

Contemporânea

Contemporary Journal

Vol. 5 Nº. 7: p. 01-20, 2025

ISSN: 2447-0961

Artigo

PRODUÇÃO AGROECOLÓGICA DE ALGODOEIRO SUBMETIDO À ADUBAÇÃO COM FOSFATO INSOLÚVEL E BACTÉRIAS SOLUBILIZADORAS DE FOSFATO

AGROECOLOGICAL PRODUCTION OF COTTON SUBJECTED TO
FERTILIZATION WITH INSOLUBLE PHOSPHATE AND PHOSPHATE-
SOLUBILIZING BACTERIA

PRODUCCIÓN AGROECOLÓGICA DE PLANTAS DE ALGODÓN
SOMETIDAS A FERTILIZACIÓN CON FOSFATO INSOLUBLE Y
BACTERIAS SOLUBILIZADORAS DE FOSFATO

DOI: 10.56083/RCV5N7-021

Receipt of originals: 6/2/2025

Acceptance for publication: 6/24/2025

Magna Maria Macedo Nunes Costa

Doutora em Fitotecnia

Instituição: Universidade Federal de Viçosa

Endereço: Campina Grande, Paraíba, Brasil

E-mail: magna.ferreira@embrapa.br

Manoel Francisco de Sousa

Doutor em Zootecnia

Instituição: Universidade Federal Rural de Pernambuco

Endereço: Campina Grande, Paraíba, Brasil

E-mail: manoel-francisco.sousa@embrapa.br

José Marcelo Dias

Doutor em Recursos Naturais

Instituição: Universidade Federal de Campina Grande

Endereço: Campina Grande, Paraíba, Brasil

E-mail: marcelo.dias@embrapa.br

José Wellington dos Santos

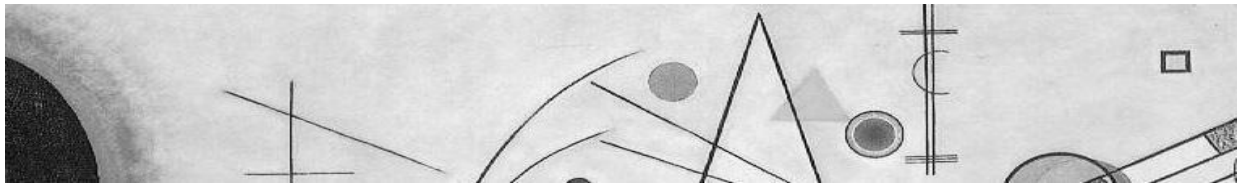
Mestre em Agronomia

Instituição: Universidade de São Paulo

Endereço: Campina Grande, Paraíba, Brasil

E-mail: jose-wellington.santos@embrapa.br





Kauã Souza Gouveia

Graduando em Ciências Biológicas (Bacharelado)

Instituição: Universidade Estadual da Paraíba

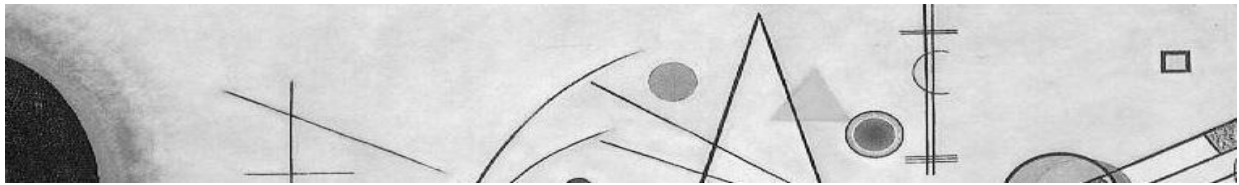
Endereço: Campina Grande, Paraíba, Brasil

E-mail: kaua.gouveia@aluno.uepb.edu.br

RESUMO: Visando estudar o efeito do inoculante líquido BiomaPhos® sobre a solubilização do fósforo (P) aplicado ao solo, a nutrição fosfatada, o crescimento e a produtividade em área de produção orgânica de algodoeiro cv. Aroeira, foi conduzida uma pesquisa no Assentamento Queimadas, zona rural do município de Remígio, PB. Para isso, no dia 01 de maio de 2024, foi instalado um experimento na propriedade do Sr. Paulo Duarte dos Santos, agricultor agroecológico. Antes da instalação, foram coletadas amostras simples de solo, as quais foram homogeneizadas para formar uma amostra composta, afim de se determinar a fertilidade inicial em relação ao P. O experimento constou de uma combinação fatorial de 4 doses P (0, 30, 60 e 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅), na ausência e na presença do BiomaPhos®, totalizando 8 tratamentos, os quais foram repetidos 4 vezes em delineamento em blocos ao acaso, perfazendo um total de 32 parcelas experimentais. Os demais nutrientes essenciais foram fornecidos através do biofertilizante bokashi, antes da instalação do experimento. Nenhuma variável avaliada respondeu significativamente à aplicação de BiomaPhos®. O número de flores, o teor de P nas folhas, a altura da planta e a matéria verde remanescente da parte aérea apresentaram modelo quadrático às variações das doses de P no solo, apresentando valores de 13,14; 0,128 dag kg⁻¹; 63,24 cm e 1.387,47 g planta⁻¹ com as doses de 74,32; 57,68; 64,28 e 61,27 de P₂O₅, respectivamente. Já a produtividade aumentou linearmente.

PALAVRAS-CHAVE: *Gossypium hirsