 2004, 38 (22): 6101–6108. DOI: 10.1021/es0493042.

Xiang W, Liang H, Liu S, Luo F, Tang J, Li M, Che Z. Isolation and performance evaluation of halotolerant phosphate solubilizing bacteria from the rhizospheric soils of historic Dagong Brine Well in China. *World J Microbiol Biotechnol*, 2011, 27: 2629–2637. DOI: 10.1007/s11274-011-0736-0.

Yuan M, Fernández F G, Pittelkow C M, Greer K D, Schaefer D. Soil and crop response to phosphorus and potassium management under conservation tillage. *Agronomy Journal*, 2020, 112: 2302-2316. DOI: 10.1002/agj2.20114

Wang Z, Zhang H, Liu L, Li S, Xie J, Xue X, Jiang Y. Screening of phosphate-solubilizing bacteria and their abilities of phosphorus solubilization and wheat growth promotion. *BMC Microbiol*, 2022, 22: 296-310. DOI: 10.1186/s12866-022-02715-7.

Wei Y, Zhao Y, Shi M, Cao Z, Lu Q, Yang T, Fan Y, Wei Z. Effect of organic acids production and bacterial community on the possible mechanism of phosphorus solubilization during composting with enriched phosphate-solubilizing bacteria inoculation. *Bioresour Technol*, 2018, 247: 190-199. DOI: 10.1016/j.biortech.2017.09.092.

Zhu J, Li M, Whelan M. Phosphorus activators contribute to legacy phosphorus availability in agricultural soils: A review. *Sci Total Environ*. 2018, 15; 612:522-537. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.08.095.

Zucareli C, Barzan R R, Silva J B da, Chaves D P. Associação de fosfatos e inoculação com *Bacillus subtilis* e seu efeito no crescimento e desempenho produtivo do feijoeiro. *Rev Ceres*. 2018, 65(2):189–95. DOI:10.1590/0034-737X201865020011.

FIGURAS E TABELAS

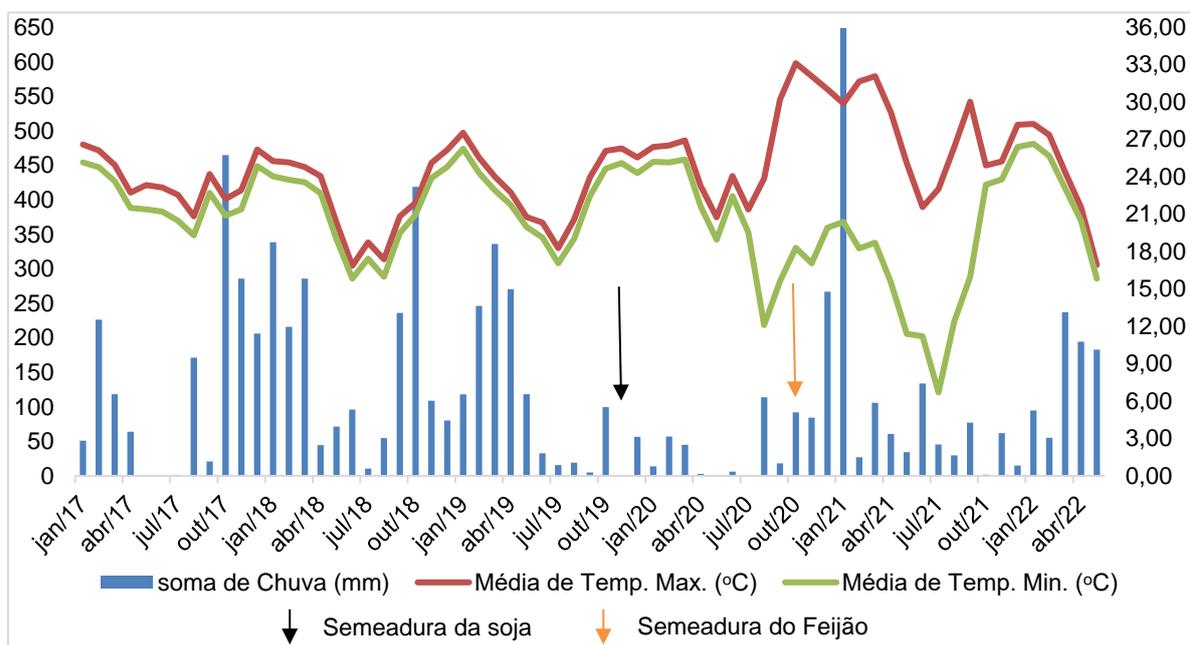


Figura 1 - Dados meteorológicos entre 2017 a 2022, em Santa Terezinha de Itaipu-PR

Tabela 1 – Resumo dos fertilizantes e corretivos, doses e quantidades de N, P₂O₅, K₂O, S e CaO aplicados em cada cultivo

	Sistema/cultura	Dose (kg ha⁻¹) N-P₂O₅-K₂O- S-CaO	Formulações N-P₂O₅-K₂O- S-CaO	Informações
2000-2014	Integração Lavoura/pecuária	-	-	-
2015	Soja	12-86-107-00	03-21-00 00-00-60	MAP+SSP KCl
2016	Milho verão	236-86-223-110- 126	20-00-00-24 00-19-00-12- 28 00-00-60-00	NH ₄ SO ₄ SSP KCl
2017	Pousio	4 Mg ha ⁻¹ 0,25 Mg ha ⁻¹	Calcário Calcítico Gesso	45% CaO 5%MgO 90% PRNT 95%PN 10% S 8%CaO
2017/18	<i>Brachiaria brizantha</i>	-	-	-
2018/19	<i>Brachiaria brizantha</i>	-	-	-
2019/20	Soja	10-80-26-00	4-30-10-00	-
2020	Mix de inverno	-	-	-
2020/21	Feijão	11-81-23-00 59-00-00-68	4-28-08-00 21-00-00-24	- (NH ₄) ₂ SO ₄
2021	Milheto	-	-	-

MAP: Fosfato Monoamônico; SSP: superfosfato simples (21% P₂O₅); KCl: Cloreto de Potássio (60 % K₂O); (NH₄)₂SO₄: Sulfato de Amônio (20% N e 24% S).

Tabela 2 – Teor de P lábil, moderadamente lábil e moderadamente resistente (mg kg⁻¹), na profundidade de 0-0,05 m em função do modo de aplicação e solubilizador BiomaPhos®

ADUBAÇÃO	P LÁBIL			P MODERADAMENTE LÁBIL		
	Pi-Bic	Po-Bic	Pt-Bic	Pi-H ⁺	Po-H ⁺	Pt-H ⁺
	----- mg kg ⁻¹ -----					
100% lanço	32,0 ab	10,3 a	42,3 ab	452,0 a	155,8 b	607,8 a
½ lanço + ½ linha	39,3 a	9,7 a	49,0 a	460,9 a	171,7 ab	632,6 a
100% linha	36,0 ab	11,8 a	47,7 ab	453,3 a	165,2 ab	618,5 a
sem P	18,5 b	12,4 a	30,9 b	413,6 a	189,0 a	602,6 a
Média	31,44	11,04	42,49	444,95	170,42	615,38
C. V. (%)	53,38	30,98	39,81	12,30	16,40	10,93

ADUBAÇÃO	P MODERADAMENTE RESISTENTE			P-RESIDUAL
	Pi-OH ⁻	Po-OH ⁻	Pt-OH ⁻	P-Recalcitrante
	----- mg kg ⁻¹ -----			
100% lanço	35,1 a	28,9 a	64,0 ab	187,1 a
½ lanço + ½ linha	35,8 a	32,7 a	68,6 ab	178,6 ab
100% linha	35,7 a	39,9 a	75,5 a	194,8 a
sem P	26,7 b	30,6 a	57,3 b	147,4 b
Média	33,32	33,02	66,35	176,97
C. V. (%)	14,67	40,02	21,96	19,80

ADUBAÇÃO	Pi-total	Po-total	P-total	%Po
		----- mg kg ⁻¹ -----		
100% lanço	519,1 ab	195,0 b	901,2 ab	21,4 b
½ lanço + ½ linha	536,0 a	214,1 ab	928,8 ab	23,0 b
100% linha	525,0 ab	216,8 ab	936,6 a	23,2 b
sem P	458,8 b	232,0 a	838,2 b	27,7 a
Média	509,72	214,50	901,20	23,81
C. V. (%)	13,61	12,95	9,71	10,81

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. P lábil, moderadamente lábil e moderadamente resistente, P recalcitrante, Pi: P inorgânico total, Po: P orgânico total e P total em mg kg⁻¹. %Po: Porcentagem de P orgânico.

Tabela 3 – Teor de P lábil, moderadamente lábil e moderadamente resistente (mg kg⁻¹), na profundidade de 0,05-0,10 m em função do modo de aplicação e solubilizador BiomaPhos®

ADUBAÇÃO	P LÁBIL			
	Pi-Bic	Po-Bic	Pt-Bic	%Po
	----- mg kg ⁻¹ -----			-----%-----
100% lanço	12,1 a	11,1 a	23,3 ab	23.1 a
½ lanço + ½ linha	15,8 a	12,8 a	28,5 ab	23.0 a
100% linha	21,1 a	12,3 a	33,4 a	23.7 a
sem P	10,2 a	11,3 a	21,5 b	28.9 a
Média	14,79	11,88	26,67	24.72
C. V. (%)	77,37	27,61	37,48	24.93
	P MODERADAMENTE LÁBIL			
	Pi-H ⁺		Po-H ⁺	Pt-H ⁺
	----- mg kg ⁻¹ -----			
	+ BiomaP	- BiomaP	+ BiomaP	- BiomaP
100% lanço	362,6 Ab	401,8 Aab	137,4 a	504,9 Ab 534,3 Aab
½ lanço + ½ linha	450,2 Aa	362,9 Bb	156,5 a	639,5 Aa 486,7 Bb
100% linha	388,6 Bab	457,2 Aa	160,4 a	536,3 Bab 630,3 Aa
sem P	352,8 Ab	346,3 Ab	171,6 a	524,8 Ab 517,4 Ab
Média	390,30	156,49	546.79	
C. V.1 (%)	12,01	37,53	13.49	
	P MODERADAMENTE RESISTENTE			P-RESIDUAL
	Pi-OH ⁻	Po-OH ⁻	Pt-OH ⁻	P-Recalcitrante
	----- mg kg ⁻¹ -----			
100% lanço	28,9 ab	31,6 a	60,5 a	174,7 a
½ lanço + ½ linha	30,6 ab	30,6 a	61,2 a	191,0 a
100% linha	34,5 a	35,3 a	69,8 a	185,5 a
sem P	23,6 b	38,5 a	62,1 a	158,2 a
Média	29,39	34,01	63,40	177,34
C. V. (%)	27,10	47,12	29,29	20,03
	Pi-total		Po-total	P-total
	----- mg kg ⁻¹ -----			
	+ BiomaP	- BiomaP	+ BiomaP	- BiomaP
100% lanço	401,3 Ab	445,1 Aab	180,2 a	769,5 Ab 786,7 Ab
½ lanço + ½ linha	502,9 Aa	403,0 Bb	199,9 a	917,0 Aa 770,9 Bb
100% linha	434,6 Bab	522,4 Aa	208,0 a	822,1 Aab 921,9 Aa
sem P	387,7 Ab	378,9 Ab	221,4 a	762,6 Ab 763,2 Ab
Média	434,49	202,38	814,23	
C. V.1 (%)	13,38	30,42	10,90	

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. P lábil, moderadamente lábil e moderadamente resistente, P recalcitrante, Pi: P inorgânico total, Po: P orgânico total e P total em mg kg⁻¹. %Po: Porcentagem de P orgânico.

Tabela 4 – Teor de P lábil, moderadamente lábil e moderadamente resistente (mg kg⁻¹), na profundidade de 0,10-0,20 m em função do modo de aplicação e solubilizador BiomaPhos®

ADUBAÇÃO	P LÁBIL			P MODERADAMENTE LÁBIL		
	Pi-Bic	Po-Bic	Pt-Bic	Pi-H ⁺	Po-H ⁺	Pt-H ⁺
	----- mg kg ⁻¹ -----					
100% lanço	13,5 a	10,2 a	23,8 a	362,4 a	133,2 a	495,6 a
½ lanço + ½ linha	6,1 a	11,2 a	17,3 a	350,7 ab	130,2 a	480,9 a
100% linha	9,7 a	13,3 a	23,0 a	373,8 a	147,1 a	521,0 a
sem P	3,3 a	11,5 a	14,8 a	336,3 b	141,7 a	478,0 a
Média	8,16	11,55	19,72	355,82	138,05	493,88
C. V. (%)	154,87	36,61	63,75	6,09	24,64	9,28

ADUBAÇÃO	P MODERADAMENTE RESISTENTE			P-RESIDUAL
	Pi-OH ⁻	Po-OH ⁻	Pt-OH ⁻	P-Recalcitrante
	----- mg kg ⁻¹ -----			
100% lanço	27,0 a	23,6 a	50,6 a	160,7 a
½ lanço + ½ linha	27,6 a	26,8 a	54,3 a	171,4 a
100% linha	29,1 a	31,0 a	60,1 a	171,2 a
sem P	24,5 a	27,1 a	51,7 a	129,0 a
Média	27,05	27,12	54,18	158,07
C. V. (%)	21,45	57,06	29,62	10,70

		+ BiomaP	- BiomaP
		146,9 B	169,2 A
C. V. (%)		22,27	

ADUBAÇÃO	Pi-total	Po-total	P-total	%Po
	----- mg kg ⁻¹ -----			%
100% lanço	402,9 a	167,0 a	730,7 ab	22,7 a
½ lanço + ½ linha	384,4 a	168,2 a	724,0 ab	23,0 a
100% linha	412,6 a	191,4 a	775,2 a	24,5 a
sem P	364,2 a	180,3 a	673,5 b	26,5 a
Média	391,04	176,74	725,86	24,16
C. V. (%)	7,62	25,81	11,03	20,58

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. P lábil, moderadamente lábil e moderadamente resistente, P recalcitrante, Pi: P inorgânico total, Po: P orgânico total e P total em mg kg⁻¹. %Po: Porcentagem de P orgânico.

3. ARTIGO 2

ALTERAÇÕES NOS TEORES DAS FRAÇÕES DE FÓSFORO EM PROFUNDIDADE SOB DIFERENTES MODOS DE APLICAÇÃO DO FERTILIZANTE FOSFATADO E SOLUBILIZADOR BIOMAPHOS®

RESUMO – O alto intemperismo dos Latossolos promove alta adsorção de fosfatos provenientes de fertilização mineral. O modo de aplicação de fosfatados e solubilizadores, podem alterar as frações lábeis de P com o decorrer dos cultivos. O objetivo foi avaliar a alteração das frações iniciais e finais de P orgânico e inorgânico, decorrente do uso do solubilizador Biomaphos® em profundidade, nos diferentes modos de aplicação do P. O delineamento foi o de blocos casualizados, com sete repetições. O solo em estudo foi o Latossolo Vermelho Distroférrico, possuindo teor de P alto (Mehlich-1). Foi realizada calagem e gessagem, seguindo dos cultivos: *Brachiaria cv. marandu*, soja, Mix de cultura de inverno, feijão e milho. A coleta de solo ocorreu antes e depois dos cultivos, em 5 pontos por subparcela (2 linhas e 3 entrelinhas), para uma amostra composta nas profundidades (0-0,05; 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m), efetuando o fracionamento de Bowman. Para comparação foi realizado o test-t para amostras pareadas. Para 100% em linha: o $Po-H^+$ obteve maior média no teor inicial em todas as profundidades; a ausência do Biomaphos® promoveu maior P-residual de 0,05-0,10 m e, maior $Pi-OH^-$ para 0-0,05 m. Para 100% à lanço: o maior P-residual na ausência do Biomaphos®, ocorreu de 0-0,05 m. Sem adição do P: exceto $Pi-lábil$, todas as frações de 0,05-0,20 m obtiveram menores médias iniciais. O Biomaphos® promoveu depleção de $Po-OH^-$, %Po e Po-total de 0,05-0,20 m para 100% à lanço e, na adubação ½ à lanço mais ½ em linha para 0-0,05 m e 0,10-0,20 m.

Palavras-chave: *Bacillus subtilis*, *Bacillus megaterium*, Labilidade, Fracionamento de fósforo.

CHANGES IN THE CONTENT OF PHOSPHORUS FRACTIONS IN DEPTH UNDER DIFFERENT MODES OF APPLICATION OF PHOSPHATE FERTILIZER AND BIOMAPHOS® SOLUBILIZER

ABSTRACT – The high weathering of Oxisols promotes high adsorption of phosphates from mineral fertilization. The way of applying phosphates and solubilizers can change the labile fractions of P over the course of the crops. The objective was to evaluate the change in the initial and final fractions of organic and inorganic P, resulting from the use of the

31 Biomaphos[®] solubilizer in depth, in the different modes of P application. The design was
 32 randomized blocks, with seven replications. The soil under study was the Distroferric Red
 33 Latosol, with a high P content (Mehlich-1). Liming and plastering were carried out, following
 34 the crops: *Brachiaria cv. marandu*, soybeans, winter crop mix, beans and millet. Soil was
 35 collected before and after cultivation, at 5 points per subplot (2 lines and 3 between lines), for
 36 a composite sample at depths (0-0,05; 0,05-0,10 and 0,10-0,20 m), performing Bowman
 37 fractionation. For comparison, the t-test was performed for paired samples. For 100% in line:
 38 Po-H⁺ had the highest average initial content at all depths; the absence of Biomaphos[®] promoted
 39 a higher P-residual of 0,05-0,10 m and a higher Pi-OH- for 0-0,05 m. For 100% broadcast on
 40 surface: The largest P-residual in the absence of Biomaphos[®] occurred at 0-0,05 m. Without
 41 addition of P: except Pi-labile, all fractions of 0,05-0,20 m had lower initial averages.
 42 Biomaphos[®] promoted depletion of Po-OH-, %Po and Po-total from 0,05-0,20 m to 100%
 43 broadcast and, in fertilization ½ broadcast surface plus ½ in line for 0-0,05 m and 0,10-0,20 m.
 44 **Keywords:** *Bacillus subtilis*, *Bacillus megaterium*, Lability, Phosphorus fractionation.

45 INTRODUÇÃO

46 A grande parcela dos solos
 47 brasileiros possui alta adsorção de P, que
 48 somada a baixa fertilidade natural,
 49 ocasiona a deficiência do nutriente
 50 (OLIVEIRA et al., 2021). Em solos
 51 altamente intemperizados, a adsorção de
 52 íons fosfato leva a limitação do
 53 rendimento das culturas (SILVA et al.,
 54 2018).

55 Pavinato et al. (2020) citam que
 56 70% do P aplicado via fertilizantes
 57 acumula-se no solo em formas de baixa
 58 labilidade.

59 O P no solo pode ocorrer na
 60 forma orgânica e inorgânica (GABOTINI
 61 et al., 2007), sendo estes de maior e
 62 menor labilidade (RHEINHEIMER;

63 ANGHINONI, 2001). Em solos mais
 64 intemperizados, as frações orgânicas
 65 possuem importante relevância, uma vez
 66 que compõe de 60 a 86% do P lábil
 67 (TIESEN et al., 1984; GUERRA et al.,
 68 1996; OLIVEIRA et al., 2021).

69 A alteração destas frações de
 70 fósforo pode ser influenciada pela
 71 profundidade (RHEINHEIMER;
 72 ANGHINONI, 2001), tipo de solo
 73 (OLIVEIRA et al., 2021) e manejo
 74 adotado (WANG et al., 2014), entre eles,
 75 quantidade de P adicionada (GABOTINI
 76 et al., 2007; FRAZÃO et al., 2021) e o
 77 modo de aplicação do fertilizante
 78 fosfatado (SANTOS et al., 2008).
 79 Bactérias e fungos também são

80 responsáveis por alterações nas frações
81 de P do solo, através da solubilização de
82 fosfatos insolúveis (RICHARDSON,
83 2001), quer seja pela produção e/ou
84 liberação de ácidos orgânicos
85 (HAMEEDA et al., 2008; MARRA et al.,
86 2012; YOUNG et al., 2013), fosfatases e
87 quelantes (OLIVEIRA-PAIVA et al.,
88 2022). Entre os gêneros que se destacam,
89 estão os *Bacillus*.

90 *Bacillus megaterium* e *Bacillus*
91 *subtilis* são estirpes presentes dentro do
92 solubilizador Biomaphos® (OLIVEIRA-
93 PAIVA et al., 2022), as quais solubilizam
94 fosfato de cálcio e ferro, produzindo
95 fosfatases, além de ácido glucônico e
96 fitase (ABREU et al., 2017; OLIVEIRA-
97 PAIVA et al., 2020).

98 Estas alterações nas frações de P e
99 sua dinâmica, podem ser entendidas
100 através do fracionamento de P (CHANG;
101 JACKSON, 1957; HEDLEY et al., 1982).

102 O método se baseia no uso de
103 extratores sequenciais de menor e maior
104 magnitude a fim de quantificar formas
105 lábeis, moderadamente lábeis e
106 moderadamente resistentes
107 (MIGNACCA, 2016; PINTO et al.,
108 2020).

109 O uso do Biomaphos® pode alterar
110 os teores nas frações de P. O objetivo do
111 trabalho foi avaliar a alteração das frações
112 iniciais e finais de P orgânico e

113 inorgânico, decorrente do uso do
114 solubilizador Biomaphos® em
115 profundidade, nos diferentes modos de
116 aplicação do fertilizante fosfatado.

117 MATERIAL E MÉTODOS

118 O experimento foi conduzido na
119 Fazenda Santa Maria, no município de
120 Santa Terezinha de Itaipu, estado do
121 Paraná, sob coordenadas geográficas
122 25°28'09" S e 54°22'41" W, com altitude
123 de 292 metros. O solo da região em
124 estudo é classificado como Latossolo
125 Vermelho Distroférico (SANTOS et al.,
126 2014), com 746 g kg⁻¹ de argila, 199 g kg⁻¹
127 de silte e 55 g kg⁻¹ de areia.

128 Posteriormente ao pousio e
129 correção e adição de gesso, efetuou-se
130 uma nova análise de solo na camada de 0-
131 0,20 m para análise química, a qual
132 apresentou pH (H₂O): 6,23; matéria
133 orgânica: 27,52 g kg⁻¹; P: 10,10 mg dm⁻³ e
134 S: 2,18 mg dm⁻³; Ca, Mg, K, Al e H+Al,
135 respectivamente, 6,95; 1,82; 0,85; 0,0 e
136 4,28 cmol_c dm⁻³, soma de bases: 9,62
137 cmol_c dm⁻³ e CTC: 13,90 cmol_c dm⁻³, V%:
138 69,21; %Ca, %Mg e %K,
139 respectivamente, 50; 13 e 6,12. O solo
140 possui alto teor de P pelo extrator
141 Mehlich-1 (SBSC/NEPAR, 2017).

142 A área de condução apresentava-
143 se em Sistema de Plantio Direto (SPD)
144 com Integração Lavoura-Pecuária há 14

145 anos, sendo que nos últimos 5 anos
 146 houveram semeaduras da soja e milho,
 147 tanto no inverno como no verão. No ano
 148 de 2015 o teor de P no solo era de 5,4 mg
 149 dm^{-3} , considerado baixo, pelo extrator
 150 Mehlich-1 (SBSC/NEPAR, 2017).
 151 Instalou-se as parcelas com os modos de
 152 aplicação efetuando correção dos teores

153 de P no solo e exportação pelas culturas
 154 inseridas de outubro de 2015 a março de
 155 2017, com soja e milho verão, elevando o
 156 teor do solo para 10,10 mg dm^{-3} , teor
 157 muito alto, para o mesmo extrator
 158 (SBSC/NEPAR, 2017), com uso de fonte
 159 a base de Super fosfato simples e Fosfato
 160 monoamônico.

Inserir aqui Figura 1

161 Em abril de 2017, realizou-se
 162 aplicação de calcário calcítico na dose de
 163 4 Mg ha^{-1} (PRNT 90%) e após gessagem
 164 na dose de 0,25 Mg ha^{-1} , esta a fim de
 165 elevar o teor de enxofre (S) no solo.
 166 Foram utilizadas as culturas, *Brachiaria*
 167 *brizantha cv. marandu* (nov/2017 a
 168 Ago/2019), soja (Nov/2019 a Mar/2020),
 169 Mix de Cultura de inverno – nabo
 170 japonês, nabo forrageiro, aveia branca,
 171 aveia preta e centeio (Mai/2020 a
 172 Set/2020), Feijão (Out/2020 a Fev/2021)
 173 e Milheto (Out/2021 a Mar/2022).

174 Na Figura 1 encontram-se os
 175 dados meteorológicos de 2017 a 2022,

176 segundo o INMET. O Delineamento
 177 experimental foi o de blocos casualizados
 178 em parcelas subdivididas (parcela – 4
 179 modos de aplicação: 100% P à lanço em
 180 superfície, ½ à lanço em superfície mais
 181 ½ na linha, 100% na linha de semeadura
 182 e, sem aplicação de P -, subparcela – com
 183 e sem Biomaphos®), com 7 repetições,
 184 sendo que as parcelas continham 50 m^2 .

185 Na Tabela 1 encontram-se os
 186 dados dos fertilizantes/condicionadores,
 187 doses e quantidades de N, P_2O_5 , K_2O , S e
 188 CaO aplicados em cada cultivo, 2 anos
 189 antes do experimento e ao decorrer deste.

Inserir aqui Tabela 1

190 Para as sementes de *Brachiaria*
 191 *brizantha cv. marandu*, foram lançadas
 192 manualmente nas parcelas 33 kg ha^{-1} ,
 193 incorporando com grade em 2 pontos de
 194 abertura para mínimo revolvimento do

195 solo. Efetuaram-se 4 cortes da massa
 196 verde da *Brachiaria* com uso de uma
 197 cegadeira. Para a soja e o feijão,
 198 utilizou-se uma semeadora/adubadora
 199 de 11 linhas e 0,45 m de espaçamento

200 entre linhas, dividindo-a em 5 linhas
201 cada lado, com 1 nula central, a fim de
202 analisar os tratamentos com e sem
203 Biomaphos[®]. A semeadura da soja
204 ocorreu em 17/11/2019 e a do feijão em
205 14/10/2020. A direção da semeadora foi
206 alterada conforme o sorteio da
207 subparcela. Para soja, utilizou-se a
208 cultivar M5947 IPRO, com 12 sementes
209 por metro e, para o feijão a cultivar IPR
210 Sabiá com 16 sementes por metro.

211 A inoculação com Biomaphos[®]
212 foi de 150 mL ha⁻¹ no tratamento de
213 sementes, no momento da semeadura,
214 segundo recomendação do fabricante,
215 de forma manual, calculando-se a dose
216 por m² e quilogramas de semente
217 utilizada. A inoculação e as adubações
218 ocorreram somente para as culturas da
219 soja e do feijão, na dose recomendada
220 para exportação de P e K
221 (SBCS/NEPAR, 2017). A adubação à
222 lanço, tanto parcial como total, foi
223 realizada manualmente a fim de evitar a
224 heterogeneidade na distribuição.
225 Utilizou-se 268 kg ha⁻¹ de 4-30-10 (N-
226 P₂O₅-K₂O) na soja e, para o feijão 289
227 kg ha⁻¹ de 04-28-08 (N-P₂O₅-K₂O) com
228 285 kg ha⁻¹ de sulfato de amônio na
229 formulação com 21% de N, em
230 cobertura, em única parcela aos 40
231 DAP.

232 Para Mix de inverno, semeou-se
233 com semeadora de trigo/cobertura,

234 utilizando 50 kg ha⁻¹ do Mix RX 210.
235 Quando atingiu-se o pico máximo de
236 matéria seca, pré-florescimento,
237 efetuou-se a dessecação com 4 L ha⁻¹ de
238 Glifosato (48%) e aproximadamente 20
239 dias após houve corte utilizando rolo
240 faca. Para o milho, a semeadura
241 ocorreu conforme a cultura da
242 *Brachiaria*, utilizando a variedade
243 ADR300, com 25 kg ha⁻¹. Com corte
244 utilizando a cegadeira no pré-
245 florescimento.

246 Foram realizados os tratos
247 culturais necessários em todas as
248 culturas, sendo realizada também
249 dessecações pré-semeadura, para que
250 esta ocorresse com ausência de
251 invasoras.

252 Foram realizadas as coletas de
253 solo em 2017, previamente a instalação
254 da *Brachiaria*, para realizar o
255 fracionamento inicial e, após o milho
256 em abril de 2022, para o fracionamento
257 final, de acordo com Bowman (1989).
258 Efetuou-se a coleta de solo utilizando
259 uma pá de corte, em 5 pontos por
260 subparcela, coletando-se 2 amostras nas
261 linhas e 3 amostras nas entrelinhas, a
262 fim de obter uma amostra composta, por
263 profundidade. As amostras compostas
264 foram realizadas nas profundidades de 0
265 a 0,05 m; de 0,05 a 0,10 m e 0,10 a 0,20
266 m. Após a coleta, as amostras foram
267 enviadas para o laboratório de

268 Fertilidade do solo e Nutrição Mineral
 269 de Plantas da Universidade Estadual do
 270 Oeste do Paraná (UNIOESTE), em
 271 Marechal Cândido Rondon, Paraná,
 272 onde foram secas em estufa por 24 horas
 273 a 40°C e após moídas utilizando um
 274 moinho com peneira de 2 mm de malha
 275 (TFSA – Terra fina seca ao ar).

276 A metodologia utilizada para o
 277 fracionamento sequencial de P, foi a de
 278 Bowman (1989), a qual baseia-se na
 279 quantificação e extração das formas
 280 totais orgânicas (Po) e inorgânicas (Pi)
 281 de P, a fim de verificar as alterações nas
 282 formas lábeis (P-Bic), moderadamente
 283 lábeis (P-H⁺) e moderadamente
 284 resistentes (P-OH⁻) do nutriente
 285 ocasionadas pelo modo de aplicação do
 286 fertilizante fostatado e pelo uso do
 287 Biomaphos[®]. A determinação foi
 288 realizada por colorimetria e
 289 quantificação do P no sobrenadante foi
 290 por espectrofotometria UV/Vis a 660
 291 nm (Teixeira et al., 2017), sendo os
 292 resultados expressos em mg kg⁻¹.

293 Foi realizado teste de
 294 normalidade e homogeneidade de
 295 variâncias. Efetuou-se o teste t para
 296 amostras dependentes ou pareadas. O
 297 aplicativo computacional utilizado foi o
 298 Genes (CRUZ, 2013).

299 **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

300 Os resultados estão apresentados
 301 nas Tabelas 2, 3, 4 e 5.

302 Na Tabela 2 estão os resultados
 303 referentes ao modo de aplicação 100% à
 304 lanço nas diferentes profundidades,
 305 comparando o teor inicial (Ti) e teor
 306 final com e sem Biomaphos[®] (Tfc e
 307 Tfs).

308 Os elevados valores de P para a
 309 camada de 0-0,05 m na aplicação 100%
 310 a lanço, se deve a aplicação superficial
 311 do fertilizante (COSTA et al., 2009;
 312 NUNES et al., 2011; BARBOSA et al.,
 313 2015). Houveram diferenças
 314 significativas entre o teor inicial e o teor

Inserir aqui Tabela 2

152

315 final sem Biomaphos[®] para P
 316 inorgânico lábil; P inorgânico, orgânico
 317 e total da fração moderadamente lábil;
 318 P- residual, P inorgânico total e P
 319 orgânico total, refletindo também no P

320 total. Sendo assim, mesmo após a
 321 sequência de cultivos que absorveram o
 322 P e a ciclagem de nutrientes mediante
 323 resíduos vegetais, o uso do Biomaphos[®]

324 se mostrou positivo, pois não diferiu
325 estatisticamente do teor inicial.

326 Wang et al. (2022) realizando a
327 triagem de bactérias solubilizadoras de
328 P, identificaram que o gênero *Bacillus*
329 promoveu aumento significativo na
330 labilidade do P do solo quando
331 comparado ao tratamento controle.

332 Tiecher et al. (2012), enfatizam
333 que as formas de P no solo podem ser
334 influenciadas pela habilidade em que a
335 cultura instalada capte o P disponível.

336 Somada aos resultados
337 explanados, verificou-se que a ausência
338 do Biomaphos[®] promoveu maior valor
339 de P-residual, quando comparado ao
340 teor inicial. Pode ter sido ocasionada
341 pela maior adição de fertilizante
342 fosfatado na superfície e textura do solo,
343 devido ao elevado poder tampão do
344 solo, que assume poder dreno de P após
345 o tempo (SOUSA et al., 2016; KOME et
346 al., 2019). Este acúmulo de P-residual
347 em solos altamente argilosos é
348 decorrente do alto grau de
349 intemperismo, atuando como dreno de
350 P, de maior proporção na forma
351 recalcitrante (NEUFELDT et al., 2000;
352 CARVALHO et al., 2008).

353 Vários trabalhos citam que
354 bactérias do gênero *Bacillus* são capazes
355 de mineralizar e solubilizar o P através
356 da produção de ácidos orgânicos e
357 enzimas como as fosfatases e fitases

358 (MEENA et al., 2016; PANDE et al.,
359 2017; ZHU et al., 2018; OLIVEIRA-
360 PAIVA et al., 2020; SOUSA et al.,
361 2021).

362 O uso do Biomaphos[®] promoveu
363 menores teores quando comparado ao
364 Teor inicial, para as frações P orgânico
365 lábil, P lábil e moderadamente lábil
366 totais e P total, na camada de 0,05-0,10
367 m; além do P orgânico moderadamente
368 lábil nas profundidades 0,05 até 0,20 m,
369 refletindo em menores teores de P
370 orgânico total e %Po. Para as variáveis
371 P total lábil, P total moderadamente
372 lábil e P total, não houve diferença entre
373 teor inicial e teor final sem Biomaphos[®],
374 para a profundidade de 0,05-0,10 m.
375 Resultados estes que podem ter ocorrido
376 devido a maior disponibilidade e
377 absorção das culturas instaladas, quando
378 do uso do solubilizador (ALVES et al.,
379 2002; COUTINHO; HOULLOU, 2012;
380 OLIVEIRA et al., 2013). Outro fato a
381 ser notado é que estas diferenças
382 ocorreram nos locais de maior presença
383 das raízes, até 15 cm de profundidade
384 (GREGORY, 1992).

385 Marcolan (2006), cita que a
386 distribuição das raízes e a
387 disponibilidade do P são influenciadas
388 diretamente pelo SPD e modo de
389 aplicação do P.

390 Para a fração de Pi
391 moderadamente resistente na

392 profundidade de 0,10-0,20 m, obteve-se
 393 um menor teor inicial quando
 394 comparado aos teores finais com e sem
 395 Biomaphos[®]. A longo do tempo ocorre
 396 a passagem do P lábil para formas de
 397 menor disponibilidade, devido ao
 398 aumento da energia de ligação
 399 (MARTINAZZO et al., 2007; SANTOS
 400 et al., 2008) sendo influenciada pelo
 401 teor de argila e doses aplicadas
 402 (PARFITT, 1978; BARROW, 1983;
 403 MACHADO e SOUZA, 2012), além da
 404 profundidade de amostragem
 405 (KURIHARA et al., 2016).

406 Para o modo de aplicação ½ a
 407 lanço + ½ na linha (Tabela 3), verificou-

408 se os menores valores para P orgânico
 409 lábil na profundidade de 0-0,05 m, P
 410 orgânico moderadamente lábil, Po total
 411 e %Po nas profundidades de 0-0,05 m e
 412 0,10-0,20 m, quando do uso do
 413 Biomaphos[®]. A produção de fitases por
 414 *Bacillus megaterium* (OLIVEIRA-
 415 PAIVA et al., 2021) pode ter promovido
 416 um aumento da mineralização de P
 417 orgânico, tanto em superfície como em
 418 profundidade, devido local de deposição
 419 do fertilizante fosfatado, pelo
 420 crescimento radicular lateral e pêlos
 421 radiculares (SANTOS et al., 2019) e
 422 maior absorção do P conseqüentemente.

Inserir aqui Tabela 3

263

423 Yang et al. (2015), verificaram
 424 aumento de Pi e diminuição de Po na
 425 fração moderadamente lábil em
 426 decorrência do aumento da taxa de
 427 mineralização e maior absorção de P.
 428 Guareschi et al. (2016), em estudo em
 429 Latossolo Vermelho Distroférrico, com
 430 adoção de SPD de até 20 anos e
 431 adubação fosfatada frequente,
 432 verificaram acúmulo de P no solo na
 433 forma inorgânica moderadamente lábil.

434 Nota-se também que o P total
 435 moderadamente lábil também obteve o
 436 mesmo resultado. Como constatado por
 437 Gabotini et al. (2017), o P total

438 moderadamente lábil foi influenciado
 439 pelo P orgânico da mesma fração. Isto
 440 porque o Po pode atuar como dreno de
 441 P, tamponando o Pi impactando
 442 diretamente no P total.

443 O maior teor final sem
 444 Biomaphos[®] para a fração Pi
 445 moderadamente resistente ainda na
 446 adubação ½ à lanço mais ½ na linha, na
 447 profundidade de 0,10-0,20 m quando
 448 comparado ao teor inicial,
 449 possivelmente se deve ao aumento de P
 450 nesta fração ao longo do tempo e o uso
 451 de MSP (microrganismos
 452 solubilizadores de fosfato) auxiliarem

453 na disponibilidade do P, migrando para
454 outras frações de maior labilidade. Isto
455 porque, a adsorção ocorre
456 primeiramente nos sítios de maior
457 labilidade e com tempo é redistribuído
458 em formas menos lábeis e com maior
459 energia de ligação, principalmente em
460 solos com altos teores de argila
461 (NOVAIS; SMITH, 1999;
462 RHEINHEIMER; ANGHINONI,
463 2001).

464 A excreção de ácidos orgânicos
465 de baixo peso molecular também pode
466 ser fator fundamental, uma vez formam
467 complexos com os cátions, liberando o
468 P (FOX et al., 1990; ZHU et al., 2018;
469 ANDERSSON et al., 2015).

470 Guan et al. (2013) verificaram
471 aumento do P disponível em relação a
472 testemunha quando da adição de ácidos
473 orgânicos (oxálico) e fitase,
474 transformando frações menos
475 disponíveis em lábeis, dissolvendo
476 minerais de baixa solubilidade (FOX et
477 al., 1990).

478 Sharma et al. (2013) citam que a
479 fitase hidrolisa o fitato, concomitando
480 em P inorgânico.

481 Sabe-se que a fração inorgânica
482 moderadamente resistente condiz ao P
483 associado a fração argila com ligação a
484 Ferro e Alumínio (CONTE et al., 2003;
485 SILVA et al., 2003).

486 A mesma explicação pode ser
487 utilizada para o P-residual, onde obteve-
488 se os maiores valores quando do teor
489 final sem Biomaphos[®] para as
490 profundidades de 0,05-0,10 m. Zhu et
491 al. (2018) verificaram que o uso de MSP
492 promove maior disponibilidade do P-
493 residual, pela solubilização ou
494 mineralização.

495 Para o modo de aplicação 100%
496 em linha de semeadura (Tabela 4),
497 notou-se que houve diferença
498 significativa quando do teor inicial em
499 relação aos teores finais com e sem
500 Biomaphos[®], nas profundidades de 0 até
501 0,10 m, para as frações Po total e %Po
502 e, na fração Po moderadamente lábil em
503 todas as profundidades. Os maiores
504 valores foram obtidos nos teores
505 iniciais.

506 Notou-se uma maior
507 dependência da fração orgânica do P, ou
508 seja, maior mineralização, tamponando
509 a fração inorgânica, após período de
510 tempo. Outro fator que pode ter
511 auxiliado os resultados é o ciclo dos
512 cultivos dentro do período. Tokura et al.
513 (2002), verificaram que com o tempo de
514 cultivo, em Latossolo Vermelho, temos
515 uma maior participação do P orgânico
516 moderadamente lábil (Po-H⁺) no
517 suprimento de P para as plantas. Além
518 do que, o Po pode ser utilizado como
519 estoque para as culturas posteriores, em

520 casos do não suprimento total do P
521 inorgânico (DAMODAR REDDY et al.,
522 2000), pois neste estudo a adubação foi
523 realizada apenas nas culturas comerciais
524 (soja e feijão).

525 O mesmo ocorreu para as
526 frações Po total e %Po na profundidade
527 de 0,10-0,20 m, onde houve a deposição
528 do fertilizante fosfatado, o uso do
529 Biomaphos® não diferiu
530 estatisticamente do teor inicial,
531 sugerindo que com o passar do tempo,
532 houve imobilização do P, sendo
533 altamente influenciado pelo Po-Bic.

534 Esta fração é composta pelo P presente
535 no material vegetal ou em
536 microrganismos, a qual pode variar em
537 função da atividade biológica, matéria
538 orgânica e cultivo (BRASIL et al.,
539 2014).

540 Os resultados obtidos na fração
541 Pi e P total moderadamente resistentes,
542 na profundidade de 0-0,05 m, no modo
543 de aplicação 100% em linha, condizem
544 com os apresentados para o modo de
545 aplicação ½ em linha + ½ a lanço na
546 profundidade 0,10-0,20 m, para a fração
547 moderadamente resistente.

Inserir aqui Tabela 5

363

548 Os resultados apresentados na
549 Tabela 5, referem-se a testemunha (sem
550 aplicação de fertilizante fosfatado). Na
551 profundidade de 0-0,05 m, o teor inicial
552 obteve o maior valor para a fração P
553 lábil (Pi-Bic, Po-Bic e Pt-Bic). Isto
554 porque, O P-lábil está em equilíbrio
555 direto com o P-solução (SOUZA et al.,
556 2007), sendo absorvido ao longo do
557 tempo.

558 Já na fração moderadamente
559 lábil (Pi-H⁺, Po-H⁺ e Pt-H⁺), para a
560 mesma profundidade, o teor final com
561 Biomaphos® não obteve diferença
562 significativa em relação ao teor inicial,
563 com as menores médias. Selhorst et al.
564 (2022), trabalhando com fracionamento

565 de P e doses de superfosfato simples,
566 com testemunha, concluíram que sem a
567 fosfatagem, ocorre passagem do P
568 moderadamente lábil para P-lábil,
569 disponibilizando P na solução, suprimindo
570 a necessidade da cultura. O P da fração
571 moderadamente lábil é considerado
572 reserva de P, mas em casos de não
573 fertilização, torna-se a principal fonte
574 do nutriente (GABOTINI et al., 2007;
575 TIECHER et al., 2012), sendo o
576 resultado neste caso, influenciado pelo
577 uso do Biomaphos®, e impactando
578 diretamente o P total e Pi total.

579 Para o P total moderadamente
580 resistente, de 0-0,05 m, o maior valor foi
581 encontrado para o teor final com

582 Biomaphos®. O P moderadamente
 583 resistente foi influenciado grande parte
 584 pelo Po-OH⁻, fato este que pode explicar
 585 o resultado obtido, pois em solos sem
 586 fertilização a fração orgânica prevalece
 587 em detrimento da inorgânica
 588 (BEUTLER et al., 2015), pelo aporte de
 589 resíduo vegetal na camada avaliada.
 590 Outro fator que pode ser considerado é
 591 que o Po da fração moderadamente
 592 resistente está ligado diretamente a
 593 presença de ácidos húmicos
 594 (BEZERRA et al., 2015), podendo ser
 595 influenciada pelo Biomaphos®, já que
 596 os microrganismos podem interagir com
 597 os ácidos húmicos mineralizando ou
 598 imobilizando o P (GIOVANNINI et al.,
 599 2013).

600 Os microrganismos capazes de
 601 solubilizar o P, liberam ácidos
 602 orgânicos como os húmicos, 2-ceto-
 603 glucônicos, entre outros (PRABHU et
 604 al., 2019), capazes de quelar alumínio,
 605 ferro e cálcio, disponibilizando o P
 606 (LEE et al., 2012).

607 Além disto, secretam
 608 sideróforos que possuem forte afinidade
 609 com o Ferro (GAONKAR; BHOSLE,
 610 2013; BATISTA et al., 2018).

611 De modo geral, as demais
 612 frações nas profundidades de 0,05-0,10
 613 e 0,10-0,20 m, com exceção da Pi-lábil,
 614 obtiveram os menores valores quando

615 dos teores iniciais, na ausência da
 616 adubação fosfatada.

617 CONCLUSÕES

618 Para o modo de aplicação do
 619 fertilizante fosfatado 100% à lanço: o
 620 uso do Biomaphos® promoveu depleção
 621 da fração P orgânico moderadamente
 622 lábil nas profundidades de 0,05 até 0,20
 623 m; refletindo no P orgânico total e na
 624 %Po. O P-residual foi maior sem o
 625 Biomaphos®, nas profundidades de 0 a
 626 0,05 m.

627 Para o modo de aplicação do
 628 fertilizante fosfatado ½ à lanço mais ½
 629 em linha: Houve depleção do P
 630 orgânico moderadamente lábil, P orgânico
 631 total e %Po, quando do uso do
 632 Biomaphos® comparado ao teor inicial,
 633 motivadas pela mineralização e atuação
 634 das fitases e ácidos orgânicos do
 635 solubilizador, nas profundidades de 0-
 636 0,05 m e 0,10-0,20 m. Ainda, quando da
 637 ausência do Biomaphos® houve
 638 elevação do P-residual na profundidade
 639 de 0,05-0,10 m.

640 Nas adubações ½ à lanço mais ½
 641 em linha para a profundidade de 0,10-
 642 0,20 m e, 100% em linha para 0-0,05 m,
 643 quando da ausência do Biomaphos®
 644 houve aumento da fração Pi
 645 moderadamente resistente, devido a
 646 diminuição da labilidade ao longo do
 647 tempo.

648 Para a adubação 100% em linha,
649 o Po moderadamente lábil obteve maior
650 média para o teor inicial em todas as
651 profundidades, pela maior dependência
652 da fração orgânica após anos de cultivo.

653 Na ausência de adubação
654 fosfatada, com exceção do Pi-lábil,
655 todas as demais frações nas
656 profundidades de 0,05 até 0,20 m,
657 obtiveram as menores médias iniciais.
658 Para a profundidade de 0-0,05 m os
659 teores finais com e sem Biomaphos®
660 foram inferiores ao inicial, devido a
661 rápida absorção e reposição do P-
662 solução pelo Pi-lábil.

663 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 664 ABREU, C. S. de; FIGUEIREDO, J. E. F.; OLIVEIRA, C. A.; SANTOS, V. L. dos; GOMES,
665 E. A.; RIBEIRO, V. P.; BARROS, B. de A.; LANA, U. G. de P.; MARRIEL, I. E. Maize
666 endophytic bacteria as mineral phosphate solubilizers. **Genetics and Molecular Research**, v.
667 16, n. 1, p. 1-13, 2017. DOI: [http:// dx.doi.org/10.4238/gmr16019294](http://dx.doi.org/10.4238/gmr16019294).
- 668 ALVES, L.; MENDOZA, E. A.; SILVA FILHO, G. N. Microorganismos solubilizadores de
669 fosfatos e o crescimento de pinus e eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v.26,
670 p.939-947, 2002.
- 671 ANDERSSON, K.O., TIGHE, M.K., GUPPY, C.N., MILHAM, P.J., MCLAREN, T.I.
672 Incremental acidification reveals phosphorus release dynamics in alkaline vertic soils.
673 **Geoderma**. v.259, p.35-44, 2015.
- 674 BARBOSA, Newton Cabral; ARRUDA, Everton Martins; BROD, Elias; PEREIRA,
675 Hamilton Seron. Distribuição vertical do fósforo no solo em função dos modos de aplicação.
676 **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 31, n. 1, p. 87-95, 2015.
- 677 BARROW, N.J. On the reversibility of phosphate sorption by soils. **J. Soil Sci.** v.34, p.751-
678 758, 1983.
- 679 BATISTA, F. C.; FERNANDES, T. A.; ABREU, C. S.; OLIVEIRA, M. C.; RIBEIRO, V. P.;
680 GOMES, E. A.; LANA, U. G. P.; MARRIEL, I. E.; PAIVA, C. A. O. **Potencial de**
681 **microrganismos rizosféricos e endofíticos de milho em solubilizar o fosfato de Ferro e**
682 **produzir sideróforos**. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 1ª Ed. Sete Lagoas: Embrapa
683 milho e sorgo, 23p., 2018.
- 684 BEUTLER, S.J.; PEREIRA, M. G.; PERDA, A.; PERIN, A.; ANJOS, L. H. C. Humic
685 substances and phosphorus fractions in areas with crop-livestock integration, pasture and
686 natural cerrado vegetation in Goiás, Brazil. **Tropical and Subtropical Agroecosystems**,
687 Mérida, v.18, n.1, p.11-25, 2015.
- 688 BEZERRA, R. P. M.; LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A. Frações de fósforo e
689 correlação com atributos edáficos sob sistemas de plantio direto e integração lavoura-pecuária
690 no Cerrado Goiano. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.36, n.3, p.1287-1306, 2015.
- 691 BOWMAN, R. A. A sequential extraction procedure with concentrated sulfuric acid and
692 diluted base for soil organic phosphorus. **Soil Science Society of America Journal**. Madison,
693 v.53, n.02, p. 326-366, 1989. DOI: 10.2136/sssaj1989.03615995005300020008x.
- 694 BRASIL, E. C.; DANTAS, R. C. R.; HUNGRIA, L. C. da; SANTOS, D. G. dos; VIEIRA, M.
695 E.; FERREIRA, J. N. Formas de fósforo lábil em solos sob diferentes sistemas de uso da terra
696 na Amazônia. **Anais...In: FertBio 2014**, 2014, Araxá. Embrapa, 2014.
- 697 CARVALHO, A. M.; BUSTAMANTE, M. M. C.; PRADO, Z. A. Disponibilidade de fósforo
698 em Latossolo sob cultivo de milho e plantas de cobertura. **Anais..In: IX Simpósio Nacional**
699 **Cerrado e II Simpósio Internacional Savanas tropicais.**, 2008, Brasília. Embrapa, 2008.

- 700 CHANG, S.C.; JACKSON, M.L. Fractionation of soil phosphorus. **Soil Science**, Oxford,
701 v.84, p.133-144, 1957.
- 702 CONTE, E.; ANGHINONI, I.; RHEINHEIMER, D. S. Frações de fósforo acumuladas em
703 Latossolo argiloso pela aplicação de fosfato no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de**
704 **Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 5, p. 893-900, 2003. DOI: doi.org/10.1590/S0100-
705 06832003000500014.
- 706 COSTA, S. E. V. G. A.; SOUZA, E.D.; ANGHINONI, I.; FLORES, J.P.C.; CAO, E.G.;
707 HOLZSCHUCH, M.J. Phosphorus and root distribution and corn growth as related to long-
708 term tillage systems and fertilizer placement. **Revista Brasileira de Ciência do Solo [online]**.
709 Viçosa, v.33, n.5, pp.1237-1247, 2009.
- 710 COUTINHO, F.P.; HOULLOU, L. M. Fungos solubilizadores de fosfato isolados da rizosfera
711 de cana-de-açúcar (*Saccharum spp. L.*). **Anais..** In: IV Encontro Pernambucano de Micologia,
712 2016, Recife. IV EPEM, 2016.
- 713 CRUZ, C.D. GENES - a software package for analysis in experimental statistics and
714 quantitative genetics. **Acta Scientiarum**, v.35, n.3, p.271-276, 2013.
- 715 DAMODAR REDDY, D.; SUBBA RAO, A.; RUPA, T.R. Effects of continuous use of cattle
716 manure and fertilizer phosphorus on crop yields and soil organic phosphorus in a Vertisol.
717 **Bioresource Technology**, V. 75, p.113-118, 2000.
- 718 FOX, T. R., COMEFORD, N. B.; MCFEE, W. W. Kinetics of phosphorus release from
719 spodosols: Effects of oxalate and formate. **Soil Sci. Soc. Am. J.** v.54, p.1441-1447, 1990.
- 720 FRAZÃO, J. J.; LAVRES JUNIOR, J.; BENITES, V. M. **Mudanças nas frações lábeis de**
721 **fósforo no solo em função da aplicação de fertilizantes minerais e organominerais**
722 **fosfatados**. In: SILVA-MATOS, R. R. S.; MACHADO, N. A. F.; CORDEIRO, K. V. (org.).
723 **Sistemas de produção nas ciências agrárias**. Ponta Grossa: Atena, 2021. cap. 14, p. 156-160.
- 724 GABOTINI, L.; KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D.S.; FLORES, J.P.C. Biodisponibilidade
725 de formas de fósforo acumuladas em solo sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de**
726 **Ciência do Solo**. Viçosa, v.31, p.691-699, 2007. DOI: [https://doi.org/10.1590/S0100-](https://doi.org/10.1590/S0100-06832007000400010)
727 06832007000400010.
- 728 GABOTINI, L.C.; VARGAS, C. O.; ALBUQUERQUE, J. A.; ALMEIDA, J. A.; STAHL, J.;
729 CHAVES, D. M.; BRUNETTO, G.; DALL'ORSOLETTA, D. J.; RAUBER, L. P.
730 Phosphorus fractions in soil after successive crops of *Pinus taeda* L. without fertilization.
731 **Ciência Rural**, Santa Maria, v.47, n.7, p.1-8, 2017.
- 732 GAONKAR, T.; BHOSLE, S. Effect of metals on a siderophore producing bacterial isolate
733 and its implications on microbial assisted bioremediation of metal contaminated soils.
734 **Chemosphere**, v. 93, n. 9, p. 1835-1843, 2013.
- 735 GARCIA-MINA, J. M.; CIAVATTA, C.; MARZADORI, C. Effect of organic-complexed
736 superphosphates on microbial biomass and microbial activity of soil. **Biology and Fertility**
737 **of Soils**, Bolonha, v.49, n.4, p.395-401, 2013.

- 738 GREGORY, P. J. **Crecimiento y funcionamiento de las raíces**. In: WILD, A. (Coord).
739 Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russel. Madrid: Mundi-Prensa, p.
740 121-175. 1992.
- 741 GUAN, L.Z., YANG, Z.H., CAO, H.L., ZHANG, G.C., ZHANG, Y. Effects of phytase on
742 phosphorus release under the influence of exogenous oxalic acid. **Soil Fert. Sci. in China**, v.
743 5, p.19-23, 2013.
- 744 GUARESCHI, R.F.; PEREIRA, M.G.; PERIN, A. Phosphorus fractions in an agricultural
745 chronosequence under tillage regimes in the Cerrado area in Goiás, Brazil. **Semina: Ciências**
746 **Agrárias**, Londrina, v.37, n.2, p.611-624, 2016.
- 747 GUERRA, J. G. M.; ALMEIDA, D. L.; SANTOS, G. A.; FERNANDES, M. S. Conteúdo de
748 fósforo orgânico em amostras de solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 31, p.
749 291-299, 1996.
- 750 HAMEEDA, B.; HARINI, G.; RUPELA, O. P.; WANI, S. P.; REDDY, G. Growth promotion
751 of maize by phosphate-solubilizing bacteria isolated from composts and macrofauna.
752 **Microbiological Research**, Jena, v. 163, n. 2, p. 234-242, 2008.
- 753 HEDLEY, M. J.; STEWART, J. W. B.; CHAUHAN, B. S. Changes in inorganic and organic
754 soil phosphorus fractions induced by cultivation practices and by laboratory incubations. **Soil**
755 **Science Society of America Journal**, Saskatchewan, v.46, p.970-976, 1982.
756 DOI:/10.2136/sssaj1982.03615995004600050017x.
757
- 758 KOME, G.K.; ENANG, R. K.; TABI, F. O.; YERIMA, B. P. K. Influence of Clay minerals on
759 some soil fertility attributes: a review. **Open Journal of Soil Science**, v.9, p.155-188,2019.
- 760 KURIHARA, C.H.; SILVA, W.M.; DIAS, M.M.; TSUJIGUSHI, B.P.; SILVA, J.V.S. Gradual
761 correction of phosphorus availability in the no-tillage system. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 63, n.2, p.
762 256-264, 2016.
- 763 LEE, K. K.; MOK, I. K.; YOO, M. H.; KIM, H.; CHUNG, D. Mechanisms of phosphate
764 solubilization by PSB (Phosphatesolubilizing Bacteria) in soil. **Korean Journal of Soil Science**
765 **and Fertilizer**, v. 45, n. 2, p. 169-176, 2012.
- 766 MACHADO, V. J; SOUZA, C. Disponibilidade de fósforo em solos com diferentes texturas após
767 aplicação de doses crescentes de fosfato monoamônico de liberação lenta. **Revista Biociências**, v.
768 1, p. 1–7, 2012.
- 769 MARCOLAN, A. L. **Suprimento e absorção de fósforo em solos submetidos a diferentes**
770 **sistemas de preparo**. 2006. 124p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal
771 do Rio Grande do Sul - Porto Alegre, 2006.
- 772 MARRA, L. M.; SOARES, C. R. F. S.; OLIVEIRA, S. M.; FERREIRA, P. A. A.; SOARES, B.
773 L.; CARVALHO, R. F.; LIMA, J. M.; MOREIRA, F. M. S. Biological nitrogen fixation and
774 phosphate solubilization by bacteria isolated from tropical soils. **Plant and Soil**, V.357, p. 289–
775 307, 2012. DOI:10.1007/s11104-012-1157-z.
- 776 MARTINAZZO, R.; SANTOS, D.R.; GABOTINI, L.C.; BRUNETTO, G.; KAMINSKI, J.
777 Fósforo microbiano do solo sob sistema plantio direto em resposta à adição de fosfato solúvel.

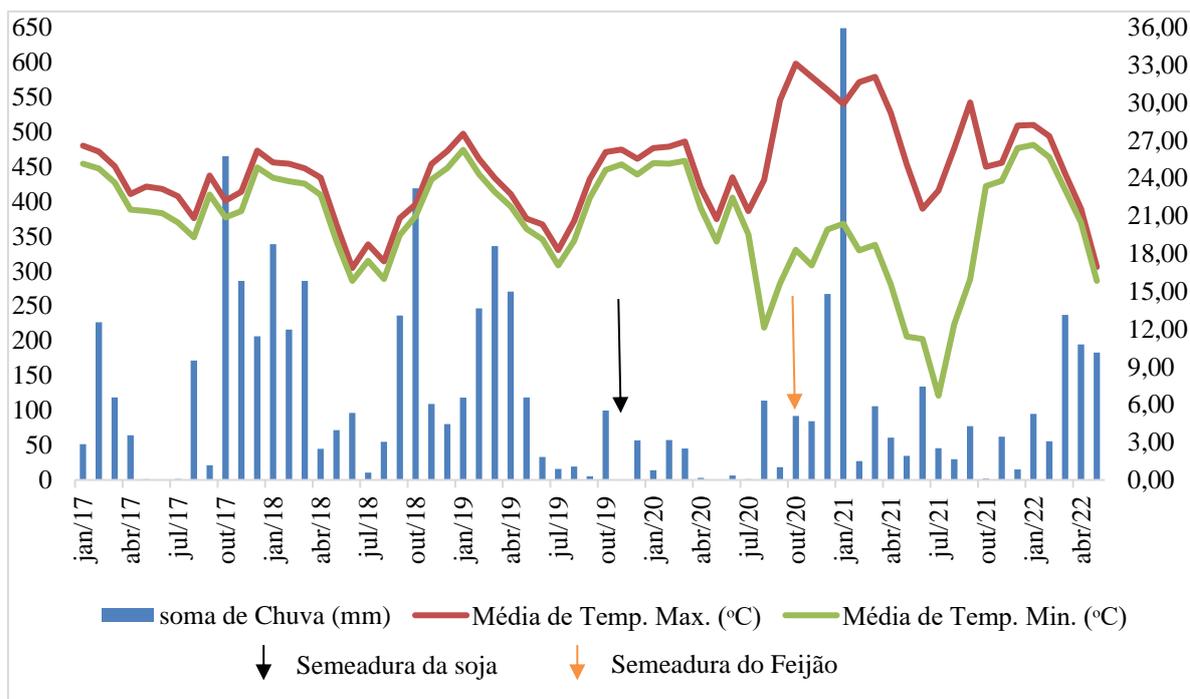
- 778 **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, n.3, p.563-568, 2007. DOI:
779 doi.org/10.1590/S0100-06832007000300016.
- 780 MEENA, V. S.; MAURYA, B. R.; MEENA, S.K.; MEENA, R.K.; KUMAR, A.; VERMA, J.
781 P.; SINGH, N. P. **Can Bacillus Species Enhance Nutrient Availability in Agricultural**
782 **Soils?** In: ISLAM, M.; RAHMAN, M.; PANDEY, P.; JHA, C.; AERON, A. (editors). *Bacilli*
783 *and Agrobiotechnology*. 1. ed. Switzerland: Springer; 2016. p 367-395.
- 784 MIGNACCA, F. A. **Fracionamento de fósforo de um argissolo vermelho distroférico**
785 **submetido a manejos de correção e adubação em sistemas de integração lavoura-**
786 **pecuária**. 2016. 73p. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade do Oeste Paulista-
787 UNOESTE. Presidente Prudente, SP. 2016.
- 788 NEUFELDT, H.; SILVA, J.E.; AYARZA, M.A. & ZECH, W. Land-use effects on
789 phosphorus fractions in Cerrado Oxisols. *Biol. Fertil. Soils*. v.31, p.30-37, 2000.
- 790 NOVAIS, R.F. & SMYTH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa,
791 Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399p.
- 792 NUNES, R.D.S.; SOUSA, D.M.G.; GOEDERT, W.J.; VIVALDI, L.J. Distribuição de fósforo
793 no solo em razão do sistema de cultivo e manejo da adubação fosfatada. **Revista Brasileira**
794 **de Ciência do Solo**, Viçosa, v.35, n.3, p. 877-888, 2011.
- 795 OLIVEIRA, C. A.; MARRIEL, I. E.; GOMES, E. A.; MATTOS, B. B.; SANTOS, F. C.;
796 OLIVEIRA, M. C.; ALVES, V. M. C. **Metodologia de aplicação de microrganismos**
797 **solubilizadores de fósforo em sementes visando melhor aproveitamento deste nutriente**
798 **pelos plantas**. Boletim de pesquisa e desenvolvimento. 1 Ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e
799 Sorgo, 31p., 2013.
- 800 OLIVEIRA, L. C. A.; CARNEIRO, M. A.; LITTER, F. A.; CARVALHO, M. A. C.;
801 YAMASHITA, O. M.; CAIONE, G. Frações de fósforo em função do uso de fertilizantes
802 fosfatados em distintas classes de solo. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**. V.14,
803 n.4, p. 1025-1035, 2021. DOI: 10.17765/2176-9168.2021v14n4e8921.
- 804 OLIVEIRA-PAIVA, C. A.; ALVES, V. M. C.; GOMES, E. A.; SOUSA, S. M. de; LANA, U.
805 G. de P.; MARRIEL, I. E. **Microrganismos solubilizadores de fósforo e potássio na**
806 **cultura da soja**. In: MEYER, M. C.; BUENO, A. de F.; MAZARO, S. M.; SILVA, J. C. da
807 (ed.). *Bioinsumos na cultura da soja*. Brasília, DF: Embrapa, 2022, p. 163-179.
- 808 OLIVEIRA-PAIVA, C. A.; COTA, L. V.; MARRIEL, I. E.; GOMES, E. A.; SOUSA, S. M.
809 de; LANA, U. G. de P.; SANTOS, F. C. dos; PINTO JÚNIOR, A. S.; ALVES, V. M. C.
810 **Viabilidade técnica e econômica do Biomaphos® (Bacillus subtilis CNPMS B2084 e**
811 **Bacillus megaterium CNPMS B119) nas culturas de milho e soja**. Sete Lagoas: Embrapa
812 Milho e Sorgo, 2020. 21 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de Pesquisa e
813 Desenvolvimento, 210).
- 814 PANDE, A.; PANDEY, P.; MEHRA, S.; SINGH, M.; KAUSHIK, S. Phenotypic and
815 genotypic characterization of phosphate solubilizing bacteria and their efficiency on the
816 growth of maize. *J. Genet. Eng. Biotechnologia*. V.15, p.379–391, 2017. DOI:
817 10.1016/j.jgeb.2017.06.005.
- 818 PARFITT, R.L. Anion adsorption by soil and soil materials. *Adv. Agron.* v.30, p.1-46, 1978.

- 819 PAVINATO, P. S.; CHERUBIN, M. R.; SOLTANGHEIS, A.; ROCHA, G. C.; CHADWICK,
820 D. R.; JONES, D. L. Revealing soil legacy phosphorus to promote sustainable agriculture in
821 Brazil. **Scientific Reports**. Londres, v. 10, p.1-12, 2020. DOI: 10.1038/s41598-020-72302-1.
- 822 PINTO, L. A. S. R.; BEUTLER, S. J.; ASSUNÇÃO, S. A.; ROSSI, C. Q.; GUARESCHI, R.
823 F.; ZANDONÁ, S. R.; SANTOS, O. A. Q.; PEREIRA, M. G. Extração e quantificação das
824 frações de fósforo orgânico no solo / Extraction and quantification of organic phosphorus
825 fractions in soil. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 6, p. 34260–34278,
826 2020. DOI: 10.34117/bjdv6n6-102.
- 827 PRABHU, N.; BORKAR, S.; GARG, S. **Phosphate solubilization by microorganisms:
828 overview, mechanisms, applications and advances**. In: MEENA, S. N.; NAIK, M. M. (ed).
829 *Advances in Biological Science Research*, Goa, Índia: Academic Press, 2019, p. 161-176.
- 830 RHEINHEIMER, D. S.; ANGHINONI, I. Distribuição do fósforo inorgânico em sistemas de
831 manejo de solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.36, n. 1, p. 151-160, 2001.
832 DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2001000100019>.
- 833 RICHARDSON, A. E. Prospects for using soil microorganisms to improve the acquisition of
834 phosphorus by plants. **Functional Plant Biology**. V.28, n.9, p.897-906, 2001.
835 DOI:10.1071/PP01093.
- 836 SANTOS, C.A.; REZENDE, C. P.; PINHEIRO, E. F. M.; PEREIRA, J. M.; ALVES, B.;
837 URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Changes in soil carbon stocks after land-use change from
838 native vegetation to pastures in the Atlantic forest region of Brazil. **Geoderma**, Amsterdam,
839 v.337, p.394-401, 2019.
- 840 SANTOS, D. R.; GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do
841 fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**,
842 Santa Maria, V.38, n.2, p.576-586, 2008.
- 843 SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.A.; LUMBRERAS,
844 J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A.; CUNHA, T.J.F.; OLIVEIRA, J.B. **Sistema**
845 **Brasileiro de classificação de solos**. 4.ed. Brasília: Embrapa, 2014. 376p.
- 846 SELHORST, B. S.; SCHLINDWEIN, J. A.; MARCOLAN, A. L.; PANSONATO, B. S.;
847 VALOIS, C. A. S. Formas de P em Latossolo Vermelho-Amarelo sob pastagem após dois e
848 sete anos da adubação fosfatada. **Revista de Ciências Agrárias**, Porto Velho, v.45, n.1-2, p.
849 14-23, 2022. DOI: doi.org/10.19084/rca.19451.
- 850 SHARMA, S.B.; SAYYED, R.Z.; TRIVEDI, M.H.; GOBI, T.A. Phosphate solubilizing
851 microbes: sustainable approach for managing phosphorus deficiency in agricultural soils.
852 **SpringerPlus**, v.2, p.587, 2013.
- 853 SILVA, M. A.; NÓBREGA, J. C. A.; CURRI, N.; SIQUEIRA, J. O.; MARQUES, J. J. G. S.
854 M.; MOTTA, P. E. F. Frações de fósforo em Latossolos. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 38,
855 n. 10, p. 1197-1207, 2003.
- 856 SILVA, J. V. S.; CRUZ, S. C. S.; ALOVISI, A. M. T.; KURIHARA, C. H.; XAVIER, A. D.;
857 MARTINEZ, M. A. Adubação fosfatada no feijoeiro cultivado sob palhada de *Brachiaria*
858 *brizantha* cv. *Marandu*. **Revista Ceres**. Viçosa, v. 65, n.2, p. 181-188, 2018. DOI:
859 10.1590/0034-737X201865020010.

- 860 SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO – SBCS. **Manual de adubação e**
861 **calagem para o estado do Paraná**. Curitiba: SBCS/NEPAR. 182p. 2017.
- 862 SOUSA, D. M. G. de; NUNES, R. S.; REIN, T. A.; SANTOS JUNIOR, J. D. G. dos. Manejo
863 do fósforo na região do Cerrado. In: FLORES, R. A.; CUNHA, P. P. da (Ed.). **Práticas de**
864 **manejo do solo para adequada nutrição de plantas no Cerrado**. Goiânia: UFG, 2016. p.
865 291-358.
- 866 SOUSA, S. M.; OLIVEIRA, C. A.; ANDRADE, D. L.; CARVALHO, C. G.; RIBEIRO, V.
867 P.; PASTINA, M. M.; MARRIEL, I. E.; LANA, U. G. P.; GOMES, E. A.
868 Tropical *Bacillus* Strains Inoculation Enhances Maize Root Surface Area, Dry Weight,
869 Nutrient Uptake and Grain Yield. **Journal of Plant Growth Regulation**, V.40, p.867–877,
870 2021. DOI: 10.1007/s00344-020-10146-9.
- 871 SOUZA, R. F.; FAQUIN, V.; ANDRADE, A. T.; TORRES, P. R. F. Formas de fósforo em
872 solos sob influência da calagem e adubação orgânica. **Revista Brasileira De Ciência Do**
873 **Solo**, v.31, n.6, p.1535–1544, 2007. DOI:10.1590/S0100-06832007000600030
- 874 TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. Manual de
875 métodos de análise de solos. 3.ed. Brasília: Embrapa, 574P., 2017.
- 876 TIECHER, T.; RHEINHEIMER, D. S.; KAMINSKI, J. CALEGARI, A. Forms of inorganic
877 phosphorus in soil under different long term soil tillage systems and winter crops. **Revista**
878 **Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.36, p.271-281, 2012.
- 879 TIESSEN, J.; STEWART, J.W.B.; COLE, C.V. Pathways of phosphorus transformations in
880 soils of differing pedogenesis. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.48, n.4,
881 p. 853-858, 1984.
- 882 TOKURA, A. M.; FURTINI NETO, A.E.; CURI, N.; FAQUIN, V.; KURIHARA, C.H.;
883 ALOIVISI, A. A. Formas de fósforo em solo sob plantio direto em razão da profundidade e
884 tempo de cultivo. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.37, p.1467-1476, 2002. DOI:
885 doi.org/10.1590/S0100-204X2002001000015.
- 886 WANG, E.; BELL, M.; LUO, Z.; MOODY, P.; PROBERT, M. E. Modelling crop response
887 to phosphorus inputs and phosphorus use efficiency in a crop rotation. **Field Crops**
888 **Research**. Austrália, V. 155, p. 120-132, 2014. DOI: doi.org/10.1016/j.fcr.2013.09.015.
- 889 WANG, Z; ZHANG, H; LIU, L; LI, S; XIE, J; XUE, X; JIANG, Y. Screening of phosphate-
890 solubilizing bacteria and their abilities of phosphorus solubilization and wheat growth
891 promotion. **BMC Microbiol**, V.22, p. 296-310, 2022. DOI: 10.1186/s12866-022-02715-7.
- 892 YOUNG, L. S.; HAMEED, A.; PENG, S. Y.; SHAN, Y. H.; WU, S. P. Endophytic
893 establishment of the soil isolate Burkholderia sp. CC-A174 enhances growth and P-utilization
894 rate in maize (*Zea mays* L.). **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 66, p. 40-47, 2013.
- 895 YANG, K.; ZHU, J.; GU, J.; YU, L.; WANG, Z. Changes in soil phosphorus fractions after 9
896 years of continuous nitrogen addition in a *Larix gmelinii* plantation. **Annals of Forest**
897 **Science**, v.72, p.435-442, 2015. DOI: 10.1007/s13595-014-0444-7.

898 ZHU, J.; LI, M.; WHELAN, M. Phosphorus activators contribute to legacy phosphorus
 899 availability in agricultural soils: A review. **Sci Total Environ.** v.15; n.612, p.522-537,2018.
 900 DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.08.095.

901 FIGURAS E TABELAS



902 **Figura 1** - Dados meteorológicos entre 2017 a 2022, em Santa Terezinha de Itaipu-PR

903 **Tabela 1** – Resumo dos fertilizantes e corretivos, doses e quantidades de N, P₂O₅, K₂O, S e
 904 CaO aplicados em cada cultivo

	Sistema/cultura	Dose (kg ha⁻¹) N-P₂O₅-K₂O-S-CaO	Formulações N-P₂O₅-K₂O-S-CaO	Informações
2000-2014	Integração Lavoura/pecuária	-	-	-
2015	Soja	12-86-107-00	03-21-00 00-00-60	MAP+SSP KCl
2016	Milho verão	236-86-223-110-126	20-00-00-24 00-19-00-12-28 00-00-60-00	NH ₄ SO ₄ SSP KCl
2017	Pousio	4 Mg ha ⁻¹	Calcário Calcítico	45% CaO 5% MgO 90% PRNT 95% PN 10% S 8% CaO
		0.25 Mg ha ⁻¹	Gesso	
2017/18	<i>Brachiaria brizantha</i>	-	-	-
2018/19	<i>Brachiaria brizantha</i>	-	-	-
2019/20	Soja	10-80-26-00	4-30-10-00	-
2020	Mix de inverno	-	-	-
2020/21	Feijão	11-81-23-00 59-00-00-68	4-28-08-00 21-00-00-24	- (NH ₄) ₂ SO ₄
2021	Milheto	-	-	-

905 MAP: Fosfato Monoamônico ; SSP: superfosfato simples (21% P₂O₅); KCl: Cloreto de Potássio (60 % K₂O);
 906 (NH₄)₂SO₄: Sulfato de Amônio (20% N e 24% S)

907 **Tabela 2** – Teores médios iniciais e finais das frações de P (mg kg⁻¹), nas três profundidades,
 908 em função solubilizador BiomaPhos® na aplicação do fertilizante fosfatado 100% à lanço

Frações de P	Prof.	0-0.05	0.05-0.10	0.10-0.20
Pi lábil	Ti	61.27	11.79	7.75
	Tf +BiomaP	38.41	10.54	16.29
	Tf -BiomaP	25.55*	13.73	10.77
Po lábil	Ti	17.60	20.42	12.71
	Tf +BiomaP	9.60	10.87*	9.78
	Tf -BiomaP	11.07	11.44*	10.68
P total lábil	Ti	78.88	32.21	20.46
	Tf +BiomaP	48.01*	21.41*	26.08
	Tf -BiomaP	36.62*	25.17	21.45
Pi moderadamente lábil	Ti	543.50	395.35	383.42
	Tf +BiomaP	466.81	362.62	358.52
	Tf -BiomaP	437.18*	401.76	366.31
Po moderadamente lábil	Ti	185.51	194.76	183.34
	Tf +BiomaP	181.46	142.31*	131.75*
	Tf -BiomaP	130.16*	132.59*	134.66*
P total moderadamente lábil	Ti	729.02	590.11	566.76
	Tf +BiomaP	648.27	504.93*	490.28
	Tf -BiomaP	567.34*	534.35	500.97*
Pi moderadamente resistente	Ti	37.17	23.82	21.15
	Tfc	35.46	28.16	26.25*
	Tfs	34.73	29.58	27.72*
Po moderadamente resistente	Ti	31.98	33.96	25.12
	Tf +BiomaP	29.09	33.21	23.07
	Tf -BiomaP	28.70	29.98	24.11
P total moderadamente resistente	Ti	69.16	57.78	46.27
	Tf +BiomaP	64.56	61.37	49.32
	Tf -BiomaP	63.43	59.56	51.84
P-residual	Ti	143.64	140.22	139.84
	Tf +BiomaP	189.73	181.78*	155.76
	Tf -BiomaP	184.47 *	167.61	165.65
Pi total	Ti	641.96	430.96	412.33
	Tf +BiomaP	540.69	401.32	401.07
	Tf -BiomaP	497.46*	445.07	404.80
Po total	Ti	235.10	249.14	221.18
	Tf +BiomaP	220.15	186.40*	164.61*
	Tf -BiomaP	169.93*	174.02*	169.47*
P total	Ti	1020.71	820.33	773.35
	Tf +BiomaP	950.59	769.51*	721.44
	Tf -BiomaP	851.87*	786.71	739.93
%Po	Ti	23.37	30.33	28.67
	Tf +BiomaP	23.20	24.27*	22.60*
	Tf -BiomaP	19.57	22.01*	22.74*

909
 910
 911

* Médias estatisticamente diferentes do teor inicial, pelo teste t, a 5% de probabilidade de erro. Ti: Teor inicial. Tf + BiomaP: Teor final com Biomaphos®; Tf - BiomaP: Teor final sem Biomaphos®. Prof: profundidade (m).

912 **Tabela 3** – Teores médios iniciais e finais das frações de P (mg kg⁻¹), nas três profundidades,
 913 em função solubilizador BiomaPhos® na aplicação do fertilizante fosfatado ½ Lanço+ ½ Linha

Frações de P	Prof.	0-0.05	0.05-0.10	0.10-0.20
Pi lábil	Ti	37.27	18.59	10.53
	Tf +BiomaP	34.21	17.38	6.58
	Tf -BiomaP	33.80	9.53	4.46
Po lábil	Ti	21.74	15.15	14.42
	Tf +BiomaP	8.15 *	9.44	9.39
	Tf -BiomaP	10.42	13.69	10.84
P total lábil	Ti	59.02	33.74	24.95
	Tf +BiomaP	42.36	26.82	15.98
	Tf -BiomaP	44.22	23.22	15.30
Pi moderadamente lábil	Ti	398.77	355.44	331.54
	Tf +BiomaP	393.24	383.08	309.69
	Tf -BiomaP	457.72	362.94	334.05
Po moderadamente lábil	Ti	191.87	165.30	163.69
	Tf +BiomaP	145.93 *	170.15	100.72 *
	Tf -BiomaP	170.89	123.74	135.45
P total moderadamente lábil	Ti	590.64	520.75	495.24
	Tf +BiomaP	539.18 *	553.23	410.42 *
	Tf -BiomaP	628.61	586.68	469.50
Pi moderadamente resistente	Ti	25.66	22.75	19.27
	Tfc	30.16	26.97	22.51
	Tfs	35.45	30.50	28.44*
Po moderadamente resistente	Ti	37.59	26.02	26.13
	Tf +BiomaP	25.40	26.72	20.93
	Tf -BiomaP	34.69	29.53	28.67
P total moderadamente resistente	Ti	63.26	48.77	45.40
	Tf +BiomaP	55.57	53.70	43.45
	Tf -BiomaP	70.15	60.04	57.11
P-residual	Ti	119.07	122.18	115.29
	Tf +BiomaP	163.61 *	152.28	141.18
	Tf -BiomaP	167.99	200.91*	185.10
Pi total	Ti	461.72	396.78	361.35
	Tf +BiomaP	457.62	427.44	338.79
	Tf -BiomaP	526.98	402.99	366.95
Po total	Ti	251.21	206.48	204.25
	Tf +BiomaP	179.49 *	206.31	131.06 *
	Tf -BiomaP	216.01	166.96	174.97
P total	Ti	832.00	725.42	680.89
	Tf +BiomaP	800.73	786.04	611.04
	Tf -BiomaP	910.99	770.87	727.03
%Po	Ti	25.92	24.47	25.75
	Tf +BiomaP	19.21 *	21.54	18.20 *
	Tf -BiomaP	23.58	21.62	23.78

914 * Médias estatisticamente diferentes do teor inicial, pelo teste t, a 5% de probabilidade de erro. Ti: Teor inicial.
 915 Tf + BiomaP: Teor final com Biomaphos®; Tf - BiomaP: Teor final sem Biomaphos®. Prof: profundidade (m).

916 **Tabela 4** – Teores médios iniciais e finais das frações de P (mg kg^{-1}), nas três profundidades,
 917 em função solubilizador BiomaPhos® na aplicação do fertilizante fosfatado 100% Linha

Frações de P	Prof.	0-0.05	0.05-0.10	0.10-0.20
Pi lábil	Ti	31.32	19.35	12.24
	Tf +BiomaP	31.05	14.52	7.12
	Tf -BiomaP	40.88	23.67	12.25
Po lábil	Ti	25.54	18.98	10.09
	Tf +BiomaP	11.21	13.19	14.90
	Tf -BiomaP	12.33	11.42	11.64
P total lábil	Ti	56.86	38.33	22.34
	Tf +BiomaP	42.26	27.72	22.02
	Tf -BiomaP	53.21	39.10	23.90
Pi moderadamente lábil	Ti	438.75	415.51	365.84
	Tf +BiomaP	426.23	388.65	367.31
	Tf -BiomaP	486.44	457.18	380.35
Po moderadamente lábil	Ti	223.49	209.82	188.91
	Tf +BiomaP	171.09 *	147.68 *	144.90 *
	Tf -BiomaP	159.32 *	173.07 *	149.38 *
P total moderadamente lábil	Ti	662.25	625.33	554.76
	Tf +BiomaP	597.32	536.34	512.22
	Tf -BiomaP	639.77	630.26	529.73
Pi moderadamente resistente	Ti	26.13	25.15	23.09
	Tfc	32.44	31.40*	28.36
	Tfs	38.88*	37.57	29.87
Po moderadamente resistente	Ti	34.35	36.65	29.18
	Tf +BiomaP	42.38	36.47	29.59
	Tf -BiomaP	37.34	34.16	32.41
P total moderadamente resistente	Ti	60.49	61.81	52.28
	Tf +BiomaP	74.82	67.88	57.95
	Tf -BiomaP	76.22*	71.73	62.28
P-residual	Ti	151.27	142.98	125.99
	Tf +BiomaP	203.41	190.15	148.32*
	Tf -BiomaP	186.14	180.80	194.06*
Pi total	Ti	496.21	460.02	401.19
	Tf +BiomaP	489.73	434.58	402.80
	Tf -BiomaP	560.20	422.43	422.48
Po total	Ti	283.39	265.45	228.19
	Tf +BiomaP	224.69 *	197.36 *	189.40
	Tf -BiomaP	209.00 *	218.66 *	193.43 *
P total	Ti	930.88	868.46	755.37
	Tf +BiomaP	917.84	822.11	740.52
	Tf -BiomaP	955.35	921.90	809.98
%Po	Ti	30.27	30.62	30.15
	Tf +BiomaP	24.45 *	23.68 *	24.94
	Tf -BiomaP	21.97 *	23.81 *	24.06 *

918 * Médias estatisticamente diferentes do teor inicial, pelo teste t, a 5% de probabilidade de erro. Ti: Teor
 919 inicial. Tf + BiomaP: Teor final com Biomaphos®; Tf - BiomaP: Teor final sem Biomaphos®. Prof:
 920 profundidade (m).

921 **Tabela 5** – Teores médios iniciais e finais das frações de P (mg kg^{-1}), nas três profundidades,
 922 em função solubilizador BiomaPhos® sem aplicação do fertilizante fosfatado (Testemunha)

Frações de P	Prof.	0-0.05	0.05-0.10	0.10-0.20
Pi lábil	Ti	26.46	6.03	3.05
	Tf +BiomaP	18.61*	10.89	3.40
	Tf -BiomaP	18.40*	9.45	3.20
Po lábil	Ti	23.42	5.34	2.70
	Tf +BiomaP	12.58*	10.70*	11.70*
	Tf -BiomaP	12.19*	11.89*	11.29*
P total lábil	Ti	49.89	11.37	5.76
	Tf +BiomaP	31.20*	21.60*	15.10*
	Tf -BiomaP	30.60*	21.35*	14.50*
Pi moderadamente lábil	Ti	356.83	81.36	41.23
	Tf +BiomaP	408.50	352.80*	342.07*
	Tf -BiomaP	418.67*	346.27*	330.62*
Po moderadamente lábil	Ti	154.70	35.27	17.87
	Tf +BiomaP	186.26	172.03*	145.33*
	Tf -BiomaP	191.79*	171.11*	138.00*
P total moderadamente lábil	Ti	511.54	116.64	59.10
	Tf +BiomaP	594.76	524.84*	487.40*
	Tf -BiomaP	610.46*	517.39*	468.63*
Pi moderadamente resistente	Ti	17.58	4.00	2.03
	Tf +BiomaP	26.95*	23.98*	24.17*
	Tf -BiomaP	26.50*	23.18*	24.89*
Po moderadamente resistente	Ti	28.08	6.40	3.24
	Tf +BiomaP	30.46	36.98*	26.33*
	Tf -BiomaP	30.72	40.05*	27.94*
P total moderadamente resistente	Ti	45.67	10.41	5.27
	Tf +BiomaP	57.41*	60.96*	50.51*
	Tf -BiomaP	57.22	63.23*	52.83*
P-residual	Ti	105.62	24.08	12.20
	Tf +BiomaP	151.03*	155.17*	125.82*
	Tf -BiomaP	143.74	161.21*	132.18*
Pi total	Ti	400.88	91.40	46.32
	Tf +BiomaP	454.06	387.69*	369.65*
	Tf -BiomaP	463.57*	378.92*	358.72*
Po total	Ti	206.22	47.02	23.83
	Tf +BiomaP	229.31	219.72*	183.37*
	Tf -BiomaP	234.72	223.05*	177.23*
P total	Ti	712.72	162.51	82.35
	Tf +BiomaP	834.41	762.58*	678.84*
	Tf -BiomaP	842.03*	763.19*	668.15*
%Po	Ti	21.53	4.91	2.48
	Tf +BiomaP	27.46*	28.76*	26.79*
	Tf -BiomaP	27.86*	29.15*	26.27*

923 * Médias estatisticamente diferentes do teor inicial, pelo teste t, a 5% de probabilidade de erro. Ti: Teor
 924 inicial. Tf + BiomaP: Teor final com Biomaphos®; Tf - BiomaP: Teor final sem Biomaphos®. Prof:
 925 profundidade (m).

1 4. ARTIGO 3

2 FRACIONAMENTO DE FÓSFORO INORGÂNICO EM FUNÇÃO DO MODO DE 3 APLICAÇÃO DO FERTILIZANTE FOSFATADO E SOLUBILIZADOR 4 BIOMAPHOS®

5 **RESUMO** - O modo de aplicação, a fonte de P aplicada e os solubilizadores, alteram
6 a dinâmica do P. O fracionamento do P pode auxiliar no entendimento. O objetivo do trabalho
7 foi avaliar a resposta das culturas e alterações nas formas de P inorgânico em decorrência dos
8 modos de aplicação do fertilizante fosfatado e uso do solubilizador Biomaphos®. O
9 delineamento foi o de blocos casualizados em parcelas subdivididas: parcela-modo de
10 aplicação (100% P à lanço em superfície, 100% em linha de semeadura, ½ à lanço e ½ em
11 linha e, sem P); subparcela-com e sem Biomaphos®), com sete repetições. O solo em estudo
12 foi o Latossolo Vermelho Distroférrico. Para as culturas de soja e feijão foi avaliada a
13 produtividade, o teor de P no grão e na folha e, no solo, o fracionamento de P inorgânico (Pi_{H_2O} ,
14 Pi_{Al} , Pi_{Fe} e Pi_{Ca}). Os modos de aplicação e o uso do Biomaphos® incrementaram na
15 produtividade. Para o Biomaphos® em uma saca por hectare na soja e duas no feijão. Houve
16 interação do Biomaphos® e dos modos de aplicação nos teores de P nas folhas das culturas. As
17 menores médias dos teores de P nos grãos ocorreram do tratamento sem P. O modo de
18 aplicação alterou as frações de Pi nas culturas, principalmente quando aplicado 100% na linha
19 ou ½ na linha. No feijão, sem adição de P, houve aumento da fração Pi_{Fe} e diminuição da Pi_{Ca} ,
20 influenciadas pelo uso do Biomaphos®. A localização do P em linha proporcionou maior teor
21 de Pi total.

22 **Palavras-chave:** *Bacillus*, Fósforo Lábil, Frações de fósforo.

23 FRACTIONATION OF INORGANIC PHOSPHORUS AS A FUNCTION 24 OF THE APPLICATION MODE OF PHOSPHATE FERTILIZER AND 25 BIOMAPHOS® SOLUBILIZER

26 **ABSTRACT** - The mode of application, the source of P applied and the solubilizers alter the
27 dynamics of P. The fractionation of P can help in understanding. The objective of this work
28 was to evaluate the response of cultures and alterations in the forms of P as a result of the modes
29 of application of phosphate fertilizer and use of the Biomaphos® solubilizer. The design was
30 randomized blocks in split plots: plot-application mode (100% P broadcast on the surface, 100%

31 in the sowing line, ½ broadcast and ½ in the line, without P); subplot—with and without
 32 Biomaphos®), with seven replicates. The soil under study was the dystroferric LATOSOL RED.
 33 For soybean and bean crops, productivity, P content in the grain and leaf and, in the soil, the
 34 fractionation of inorganic P (Pi_{H₂O}, Pi_{Al}, Pi_{Fe}, Pi_{Ca}) were evaluated. The modes of application
 35 and the use of Biomaphos® have increased productivity. For Biomaphos®, one bag per hectare
 36 for soybeans and two for beans. There was interaction between Biomaphos® and application
 37 modes on P levels in crop leaves. The lowest mean P contents in the grains occurred in the
 38 treatment without P. The mode of application changed the Pi fractions in the crops, mainly
 39 when applied 100% in the line or ½ in the line. In beans, without addition of P, there was an
 40 increase in the Pi_{Fe} fraction and a decrease in Pi_{Ca}, influenced by the use of Biomaphos®. The
 41 location of P in line provided higher total Pi content.
 42 **Keywords:** *Bacillus*, Labile Phosphorus, Phosphorus fractions.

43 INTRODUÇÃO

44 O Fósforo é um importante
 45 macronutriente, essencial ao
 46 desenvolvimento e crescimento das
 47 culturas (REED et al., 2015). No solo
 48 ocorre em formas orgânicas (Po) e
 49 inorgânicas (Pi), com diferentes graus de
 50 labilidade (SANTOS et al., 2022). O Pi
 51 está presente em minerais primários e/ou
 52 adsorvidos nas argilas silicatadas, nas
 53 hidroxilas de oxihidróxidos de alumínio e
 54 ferro, e na matéria orgânica do solo por
 55 pontes de cátions (SANTOS et al., 2008),
 56 já o Po encontra-se ligado fortemente a
 57 moléculas orgânicas (MARTINAZZO et
 58 al., 2007), podendo ambos estar na forma
 59 lábil, moderadamente lábil e não lábil,
 60 (PAVINATO et al., 2009).

61 Para melhor entender a dinâmica
 62 deste nutriente no solo, necessita-se

63 conhecer as concentrações nas diferentes
 64 frações, que pode ser realizada a partir da
 65 metodologia com extratores sequenciais
 66 (CHANG; JACKSON, 1957), utilizando
 67 uma amostra de solo submetida a diversos
 68 reagentes seletivos as formas de P,
 69 baseados na energia de ligação e natureza
 70 do composto (GABOTINI et al., 2013).
 71 Essa metodologia pode nos fornecer
 72 importantes informações sobre a
 73 disponibilidade do nutriente no solo
 74 (TIESSEN et al., 1984).

75 Vários fatores podem estar
 76 ligados a disponibilidade do P e
 77 alterações nas frações, como o sistema de
 78 cultivo (ANDRADE et al., 2003;
 79 PAVINATO et al., 2009), a adição do
 80 fertilizante fosfatado (CONTE et al.,
 81 2003; GABOTINI et al., 2007), o tipo de
 82 solo (OLIVEIRA et al., 2020; SANTOS
 83 et al., 2022) e a atividade biológica deste

84 (WALKER; SYERS, 1976; CROSS;
85 SCHLESINGER, 1995).

86 No caso do sistema de plantio
87 direto (SPD) há um aumento de formas
88 lábeis de P (ANDRADE et al., 2003),
89 devido aumento de P_o , através do
90 incremento da matéria orgânica e da
91 adição de fertilizantes, auxiliando na
92 reposição de P (DAMODAR REDDY et
93 al., 2000).

94 Santos et al. (2008), relataram que
95 os diferentes modos de aplicação do
96 fertilizante fosfatado ocasionaram
97 alterações nas frações do P no solo.
98 Outros trabalhos constataram resultados
99 semelhantes (BARBOSA, 2020; NUNES
100 et al., 2020).

101 Já os microrganismos tem papel
102 fundamental na transformação do P, seja
103 pela liberação de ácidos orgânicos,
104 solubilizando ou mineralizando o P,
105 aumentando assim a área radicular
106 superficial (OGUT et al., 2011; PÉREZ-
107 TORRES et al., 2008) ou pelo conteúdo
108 de P existente na biomassa microbiana
109 (RICHARDSON, 2001). Resultados
110 positivos foram encontrados com uso de
111 solubilizadores de P, que convertem o P
112 indisponível para P solúvel (ALVES et
113 al., 2002; BROW, 1974; COUTINHO &
114 HOULLOU, 2012; OLIVEIRA et al.,
115 2013), como é o caso do Biomaphos®, a
116 base de bactérias do gênero *Bacillus*,

117 *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium*,
118 capazes de elevar os teores de P solúveis
119 e sua absorção pela cultura (EMBRAPA,
120 2019) e, alterando as frações inorgânicas
121 de P no solo (SHARMA et al., 2013;
122 SANTOS et al., 2014a; BATISTA et al.,
123 2018).

124 Diante do exposto, objetivou-se
125 avaliar as alterações das frações do P
126 inorgânico do solo aderido as raízes da
127 soja e do feijão, e a produtividade, em
128 função do modo de aplicação de P, em
129 sistema de plantio direto em uma
130 sequência de cultivos.

131 MATERIAL E MÉTODOS

132 O experimento foi conduzido na
133 Fazenda Santa Maria, no município de
134 Santa Terezinha de Itaipu, estado do
135 Paraná, sob coordenadas geográficas
136 25°28'09" S e 54°22'41" W, com altitude
137 de 292 metros. O solo da região em
138 estudo é classificado como Latossolo
139 Vermelho Distroférico (SANTOS et al.,
140 2014), com 746 g kg⁻¹ de argila, 199 g kg⁻¹
141 de silte e 55 g kg⁻¹ de areia.

142 Posteriormente ao pousio e
143 correção e adição de gesso, efetuou-se
144 uma nova análise de solo na camada de 0-
145 0,20 m para análise química, a qual
146 apresentou pH (H₂O): 6,23; matéria
147 orgânica: 27,52 g kg⁻¹; P: 10,10 mg dm⁻³ e
148 S: 2,18 mg dm⁻³; Ca, Mg, K, Al e H+Al,

149 respectivamente, 6,95; 1,82; 0,85; 0,0 e
 150 4,28 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, soma de bases: 9,62
 151 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ e CTC:13,90 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, V%:
 152 69,21; %Ca, %Mg e %K,
 153 respectivamente, 50; 13 e 6,12. O solo
 154 possui alto teor de P pelo extrator
 155 Mehlich-1 (SBSC/NEPAR, 2017).

156 A área de condução apresentava-
 157 se em Sistema de Plantio Direto (SPD)
 158 com Integração Lavoura-Pecuária há 14
 159 anos, sendo que nos últimos 5 anos
 160 houveram semeaduras da soja e milho,
 161 tanto no inverno como no verão. No ano

162 de 2015 o teor de P no solo era de 5,4 mg
 163 dm^{-3} , considerado baixo, pelo extrator
 164 Mehlich-1 (SBSC/NEPAR, 2017).
 165 Instalou-se as parcelas com os modos de
 166 aplicação efetuando correção dos teores
 167 de P no solo e exportação pelas culturas
 168 inseridas de outubro de 2015 a março de
 169 2017, com soja e milho verão, elevando o
 170 teor do solo para 10,10 mg dm^{-3} , teor
 171 muito alto, para o mesmo extrator
 172 (SBSC/NEPAR, 2017), com uso de fonte
 173 a base de Super fosfato simples e Fosfato
 174 monoamônico.

Inserir aqui Figura 1

175 Em abril de 2017, realizou-se
 176 aplicação de calcário calcítico na dose de
 177 4 Mg ha^{-1} (PRNT 90%) e após gessagem
 178 na dose de 0,25 Mg ha^{-1} , esta a fim de
 179 elevar o teor de enxofre (S) no solo.
 180 Foram utilizadas as culturas, *Brachiaria*
 181 *brizantha cv.marandu* (nov/2017 a
 182 Ago/2019), soja (Nov/2019 a Mar/2020),
 183 Mix de Cultura de inverno – nabo
 184 japonês, nabo forrageiro, aveia branca,
 185 aveia preta e centeio (Mai/2020 a
 186 Set/2020), Feijão (Out/2020 a Fev/2021)
 187 e Milheto (Out/2021 a Mar/2022).

188 Na Figura 1 encontram-se os
 189 dados meteorológicos de 2017 a 2022,

190 segundo o INMET. O Delineamento
 191 experimental foi o de blocos casualizados
 192 em parcelas subdivididas (parcela – 4
 193 modos de aplicação: 100% P à lanço em
 194 superfície, 100% na linha de semeadura,
 195 $\frac{1}{2}$ à lanço em superfície mais $\frac{1}{2}$ na linha
 196 e, sem aplicação de P -, subparcela – com
 197 e sem Biomaphos®), com 7 repetições,
 198 sendo que as parcelas continham 50 m^2 .

199 Na Tabela 1 encontram-se os
 200 dados dos fertilizantes/condicionadores,
 201 doses e quantidades de N, P_2O_5 , K_2O , S e
 202 CaO aplicados em cada cultivo, 2 anos
 203 antes do experimento e ao decorrer deste.

Inserir aqui Tabela 1

204 Para as sementes de *Brachiaria*
205 *brizantha* cv. *marandu*, foram lançadas
206 manualmente nas parcelas 33 kg ha⁻¹,
207 incorporando com grade em 2 pontos de
208 abertura para mínimo revolvimento do
209 solo. Efetuaram-se 4 cortes da massa
210 verde da *Brachiaria* com uso de uma
211 cegadeira. Para a soja e o feijão,
212 utilizou-se uma semeadora/adubadora
213 de 11 linhas e 0,45 m de espaçamento
214 entre linhas, dividindo-a em 5 linhas
215 cada lado, com 1 nula central, a fim de
216 analisar os tratamentos com e sem
217 Biomaphos[®]. A semeadura da soja
218 ocorreu em 17/11/2019 e a do feijão em
219 14/10/2020. A direção da semeadora foi
220 alterada conforme o sorteio da
221 subparcela. Para soja, utilizou-se a
222 cultivar M5947 IPRO, com 12 sementes
223 por metro e, para o feijão a cultivar IPR
224 Sabiá com 16 sementes por metro.

225 A inoculação com
226 Biomaphos[®] foi de 150 mL ha⁻¹ no
227 tratamento de sementes, no momento da
228 semeadura, segundo recomendação do
229 fabricante, de forma manual,
230 calculando-se a dose por m² e
231 quilogramas de semente utilizada. A
232 inoculação e as adubações ocorreram
233 somente para as culturas da soja e do
234 feijão, na dose recomendada para
235 exportação de P e K (SBCS/NEPAR,
236 2017). A adubação à lanço, tanto parcial

237 como total, foi realizada manualmente a
238 fim de evitar a heterogeneidade na
239 distribuição. Utilizou-se 268 kg ha⁻¹ de
240 4-30-10 (N-P₂O₅-K₂O) na soja e, para o
241 feijão 289 kg ha⁻¹ de 04-28-08 (N-P₂O₅-
242 K₂O) com 285 kg ha⁻¹ de sulfato de
243 amônio na formulação com 21% de N,
244 em cobertura, em única parcela aos 40
245 DAP.

246 Para Mix de inverno, semeou-
247 se com semeadora de trigo/cobertura,
248 utilizando 50 kg ha⁻¹ do Mix RX 210.
249 Quando atingiu-se o pico máximo de
250 matéria seca, pré-florescimento,
251 efetuou-se a dessecação com 4 L ha⁻¹ de
252 Glifosato (48%) e aproximadamente 20
253 dias após houve corte utilizando rolo
254 faca. Para o milheto, a semeadura
255 ocorreu conforme a cultura da
256 *Brachiaria*, utilizando a variedade
257 ADR300, com 25 kg ha⁻¹. Com corte
258 utilizando a cegadeira no pré-
259 florescimento.

260 Foram realizados os tratos
261 culturais necessários em todas as
262 culturas, sendo realizada também
263 dessecações pré-semeadura, para que
264 esta ocorresse com ausência de
265 invasoras.

266 Foram avaliados na soja e feijão,
267 a produtividade (kg ha⁻¹) - colheita de
268 5,4 m² de área útil, no estágio R.8 e
269 corrigida a umidade para 13% (SOUZA

270 et al., 2013), removendo o efeito
271 número de plantas, efetuando 5
272 medições de 1 m linear, obtendo a
273 média do estande. Para teor de P na
274 folha, de ambas as culturas, coletou-se
275 30 folhas com pecíolo em cada
276 subparcela conforme proposto por Raij
277 et al. (1997), no estádio R.2, sendo a
278 primeira folha amadurecida do ápice
279 para a base da haste principal
280 (INOCÊNCIO et al., 2012) Para o teor
281 de P no grão, após a colheita das
282 parcelas, retirou-se uma amostra
283 homogênea de grãos. As amostras
284 foram lavadas e colocadas para secar a
285 65°C até peso constante, para serem
286 moídas e analisadas (BATISTELLA
287 FILHO et al., 2013), por digestão
288 nítrico-perclórica conforme Lana et al.
289 (2016). Os resultados foram expressos
290 em g kg⁻¹. Para todas as culturas, o
291 resíduo da palhada de colheita e corte
292 foram espalhados nas subparcelas
293 experimentais (BARBOSA et al.,
294 2015).

295 Para a análise de
296 Fracionamento inorgânico de P,
297 coletaram-se amostras de solo aderido
298 as raízes, em 5 plantas aleatórias por
299 subparcela, na cultura da soja e do
300 feijão, no estádio R.1 (ARAÚJO;
301 PEDROSO, 2013), a fim de avaliar as
302 alterações de P inorgânico ocasionadas

303 pelo uso do Biomaphos® e pelo modo de
304 aplicação do fertilizante fosfatado. Após
305 a coleta as amostras foram enviadas
306 para o laboratório de Fertilidade do solo
307 e Nutrição Mineral de Plantas da
308 Universidade Estadual do Oeste do
309 Paraná (UNIOESTE), em Marechal
310 Cândido Rondon, Paraná, onde foram
311 secas em estufa por 24 horas a 40°C e
312 após moídas utilizando um moinho com
313 peneira de 2 mm de malha (TFSA –
314 Terra fina seca ao ar).

315 A metodologia utilizada para
316 quantificar o Pi_{H₂O} (NH₄Cl), Pi_{Al}
317 (NH₄F), Pi_{Fe} (NaOH⁻), Pi_{Ca} (H₂SO₄) e Pi
318 total (soma dos demais) foi de acordo
319 com Chang e Jackson (1957). A
320 quantificação do P nos sobrenadantes
321 foi por espectrofotometria UV/Vis
322 (BRAGA; DEFELIPO, 1974). Os
323 resultados foram expressos em mg kg⁻¹.

324 Foi realizado teste de
325 normalidade e homogeneidade de
326 variâncias. Realizou-se a análise
327 estatística em esquema de parcelas
328 subdivididas.

329 Efetuou-se o teste F e, em caso
330 de significância procedeu-se o teste de
331 Tukey. Para todos os testes estatísticos
332 foi considerado alfa <0.05. O aplicativo
333 computacional utilizado foi o Genes
334 (CRUZ, 2013).

335 RESULTADOS E DISCUSSÃO

336 As médias para a produtividade
 337 da soja e do feijão são apresentadas na
 338 Tabela 2. Não houve interação entre o
 339 modo de aplicação do fertilizante
 340 fosfatado e o uso do Biomaphos®.
 341 Apenas para o modo de aplicação, o
 342 tratamento sem P obteve a menor
 343 produtividade. Os modos de aplicação
 344 que receberam P obtiveram uma
 345 diferença mínima de 22 e 9,6 sacas por
 346 hectare a mais, para a soja e o feijão,
 347 respectivamente, quando comparado
 348 aos que não receberam fertilizante
 349 fosfatado. Isto reforça a importância do
 350 P, essencial ao crescimento e
 351 desenvolvimento das culturas (REED et
 352 al., 2015), na formação de raízes
 353 (ARAÚJO; MACHADO, 2006;
 354 CUNHA et al., 2009) e
 355 conseqüentemente produtividade
 356 (MORAES SÁ et al., 2009; ROSSI et
 357 al., 2018).

358 Para os modos de aplicação que
 359 receberam P, não obteve-se diferença
 360 significativa na produtividade de ambas
 361 as culturas. Na soja notou-se uma
 362 recorrência dos resultados apresentados
 363 em 2017, para os tratamentos que

364 receberam P (TRES, 2017), ou seja, a
 365 maior média obtida com a adubação
 366 com P ½ em linha de semeadura mais ½
 367 à lanço e, a menor média com 100% em
 368 linha de semeadura, sem diferença
 369 estatística entre os modos de aplicação
 370 (TRES, 2017). Este mesmo resultado
 371 foi verificado por outros autores
 372 (RESENDE et al., 2006; NUNES et al.,
 373 2011; FIORIN et al., 2016), com uso de
 374 fertilizante fosfatado à lanço, em linha
 375 ou de forma parcelada, utilizando
 376 formas solúveis de P. Isto reitera que, o
 377 modo de aplicação não influencia na
 378 produtividade quando há o efeito
 379 residual de P de cultivos antecessores
 380 e/ou quando o teor de P disponível no
 381 solo está acima do nível crítico
 382 (NUNES et al., 2011) e, superior aos
 383 níveis adequados para cada solo
 384 (SOUSA et al., 2016; BARBOSA et al.,
 385 2020). Houve adição de altas doses de
 386 P, para exportação e extração nas safras
 387 2015 e 2016 (Tabela 1), além do que, o
 388 nível crítico para o solo em questão é de
 389 9 mg dm⁻³ (NEPAR/SBCS, 2017),
 390 estando o solo em questão acima disto
 391 (10,10 mg dm⁻³).

Inserir aqui Tabela 2

392 Quanto ao uso do Biomaphos®,
 393 este foi positivo na produtividade das

394 culturas, com acréscimo de 1 saca por
 395 hectare na soja e 2 sacas por hectare no
 396 feijão.

397 De modo geral, o modo de
398 aplicação influenciou de forma mais
399 incisiva no incremento de produtividade
400 de ambas as culturas, quando
401 comparado ao uso do Biomaphos®. A
402 menor influência pode estar aliada a
403 grande diversidade de microrganismos
404 existentes em solos cultivados. Para
405 cada grama de solo estima-se a
406 existência de aproximadamente 10.000
407 espécies bacterianas (TORSVIK et al.,
408 2009).

409 Outro fator relevante que possa
410 ter acarretado em uma menor diferença
411 de incremento produtivo quanto ao uso
412 do Biomaphos® versus sem
413 Biomaphos® e, uma maior diferença de
414 incremento nos modos de aplicação para
415 a cultura da soja, quando comparado ao
416 feijão, deve-se possivelmente ao déficit
417 hídrico ocorrido em novembro de 2019,
418 mês da semeadura da soja, sendo de um
419 modo geral, a pluviosidade na soja
420 muito menor que a ocorrida nos meses
421 de condução do feijão (Figura 1). Um
422 dos fatores que regula a vida no solo é a
423 água, sendo que seu déficit inibe e/ou
424 prejudica o crescimento,
425 desenvolvimento, atividade e dinâmica
426 microbiana (MOREIRA; SIQUEIRA,
427 2009). Sendo assim, para a cultura do
428 feijão não ocorreu limitação hídrica na
429 cultura, o que também auxiliou no

430 mantimento da vida microbiana do solo.
431 Dentre estes microrganismos, as
432 bactérias do gênero *Bacillus* são capazes
433 de solubilizar o P (SIQUEIRA et al.,
434 2004; MAHDI et al., 2011; WANG et
435 al., 2020). As estirpes de *Bacillus*
436 *megaterium* e *Bacillus subtilis* são
437 capazes de solubilizar $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ da
438 rocha mãe através das fosfatases e
439 FePO_4 e AlPO_4 por fitases e ácido
440 glucônico (ABREU et al., 2017;
441 OLIVEIRA-PAIVA et al., 2021a).
442 Outros trabalhos corroboram com o
443 resultado de produtividade encontrado
444 (OLIVEIRA-PAIVA et al., 2020a;
445 ARAÚJO et al, 2021; et al., 2021a;
446 SOUSA et al., 2021; BITTENCOURT;
447 FERREIRA, 2022).

448 Oliveira Paiva et al. (2021a),
449 conduzindo pesquisa em 415 unidades,
450 212 municípios e 9 estados brasileiros,
451 utilizando sementes de soja inoculadas
452 com Biomaphos®, na dosagem de 100
453 mL ha^{-1} , concluíram que houve
454 incremento de produtividade em todos
455 os locais onde houve inoculação com o
456 solubilizador, com variações ocorrendo
457 entre 1 a 15,8 sacas por hectare e, valor
458 médio de 4,8 sacas por hectare.

459 Bittencourt e Ferreira (2022),
460 trabalhando com feijão, obtiveram os
461 melhores resultados com a maior dose
462 (4 mL kg^{-1} de sementes) de Biomaphos®

463 e 50% de adubação fosfatada, quando
464 comparado aos tratamentos que
465 utilizaram apenas adubação e menores
466 doses do solubilizador, com incremento
467 de 11% em relação ao tratamento que
468 recebeu apenas 100% da adubação
469 fosfatada.

470 Quando do uso do Biomaphos[®],
471 o maior poder tampão deste solo,
472 assumindo papel dreno do P (KOME et
473 al., 2019), favorece a absorção do P
474 aplicado 100% na linha de semeadura,
475 resultando em maiores médias para o

476 teor de P na folha da soja (Tabela 3),
477 atingindo os valores de referência do
478 nutriente, de 2,8 a 3,6 g de P para cada
479 kg de material vegetal da soja, na fase
480 R.1 (NEPAR/SBSC, 2017).

481 O mesmo pode ser verificado
482 para o teor de P na folha do feijão, onde
483 não diferiram os tratamentos que
484 receberam alguma aplicação do
485 fertilizante fosfatado na linha de
486 semeadura, sendo a aplicação 100% à
487 lanço similar a sem aplicação de P.

Inserir aqui Tabela 3

488 O menor teor foliar do P na soja,
489 na aplicação do fertilizante fosfatado
490 100% à lanço com a inoculação do
491 Biomaphos[®], pode estar ligada a uma
492 maior Biomassa, já que as plantas
493 cultivadas com Biomaphos[®]
494 apresentam um maior altura e massa
495 seca da parte aérea (BRITO et al., 2022),
496 promovendo desta forma uma diluição
497 do nutriente absorvido, diminuindo a
498 concentração foliar de P (GIOVELLI;
499 TABALDI, 2022), quando comparado a
500 ausência do inoculante. Por isto,
501 verifica-se que esta diferença não
502 impactou o teor no grão, gerando apenas
503 diferenças para o modo de aplicação,
504 para o tratamento sem adição de P. Não
505 houve diferença significativa no teor de

506 P no grão da soja para os tratamentos
507 que receberam P, favorecidos pela alta
508 mobilidade do P na planta, redistribuído
509 de forma rápida (MALAVOLTA et al.,
510 1997). O valor de referência para
511 exportação de P na soja é de 4,5 g kg⁻¹
512 (SBSC/NEPAR, 2017).

513 O uso do Biomaphos[®]
514 influenciou positivamente o teor de P
515 nas folhas do feijão (estádio R.1), na
516 adubação ½ à lanço e ½ na linha. Isto
517 porque, o local de deposição do
518 fertilizante fosfatado, somados ao uso
519 do Biomaphos[®], solubilizando fosfatos,
520 produzindo fitases, AIA e sideróforos,
521 permitiram maior desenvolvimento
522 radicular, principalmente de raízes mais
523 finas e, conseqüentemente maior

524 captação de P (SOUSA et al., 2021;
525 VELLOSO et al., 2020). Tanto o modo
526 de aplicação como o uso do
527 Biomaphos[®] não foram suficientes para
528 elevar os teores de P na folha do feijão
529 para os valores de referência de 3,5 a 8
530 gramas para cada kg de material vegetal
531 no R.1 (SBSC/NEPAR, 2017), ficando
532 todos abaixo disto.

533 O uso do Biomaphos[®] não foi
534 suficiente para alterar positivamente o
535 teor de P na folha e no grão para a
536 cultura do feijão, quando não houve
537 adição do fertilizante fosfatado. Os
538 microrganismos solubilizadores de P,
539 diferente dos fixadores de N, não
540 suprem a necessidade total de P para a
541 cultura, e sim, se associam, melhorando
542 o aproveitamento do P existente
543 (OLIVEIRA-PAIVA et al., 2021b).
544 Desta forma, não houve efeito
545 associativo no solo que não recebeu P,
546 visto os baixos teores do nutriente.

547 O modo de aplicação sem P,
548 diferiu estatisticamente dos outros
549 modos de aplicação do fertilizante
550 fosfatado, para o teor de P no grão do
551 feijão, quando do uso do Biomaphos[®].
552 Para o estudo em questão, quando da
553 aplicação 100% na linha de semeadura
554 obtivemos incremento de até 13,32% na
555 exportação de P para os grãos. Oliveira-
556 Paiva et al. (2020b) e Sousa et al.

557 (2021), obtiveram incrementos na
558 exportação de P para os grãos, próximos
559 a 19%, o que influenciou
560 consequentemente a produtividade. O
561 valor de referência para exportação de P
562 no feijão é de 4 g kg⁻¹ (SBSC/NEPAR,
563 2017).

564 Para o fracionamento
565 inorgânico de P na soja (Tabela 4), não
566 houve interação entre os modos de
567 aplicação e o Biomaphos[®]. Apenas os
568 modos de aplicação resultaram em
569 diferença significativa. Os maiores
570 valores de Pi para todas as frações
571 foram verificadas quando se aplicou o
572 fertilizante fosfatado 100% na linha de
573 semeadura. Tal fato, pode ser devido a
574 capacidade tampão do Latossolo, que
575 necessita de maiores doses de P
576 adicionados via fertilização para elevar
577 1 mg dm⁻³ de P no solo (SOUSA et al.,
578 2016) quando comparado a solos
579 arenosos. Para adubação na linha de
580 semeadura há saturação dos sítios de
581 adsorção dos minerais de argila do
582 Latossolo, repondo o P da solução do
583 solo e o disponibilizando a cultura
584 (KURIHARA et al., 2014).

585 Não foi detectado P inorgânico
586 em nenhum tratamento para a fração
587 Pi_{Al}. Isto porque, esta fração se verifica
588 quando da presença de Al⁺³ no solo

589 (ROCHA et al., 2005), sendo nulo para
590 o solo em questão ($0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$).

591 Os menores teores de P_i foram
592 encontrados na fração P_{iH_2O} . Este
593 resultado pode ocorrer em solos
594 cultivados, visto que é facilmente
595 solúvel (ROCHA et al., 2005; SOUZA
596 JUNIOR et al., 2012; MELESE et al.,
597 2015), e também devido ao ânion Cl^- ,
598 do extrator NH_4Cl , não efetuando
599 troca com o fosfato de ligações
600 covalentes (SPOSITO, 2008). Houve
601 diferença significativa para os teores
602 de P_{iH_2O} que receberam alguma
603 adubação à lanço e sem P, podendo ser

604 explicados pela menor disponibilidade
605 do P na solução do solo devido a maior
606 área de contato solo/fertilizante da
607 aplicação à lanço (MALAVOLTA,
608 1981) e a não adição do fertilizante
609 fosfatado para a adubação sem P. Os
610 maiores teores de P
611 inorgânico são encontrados na fração
612 P_{iFe} . Isto porque, na formação dos
613 Latossolos, apresentam-se nas frações
614 de argila óxidos/hidróxidos de Ferro,
615 com origem basáltica (MARCOLIN;
616 CALEGARI, 2020) e, presente nos
617 minerais como goethita e hematita
618 (VILA et al., 2016).

Inserir aqui Tabela 4

619 Na Tabela 5 encontra-se o
620 fracionamento de P para o solo aderido
621 as raízes da cultura do Feijão. Houve
622 interação entre os tratamentos e
623 Biomaphos[®] nas frações de P_{iFe} e P_{iCa} .
624 Quando não houve adição de
625 fertilizante fosfatado (sem P), obteve-
626 se um aumento na fração P_{Fe} e uma
627 diminuição da P_{Ca} , na presença do
628 Biomaphos[®]. Isto porque,
629 microrganismos que solubilizam P,
630 liberam metabólicos capazes de
631 acidificar o meio, pela produção de
632 ácidos orgânicos (HAMEEDA et al.,
633 2008; YOUNG et al., 2013), sendo o

634 P_{Fe} favorecido pela diminuição do pH e
635 P_{Ca} pelo aumento do pH (PEREIRA et
636 al., 2021). Batista et al. (2018),
637 utilizando estirpes diferentes de
638 bactérias, incluindo *Bacillus subtilis* e
639 *Bacillus megaterium*, concluíram que
640 houve uma diminuição do pH do meio
641 e aumento do P ligado a Ferro.

642 Os resultados dos teores de
643 P_{iH_2O} , P_{iAl} e P_i total foram similares aos
644 da cultura da soja quanto ao modo de
645 aplicação, mas as concentrações de
646 P_{iFe} , P_{iCa} e P_{iH_2O} , foram superiores aos
647 valores obtidos para a cultura da soja
648 (Tabela 3).

Inserir aqui Tabela 5

649 **CONCLUSÕES**

650 Não houve interação entre o
651 modo de aplicação do fertilizante
652 fosfatado em associação com o
653 Biomaphos[®] para a produtividade da
654 soja e do feijão, teor de P no grão da
655 soja, fracionamento de P do solo
656 aderido as raízes da soja e,
657 fracionamento de P do solo aderido as
658 raízes do feijão para P_{iH_2O} e $P_{i-total}$.

659 Somente os modos de aplicação
660 do fertilizante fosfatado alteraram as
661 frações P_{iFe} , P_{iCa} , P_{iH_2O} e $P_{i-total}$ na soja
662 e, P_{iH_2O} e $P_{i-total}$ do feijão, com
663 destaque para os que receberam alguma
664 forma de P em linha de semeadura
665 (100% ou ½).

666 Houve interação entre os modos
667 de aplicação de P e o uso do
668 Biomaphos[®] nos teores de P das folhas
669 da soja e do feijão, com efeito positivo
670 para 100% do fertilizante na linha na
671 soja e, 100% na linha ou ½ na linha +
672 ½ à lanço, para o feijão.

673 Para o teor de P no grão de
674 ambas as culturas, com e sem o uso do
675 Biomaphos[®] obteve-se as menores
676 médias no tratamento sem P, refletindo
677 na produtividade.

678 O uso de P nos diferentes
679 modos de aplicação com adição do

680 Biomaphos[®] proporcionou incremento
681 na produtividade de 1 saca por hectare
682 na soja e 2 sacas por hectare no feijão.

683 Houve interação entre modo de
684 aplicação e o uso do Biomaphos[®] para
685 as frações P_{Fe} e P_{Ca} na cultura do feijão,
686 proporcionando incremento da fração
687 P_{iFe} e decréscimo da P_{iCa} para o
688 tratamento sem adubação com P.

689 **AGRADECIMENTOS**

690 À instituição UNIOESTE, -
691 Universidade Estadual do Oeste do
692 Paraná e ao Laboratório de Fertilidade
693 do Solo e Nutrição Mineral de Plantas.

694 À Fazenda Santa Maria,
695 juntamente com proprietários, gerente,
696 arrendatários e funcionários.

697 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 698 ABREU, C. S. de; FIGUEIREDO, J. E. F.; OLIVEIRA, C. A.; SANTOS, V. L. dos; GOMES,
699 E. A.; RIBEIRO, V. P.; BARROS, B. de A.; LANA, U. G. de P.; MARRIEL, I. E. Maize
700 endophytic bacteria as mineral phosphate solubilizers. **Genetics and Molecular Research**, v.
701 16, n. 1, p. 1-13, 2017. DOI: [http:// dx.doi.org/10.4238/gmr16019294](http://dx.doi.org/10.4238/gmr16019294).
- 702 ALVES, L.; MENDOZA, E. A.; SILVA FILHO, G. N. Microorganismos solubilizadores de
703 fosfatos e o crescimento de pinus e eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v.26,
704 p.939-947, 2002.
- 705 ANDRADE, F.V.; MENDONÇA, E.S.; ALVAREZ V., V.H. & NOVAIS, R.F. Adição de
706 ácidos orgânicos e húmicos em Latossolos e adsorção de fosfato. **Revista Brasileira de**
707 **Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.1003- 1011, 2003.
- 708 ARAÚJO, A. P.; MACHADO, C. T. T. Fósforo. In: FERNANDES, M. S. (Ed.) **Nutrição**
709 **mineral de plantas**. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 251-280.
- 710 ARAUJO, F. F.; PEDROSO, R. A. B. Interação de Bacillus sp. com a rizosfera de três
711 espécies de plantas forrageiras. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 29, n. 1, p. 152-158,
712 Jan./Feb. 2013.
- 713 ARAÚJO, F. F.; BONIFÁCIO, A.; BAVARESCO, L. G.; MENDES, L. W.; ARAÚJO, A. S.
714 F. Bacillus subtilis changes the root architecture of soybean grown on nutrient-poor substrate.
715 **Rhizosphere**, v. 18, Jun. 2021. DOI: 10.1016/j.rhisph.2021.100348.
- 716 BARBOSA, K. P. **Fontes e formas de aplicação de fertilizantes fosfatados em cultivos**
717 **consecutivos de soja em Latossolo de alta fertilidade**. 2020. 136p. Tese (Doutorado em
718 Agronomia) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Rio Verde, 2020.
- 719 BARBOSA, N. C.; ARRUDA, E. M.; BROD, E.; PEREIRA, H. S. Distribuição vertical do
720 fósforo no solo em função dos modos de aplicação. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 31, n.
721 1, p. 87-95, 2015.
- 722 BATISTA, F. C.; FERNANDES, T. A.; ABREU, C. S.; OLIVEIRA, M. C.; RIBEIRO, V. P.;
723 GOMES, E. A.; LANA, U. G. P.; MARRIEL, I. E.; PAIVA, C. A. O. **Potencial de**
724 **microrganismos rizosféricos e endofíticos de milho em solubilizar o fosfato de Ferro e**
725 **produzir sideróforos**. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 1ª Ed. Sete Lagoas: Embrapa
726 milho e sorgo, 23p., 2018.
- 727 BATISTELLA FILHO, F.; FERREIRA, M.E.; VIEIRA, R.D.; CRUZ, M.C.P.;
728 CENTURION, M.A.P.D.C.; SYLVESTRE, T.D.B.; RUIZ, J.G.C.L. Adubação com fósforo e
729 potássio para produção e qualidade de sementes de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**,
730 Brasília, v.48, n.7, p.783-790, 2013.
- 731 BITTENCOURT; C. D.; FERREIRA, E. P. B. Desempenho de inoculante solubilizador de
732 fosfato no crescimento e produção do feijoeiro-comum. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE
733 SOJA, 9., 2022, Foz do Iguaçu, PR, **Anais...**Foz do Iguaçu, PR. p. 299.
- 734 BRAGA, J.M. & DEFELIPO, B.V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos
735 de solo e material vegetal. **Revista Ceres**, 21:73-85, 1974.

- 736 BRITO, L. E. M; REZENDE, A. L. A. M.; SILVA, C. O. C.; SILVA, H. D.; SILVA, C. D.
737 R.; LUZ, J. H. S. Desenvolvimento e nutrição inicial do milho em inoculação do Biomaphos[®]
738 associado a fontes fosfatadas. **Revista Agri-Environmental Sciences**, Palmas-TO, v. 8, Ed.
739 Especial, e022010, 2022.
- 740 BROW, M. Seed and root bacterization. **Annual review of phytopathology**, palo alto, v.12,
741 p.181-197, 1974.
- 742 CHANG, S.C.; JACKSON, M.L. Fractionation of soil phosphorus. **Soil Science**, Oxford,
743 v.84, p.133-144, 1957.
- 744 CONTE, E. **Atividade de fosfatase ácida e formas de acumulação de fosfato em solo no**
745 **sistema plantio direto**. 2001. 65p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) –
746 Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.
- 747 CONTE, E.; ANGHINONI, I. & RHEINHEIMER, D.S. Frações de fósforo acumulada em
748 latossolo argiloso pela aplicação de fosfato no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de**
749 **Ciência do Solo**, v.27, p.893-900, 2003.
- 750 COUTINHO, F.P.; HOULLOU, L. M. Fungos solubilizadores de fosfato isolados da rizosfera
751 de cana-de-açúcar (*Saccharum spp. L.*). **Anais..** In: IV Encontro Pernambucano de Micologia,
752 2016, Recife. IV EPEM, 2016.
- 753 CROSS, A.F.; SCHLESINGER, W.H. A literature review and evaluation of the Hedley
754 fractionation: Applications to the biogeochemical cycle of soil phosphorus in natural
755 ecosystems. **Geoderma**, Amsterdam, v 64, p.197-214, 1995.
- 756 CRUZ, C.D. GENES - a software package for analysis in experimental statistics and
757 quantitative genetics. **Acta Scientiarum**, v.35, n.3, p.271-276, 2013.
- 758 CUNHA, A.C.M.C.M.; PAIVA, H.N.; XAVIER, A., OTONI, W.C. Papel da nutrição mineral
759 na formação de raízes adventícias em plantas lenhosas. **Pesquisa Florestal Brasileira**.
760 Colombo, n.58, p.35-47, 2009.
- 761 DAMODAR REDDY, D.; SUBBA RAO, A. & RUPA, T.R. Effects of continuous use of
762 cattle manure and fertilizer phosphorus on crop yields and soil organic phosphorus in a
763 Vertisol. **Bioresource Technology**, v.75, p.113-118, 2000.
- 764 EMBRAPA. **Produto com tecnologia brasileira pode reverter dependência 321 externa**
765 **por adubos fosfatados**. 2019. Acesso em:< [https://www.embrapa.br/busca-322 de-noticias/-](https://www.embrapa.br/busca-322-de-noticias/-/noticia/45773416/produto-com-tecnologia-brasileira-pode-reverter-323-dependencia-externa-por-adubos-fosfatados)
766 [/noticia/45773416/produto-com-tecnologia-brasileira-pode-reverter-323 dependencia-externa-](https://www.embrapa.br/busca-322-de-noticias/-/noticia/45773416/produto-com-tecnologia-brasileira-pode-reverter-323-dependencia-externa-por-adubos-fosfatados)
767 [por-adubos-fosfatados](https://www.embrapa.br/busca-322-de-noticias/-/noticia/45773416/produto-com-tecnologia-brasileira-pode-reverter-323-dependencia-externa-por-adubos-fosfatados)>. Acessado em 12 de Janeiro de 2023.
- 768 FIORIN, J.E.; VOGEL, P.T.; BORTOLOTTI, R.P. Métodos de aplicação e fontes de
769 fertilizantes para a cultura da soja. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Pernambuco,
770 v.11, n.2, p.92-97, 2016.
- 771 GATIBONI, L.; BRUNETTO, C.; SANTOS, D. R.; KAMINSKI, J. Fracionamento químico
772 das formas de fósforo do solo: usos e limitações. In: ARAÚJO, A.P.; AVELAR, B.J.R. (Eds.).
773 **Tópicos em Ciência do Solo**, Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.8, p.141-
774 187, 2013.

- 775 GATIBONI, L.; KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D.S. & FLORES, J.P.C.
776 Biodisponibilidade de formas de fósforo acumuladas em solo sob sistema plantio direto.
777 **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.691-699, 2007.
- 778 GIOVELLI, J.; TABALDI, L. A. Phosphorus Levels and Seed Inoculation by *Bacillus*
779 *megaterium* (CNPMS B119) and *Bacillus subtilis* (CNPMS B2084) in the Growth and
780 Development of Soybean Plants. **Ensaios e Ciências**, v.26, n.4, 2022, 451-458.
- 781 HAMEEDA, B.; HARINI, G.; RUPELA, O. P.; WANI, S. P.; REDDY, G. Growth promotion
782 of maize by phosphate-solubilizing bacteria isolated from composts and macrofauna.
783 **Microbiological Research**, Jena, v. 163, n. 2, p. 234-242, 2008.
- 784 INOCÊNCIO; M.F.; RESENDE, A.V.; FURTINI NETO, A.E.; VELOSO, M.P.; FERRAZ,
785 F.M.; HICKMANN, C. Resposta da soja à adubação com zinco em solo com teores acima do
786 nível crítico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.47, n.10, p.1550-1554, 2012.
- 787 KOME, G.K.; ENANG, R. K.; TABI, F. O.; YERIMA, B. P. K. Influence of Clay minerals on
788 some soil fertility attributes: a review. **Open Journal of Soil Science**, v.9, p.155-188,2019.
- 789 KURIHARA, C.H.; SILVA, W.M.; TSUJIGUSHI, B.P.; SILVA, J.V.S.; DIAS, M.M.
790 **Adubação fosfatada no sistema de plantio direto**. Circular Técnica. 26. Dourados:Embrapa
791 soja, 4p., 2014.
- 792 LANA, M.C.; FRANDOLOSO, J.F.; FEY, R.; RICHART, A.; FONTANIVA, S. **Análise**
793 **química de solo e de tecido vegetal: metodologias analíticas**. 2.Ed. Cascavel: Edunioeste. 155
794 p., 2016.
- 795 MAHDI, S. S.; HASSAN, G. H.; FAISUL-UR-RASOOL, A. H. Phosphorus Availability
796 Issue- Its Fixation and Role of Phosphate Solubilizing Bacteria in Phosphate Solubilization.
797 **Research Journal of Agricultural Sciences**, v.2, n.1, p.174-179, 2011.
- 798 MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola**. 3. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 319p.
799 1981.
- 800 MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional de**
801 **plantas: Princípios e aplicações**. 2ªEd. Piracicaba:Potafós, 319 p., 1997.
- 802 MARCOLIN, L.; CALEGARI, M. R. Chemical and physical attributes and mineralogy in
803 Latossols (Oxisols) and their relation with the landscape in the west of Paraná. **Revista do**
804 **departamento de Geografia**, v.39, p.1-14, 2020. DOI:10.11606/rdg.v39i0.158400.
- 805 MARTINAZZO, R.; SANTOS, D. R.; GABOTINI, L. C.; BRUNETTO, G.; KAMINSKI, J.
806 Fósforo microbiano do solo sob sistema plantio direto afetado pela adição de fosfato solúvel.
807 **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.31, n.3, p.563-568, 2007.
- 808 MELESE, A.; GEBREKIDAN, H.; YLI-HALLA, M.; YITAFERU, B. Phosphorus status,
809 inorganic phosphorus forms, and other physicochemical properties of acid soils of farta
810 district, northwestern highlands of Ethiopia. **Applied and Environmental Soil Science**,
811 v.2015, 11p., 2015.

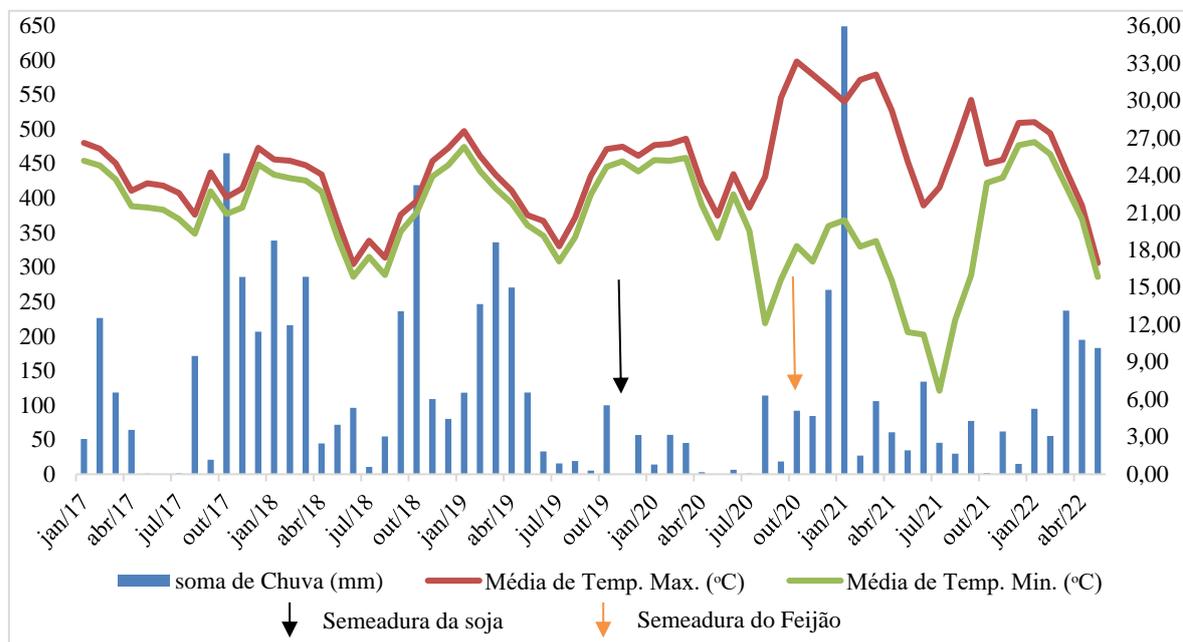
- 812 MORAES SÁ, J. C.; QUADROS NETTO, C.; NAVARRO, J. F.; BRIEDIS, C.; FERREIRA,
813 A. O. Modos de aplicação de nitrogênio e fósforo na cultura de milho em plantio direto.
814 **Synergismus scyentifica**, Pato Branco, v.4, n.1, p.1-3, 2009.
- 815 NUNES, R.S.; SOUSA, D. M. G.; GOEDERT, W. J.; OLIVEIRA, L. E. Z. PAVINATO, P.
816 S.; PINHEIRO, T. D. Distribution of Soil Phosphorus Fractions as a Function of Long-Term
817 Soil Tillage and Phosphate Fertilization Management. **Frontiers in Earth Science**. V.8,
818 n.350, p.1-12, 2020. DOI: 10.3389/feart.2020.00350.
- 819 NUNES, R.D.S.; SOUSA, D.M.G.; GOEDERT, W.J.; VIVALDI, L.J. Distribuição de fósforo
820 no solo em razão do sistema de cultivo e manejo da adubação fosfatada. **Revista Brasileira**
821 **de Ciência do Solo**, Viçosa, v.35, n.3, p. 877-888, 2011.
- 822 OGUT, M.; ER, F.; NEUMANN, G. Increased proton extrusion of wheat roots by inoculation
823 with phosphorus solubilising microorganims. **Plant and Soil**. V.339, n.1, p.285-297, 2011.
- 824 OLIVEIRA, C. A.; MARRIEL, I. E.; GOMES, E. A.; MATTOS, B. B.; SANTOS, F. C.;
825 OLIVEIRA, M. C.; ALVES, V. M. C. **Metodologia de aplicação de microrganismos**
826 **solubilizadores de fósforo em sementes visando melhor aproveitamento deste nutriente**
827 **pelas plantas**. Boletim de pesquisa e desenvolvimento. 1 Ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e
828 Sorgo, 31p., 2013.
- 829 OLIVEIRA, L. C. A.; CARNEIRO, M. A.; LITTER, F. A.; CARVALHO, M. A. C.;
830 YAMASHITA, O. M.; CAIONE, G. Frações de fósforo em função do uso de fertilizantes
831 fosfatados em distintas classes de solo. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**. V.14,
832 n.4, p. 1025-1035, 2021. DOI: 10.17765/2176-9168.2021v14n4e8921.
- 833 OLIVEIRA-PAIVA, C. A.; BINI, D.; MARRIEL, I. E.; GOMES, E. A.; SANTOS, F. C.;
834 COTA, L. V.; SOUSA, S. M.; ALVES, V. M. C.; LANA, U. G. P.; SOUZA, F. F. **Inoculante**
835 **à base de bactérias solubilizadoras de fosfato nas culturas do milho e da soja**
836 **(Biomaphos®): dúvidas frequentes e boas práticas de inoculação**. Sete Lagoas: Embrapa
837 Milho e Sorgo, 2021b, 18 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de Pesquisa e
838 Desenvolvimento, 252).
- 839 OLIVEIRA-PAIVA, C. A.; COTA, L. V.; MARRIEL, I. E.; ; ALVES, V. M. C.; GOMES, E.
840 A.; SOUSA, S. M.; SANTOS, F. C.; SOUZA, F. F.; LANDAU, E. C.; PINTO JÚNIOR, A. S.;
841 LANA, U. G. P. **Validação da recomendação para o uso do inoculante Biomaphos®**
842 **(Bacillus subtilis CNPMS B2084 e Bacillus megaterium CNPMS B119) na cultura da**
843 **soja**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2021a, 19 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim
844 de Pesquisa e Desenvolvimento, 279).
- 845 OLIVEIRA-PAIVA, C. A.; COTA, L. V.; MARRIEL, I. E.; GOMES, E. A.; SOUSA, S. M.
846 de; LANA, U. G. de P.; SANTOS, F. C. dos; PINTO JÚNIOR, A. S.; ALVES, V. M. C.
847 **Viabilidade técnica e econômica do Biomaphos® (Bacillus subtilis CNPMS B2084 e**
848 **Bacillus megaterium CNPMS B119) nas culturas de milho e soja**. Sete Lagoas: Embrapa
849 Milho e Sorgo, 2020a. 21 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de Pesquisa e
850 Desenvolvimento, 210).
- 851 OLIVEIRA-PAIVA, C. A.; MARRIEL, I. E.; GOMES, E. A.; COTA, L. V.; SANTOS, F. C.
852 dos; SOUSA, S. M. de; LANA, U. G. de P.; OLIVEIRA, M. C.; MATTOS, B. B.; ALVES,
853 V. M. C.; RIBEIRO, V. P.; VASCO JÚNIOR, R. **Recomendação agronômica de cepas de**

- 854 **Bacillus subtilis (CNPMS B2084) e Bacillus megaterium (CNPMS B119) na cultura do**
855 **milho.** Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2020b. 18 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular
856 Técnica, 260).
- 857 PAVINATO, P. S.; MERLIN, A.; ROSOLEM, C. A. Phosphorus fractions in Brazilian
858 Cerrado soils as affected by tillage. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 105, n. 1, p.
859 149-155, 2009.
- 860 PEREIRA, D. S.; COSTA, Y. K. S.; CARVALHO, L. B. O elemento P: formas e dinâmica
861 em solos tropicais. **Revista Agronomia Brasileira**, v.5, p. 1-4, 2021. DOI:
862 10.29372/rab202124.
- 863 PEREZ-TORRES, C. A.; LÓPEZ-BUCIO, J.; CRUZ-RAMÍREZ, A.; IBARRA- LACLETTE,
864 E.; DHARMASIRI, S.; ESTELLE, M.; HERRERA-ESTRELA, L. Phosphate availability
865 alters lateral root development in Arabidopsis by modulating auxin sensitivity via a
866 mechanism involving the TIR1 auxin receptor. **Plant Cell**. Vol. 20, p.3258–3272, 2018.
- 867 RAIJ, B.V; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de**
868 **adubação e calagem para o estado de São Paulo.** 2. Ed. Campinas: IAC, 1997. 285 p. (IAC.
869 Boletim Técnico, 100).
- 870 REED, S.C.; YANG, X.; THORNTON, P.E. Incorporating phosphorus cycling into global
871 modeling efforts: a worthwhile, tractable endeavor. **New Phytologist**, Tennessee, v.208, n.2,
872 p.324–329, Jun. 2015. DOI:10.1111/nph.13521
- 873 RESENDE, A.V.; FURTINI NETO, A.E.; ALVES, V.M.C.; MUNIZ, J.A.; CURTI, N.;
874 FAQUIN, V.; KIMPARA, D.I.; SANTOS, J.Z.L.; CARNEIRO, L.F. Fontes e modos de
875 aplicação de fósforo para o milho em solo cultivado da região do cerrado. **Revista Brasileira**
876 **de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, n.2, p.453-466, 2006.
- 877 RICHARDSON, A. E. Prospects for using soil microorganisms to improve the acquisition of
878 phosphorus by plants. **Functional Plant Biology**. V.28, n.9, p.897-906, Set. 2001.
879 Doi:10.1071/PP01093.
- 880 ROCHA, A.T.; DUDA, G. P.; NASCIMENTO, C. W. A.; RIBEIRO, M. Fracionamento do
881 fósforo e avaliação de extratores do P disponível em solos da Ilha de Fernando de Noronha.
882 **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9, n.2, p.178-
883 184, 2005.
- 884 ROSSI, N. G.; VILAR, C. C.; USHIWATA, S. Y.; REIS, R.; NABEIRO, J. C. X. Influência
885 do modo de aplicação de fertilizante fosfatado na produção de soja em sistema de plantio
886 direto e convencional no Cerrado. **Global Science and Technology**, Rio Verde, v.11, n.02,
887 p.101-111, mai/ago. 2018.
- 888 SANTOS, D. R.; GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do
889 fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**,
890 Santa Maria, V.38, n.2, p.576-586, 2008.
- 891 SANTOS, E. D. A.; TNG, D. Y. P.; APGAUA, D. M. G.; ASSUNÇÃO, R. R.; MANZI, A.
892 O. Soil phosphorus fractions and their relation to leaf litterfall in a central Amazonian terra

- 893 firme rainforest. **Acta Amazonica**. Manaus, v.52, n.2, p. 104-113, Abr. 2022.
894 DOI:10.1590/1809-4392202103471.
- 895 SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.A.; LUMBRERAS,
896 J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A.; CUNHA, T.J.F.; OLIVEIRA, J.B. **Sistema**
897 **Brasileiro de classificação de solos**. 4.ed. Brasília: Embrapa, 2014. 376p.
- 898 SANTOS, J. Z. L.; FURTINI NETO, A. N.; RESENDE, A. V.; CURI, N.; CARNEIRO, L. F.;
899 COSTA, S. E. V. G. A. Frações de fósforo em solo adubado com fosfatos em diferentes
900 modos de aplicação e cultivado com milho. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Lavras,
901 V.32, p. 705-714, 2008. DOI: 10.1590/S0100-06832008000200025.
- 902 SANTOS, S.; NETO, I. F. F.; MACHADO, M. D.; SOARES, H. M. V. M.; SOARES, E. V.
903 Siderophore production by *Bacillus megaterium*: effect of growth phase and cultural
904 conditions. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, Clifton, v. 172, p. 549-560, 2014a.
905 DOI: <https://doi.org/10.1007/s12010-013-0562-y>.
- 906 SHARMA, S. B.; SAYYED, R. Z.; TRIVEDI, M. H.; GOBI, T. A. Phosphate solubilizing
907 microbes: sustainable approach for managing phosphorus deficiency in agricultural soils.
908 **SpringerPlus**, v. 2, p. 587, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1186/2193-1801-2-587>.
- 909 SIQUEIRA, J. O.; ANDRADE, A. T.; FAQUIM, V. O papel dos microrganismos na
910 disponibilização e aquisição de fósforo pelas plantas. In: SIMPÓSIO SOBRE FÓSFORO NA
911 AGRICULTURA BRASILEIRA, 2003. Piracicaba. **Anais ... Piracicaba: POTAFOS**, 2004. p.
912 158.
- 913 SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO – SBCS. **Manual de adubação e**
914 **calagem para o estado do Paraná**. Curitiba: SBCS/NEPAR. 182p. 2017.
- 915 SOUSA, D. M. G. de; NUNES, R. S.; REIN, T. A.; SANTOS JUNIOR, J. D. G. dos. Manejo
916 do fósforo na região do Cerrado. In: FLORES, R. A.; CUNHA, P. P. da (Ed.). **Práticas de**
917 **manejo do solo para adequada nutrição de plantas no Cerrado**. Goiânia: UFG, 2016. p.
918 291-358.
- 919 SOUSA, S. M.; OLIVEIRA, C. A.; ANDRADE, D. L.; CARVALHO, C. G.; RIBEIRO, V.
920 P.; PASTINA, M. M.; MARRIEL, I. E.; LANA, U. G. P.; GOMES, E. A.
921 Tropical *Bacillus* Strains Inoculation Enhances Maize Root Surface Area, Dry Weight,
922 Nutrient Uptake and Grain Yield. **Journal of Plant Growth Regulation**, V.40, p.867–877,
923 2021. DOI: 10.1007/s00344-020-10146-9.
- 924 SOUZA, C.A.; FIGUEIREDO, B.P.; COELHO, C.M.M.; CASA, R.T.; SANGOI, L.
925 Arquitetura de plantas e produtividade da soja decorrente do uso de redutores de crescimento.
926 **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 29, n. 3, p. 634-643, 2013.
- 927 SOUZA JÚNIOR, R.F; OLIVEIRA, F. H. T.; SANTOS, H. C.; FREIRE, F. J.; ARRUDA, J.
928 A. Frações de fósforo inorgânico do solo e suas correlações com o fósforo quantificado por
929 extratores e pelo milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.36, p.159-169,
930 2012.
- 931 SPOSITO, G. Soil adsorption phenomena. In: SPOSITO, G. (Ed.). **The Chemistry of Soil**. 2.
932 ed. New York: Oxford University Press, 2008.195-217p.

- 933 TIESSEN, J.; STEWART, J.W.B.; COLE, C.V. Pathways of phosphorus transformations in
934 soils of differing pedogenesis. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.48, n.4,
935 p. 853-858, 1984.
- 936 TORSVIK, V.; SORHEIM, R.; GOKSOYR, J. Total bacterial diversity in soil and sediment
937 communities: a review. **Journal of Industrial Microbiology**, Amsterdam, v. 17, p.170-178,
938 1996.
- 939 TRES, G. **Distribuição e incremento do fósforo em Latossolo sob três modos de aplicação**
940 **do fertilizante fosfatado em soja e milho**. 2017. 75p. Dissertação (Mestrado em Produção
941 vegetal) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2017.
- 942 VELLOSO, C. C. V.; OLIVEIRA-PAIVA, C. A.; GOMES, E. A.; LANA, U. G. P.;
943 CARVALHO, C. G.; GUIMARÃES, L. J. M.; PASTINA, M. M.; SOUSA, S. M. Genome-
944 guided insights of tropical *Bacillus* strains efficient in maize growth promotion. **FEMS**
945 **Microbiology Ecology**, v. 96, n. 9, f157, 2020. DOI: 10.1093/femsec/fiaa157.
- 946 VILA, V. V.; SOUZA, I. G.; MAGALHÃES, J. L.; OLIVEIRA, E. B.; COSTA, A. C. S.;
947 Mineralogia da fração argila de Latossolos vermelhos da região do Cerrado Brasileiro. In: 25º
948 Encontro Anual de iniciação científica, 2016. **Anais...** Maringá: UEM, 2016, 4p.
- 949 WALKER, T.W.; SYERS, J.K. The fate of phosphorus during pedogenesis. **Geoderma**,
950 Netherlands, v.15, p.01-19, 1976.
- 951 WANG, Y.; LI, P.; ZHANG, B.; WANG, Y.; MENG, J.; GAO, Y.; HE, X.; HU, X.
952 **Identification of phosphate-solubilizing microorganisms and determination of their**
953 **phosphate-solubilizing activity and growth-promoting capability**. **BioResources**, v.15,
954 n.2, p. 2560-2578, 2020.
- 955 YOUNG, L. S.; HAMEED, A.; PENG, S. Y.; SHAN, Y. H.; WU, S. P. Endophytic
956 establishment of the soil isolate *Burkholderia* sp. CC-A174 enhances growth and P-utilization
957 rate in maize (*Zea mays* L.). **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 66, p. 40-47, 2013.

958 FIGURAS E TABELAS

959 **Figura 1** - Dados meteorológicos entre 2017 a 2022, em Santa Terezinha de Itaipu-PR

960 **Tabela 1** – Resumo dos fertilizantes e corretivos, doses e quantidades de N, P₂O₅, K₂O, S e CaO
 961 aplicados em cada cultivo

	Sistema/cultura	Dose (kg ha ⁻¹)	Formulações	Informações
		N-P ₂ O ₅ -K ₂ O-S-CaO	N-P ₂ O ₅ -K ₂ O-S-CaO	
2000-2014	Integração Lavoura/pecuária	-	-	-
2015	Soja	12-86-107-00	03-21-00 00-00-60	MAP+SSP KCl
2016	Milho verão	236-86-223-110-126	20-00-00-24 00-19-00-12-28 00-00-60-00	NH ₄ SO ₄ SSP KCl
2017	Pousio	4 Mg ha ⁻¹	Calcário Calcítico	45% CaO 5% MgO 90% PRNT 95% PN 10% S 8% CaO
		0,25 Mg ha ⁻¹	Gesso	
2017/18	<i>Brachiaria brizantha</i>	-	-	-
2018/19	<i>Brachiaria brizantha</i>	-	-	-
2019/20	Soja	10-80-26-00	4-30-10-00	-
2020	Mix de inverno	-	-	-
2020/21	Feijão	11-81-23-00 59-00-00-68	4-28-08-00 21-00-00-24	- (NH ₄) ₂ SO ₄
2021	Milheto	-	-	-

962 MAP: Fosfato Monoamônico ; SSP: superfosfato simples (21% P₂O₅); KCl: Cloreto de Potássio (60 % K₂O);
 963 (NH₄)₂SO₄: Sulfato de Amônio (20% N e 24% S).

964 **Tabela 2** –Produtividade da soja e do feijão, em função do modo de aplicação e solubilizador
 965 BiomaPhos[®]

MODOS DE APLICAÇÃO	PRODUTIVIDADE SOJA		PRODUTIVIDADE FEIJÃO	
	-- kg ha ⁻¹ --		-- kg ha ⁻¹ --	
100% LANÇO	4188.14 a		2333.32 a	
½ LANÇO + ½ LINHA	4209.00 a		2496.03 a	
100% LINHA	4149.00 a		2541.66 a	
SEM P	2812.28 b		1756.94 b	
	- BiomaP	+ BiomaP	- BiomaP	+ BiomaP
	3808.46 B	3870.75 A	2222.55 B	2341.43 A
C.V.1 (%)	10.18		15.28	
C.V.2 (%)	2.27		7.67	

966 Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey
 967 a 5% de probabilidade de erro. Produtividade (kg ha⁻¹).

968 **Tabela 3** – Teor de P na folha e no grão da soja e do feijão, em função do modo de aplicação e
969 solubilizador BiomaPhos®

MODOS DE APLICAÇÃO	TEOR DE P FOLHA SOJA -- g kg ⁻¹ --		TEOR DE P FOLHA FEIJÃO -- g kg ⁻¹ --	
	- BiomaP	+ BiomaP	- BiomaP	+ BiomaP
100% LANÇO	2.89 Aa	2.57 Bb	2.02 Aa	1.90 Abc
½ LANÇO + ½ LINHA	2.80 Aa	2.67 Ab	2.03 Ba	2.38 Aa
100% LINHA	2.85 Aa	3.00 Aa	2.36 Aa	2.36 Aab
SEM P	2.43 Ab	2.42 Ab	1.98 Aa	1.67 Bc
C.V.1 (%)	7.83		19.60	
C.V.2 (%)	7.39		10.13	
MODOS DE APLICAÇÃO	TEOR DE P GRÃO SOJA -- g kg ⁻¹ --		TEOR DE P GRÃO FEIJÃO -- g kg ⁻¹ --	
	- BiomaP	+ BiomaP	- BiomaP	+ BiomaP
100% LANÇO	3.90 a	3.80 Ba	3.80 Ba	4.04 Aab
½ LANÇO + ½ LINHA	4.20 a	3.76 Aa	3.76 Aa	3.81 Ab
100% LINHA	4.28 a	3.66 Ba	3.66 Ba	4.15 Aa
SEM P	3.27 b	3.33 Ab	3.33 Ab	3.16 Ac
C.V.1 (%)	11.97		7.00	
C.V.2 (%)			5.20	

970 Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de
971 Tukey a 5% de probabilidade de erro.

972 **Tabela 4** – Fracionamento de P inorgânico e inorgânico total, do solo aderido as raízes de soja,
973 em função do modo de aplicação

MODOS DE APLICAÇÃO	SOJA				
	Pi _{H2O}	Pi _{Fe}	Pi _{Ca}	Pi _{Al}	Pi-total
100% LANÇO	5.39 b	95.07 b	29.43 ab	ND	129.91 bc
½ LANÇO + ½ LINHA	7.10 ab	129.04 a	41.34 ab	ND	177.50 ab
100% LINHA	7.93 a	137.19 a	48.01 a	ND	193.14 a
SEM P	2.90 c	65.73 b	26.14 b	ND	94.79 c
C.V. (%)	35.74	25.77	52.96		30.29

974 Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de
975 probabilidade de erro. Pi: P inorgânico (mg kg⁻¹).

976 **Tabela 5** – Fracionamento de P inorgânico e inorgânico total, do solo aderido as raízes do
977 feijão, em função do modo de aplicação

MODOS DE APLICAÇÃO	FEIJÃO			
	Pi _{Fe}		Pi _{Ca}	
	- BiomaP	+ BiomaP	- BiomaP	+ BiomaP
100% LANÇO	137.46 Aab	143.13 Aa	38.04 Aa	40.61 Aab
½ LANÇO + ½ LINHA	186.91 Aa	169.94 Aa	48.85 Aa	40.58 Aab
100% LINHA	180.66 Aa	183.28 Aa	51.64 Aa	57.99 Aa
SEM P	77.02 Bb	193.43 Aa	60.86 Aa	24.94 Bb
C.V.1 (%)	26.89		41.14	
C.V.2 (%)	26.22		42.21	
MODOS DE APLICAÇÃO	Pi _{H2O}	Pi _{Al}	Pi-total	
	- BiomaP	+ BiomaP	- BiomaP	+ BiomaP
100% LANÇO	8.83 b	ND	188.46 b	
½ LANÇO + ½ LINHA	26.06 a	ND	246.70 ab	
100% LINHA	34.39 a	ND	271.18 a	
SEM P	4.19 b	ND	182.32 b	
C.V. (%)	86.93		27.45	

978 Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste
979 de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Pi: P inorgânico (mg kg⁻¹).

CONCLUSÕES GERAIS

As frações Pi_{Fe} e Pi_{Ca} na soja e, Pi_{H_2O} e Pi total na soja e no feijão foram alterados pelos modos de aplicação do fertilizante fosfatado, com destaque para a os que receberam na linha de semeadura (100% ou $\frac{1}{2}$).

As menores médias dos teores de P nos grãos ocorreram quando da não adição do fertilizante fosfatado (sem P).

O uso do Biomaphos® proporcionou incremento na produtividade, em 1 saca por hectare na soja e 2 sacas por hectare no feijão.

Na cultura do feijão, o Biomaphos® proporcionou incremento na fração Pi_{Fe} e decréscimo na fração Pi_{Ca} , quando não houve adição do fertilizante fosfatado.

A fração moderadamente lábil ($P-H^+$) promoveu maior contribuição para o P-total do solo tanto nas formas orgânicas e inorgânicas.

Houve maior dependência das frações orgânicas após o ciclo de cultivos, quando da adubação 100% em linha de semeadura, justificada pelo maior P orgânico moderadamente lábil ($Po-H^+$) inicial e menores teores finais com e sem Biomaphos®. Quando considerado apenas o teor inicial, esta dependência foi maior na camada de 0-0,05 m.

Quando do modo de aplicação do fertilizante fosfatado $\frac{1}{2}$ à lanço mais $\frac{1}{2}$ em linha, o uso do Biomaphos® comparado ao teor inicial, promoveu depleção das frações P orgânico moderadamente lábil ($Po-H^+$), Po total e % de Po, para as profundidades de 0-0,05 m e 0,10-0,20 m. O mesmo ocorreu para a adubação 100% à lanço, de 0,05 até 0,20 m.

Quando da ausência do fertilizante fosfatado, após ciclo de cultivos, houve incremento de P orgânico, na profundidade de até 0,05 m.

A presença do Biomaphos® promoveu depleção do P-residual ou P-recalcitrante para as profundidades de 0,10-0,20 m após a sequência de cultivos, sem diferenças entre os modos de aplicação do fertilizante fosfatado, no teor final.

O Pi-lábil não obteve diferenças significativas em relação aos teores iniciais e finais, na ausência de fertilizante fosfatado. Todas as demais frações, obtiveram as menores médias para os teores iniciais.

Para P inorgânico moderadamente lábil (Pi-H⁺), P total moderadamente lábil (Pt-H⁺), P inorgânico total e P total, o Biomaphos[®] não foi suficiente para promover alterações das frações, na ausência da adubação fosfatada.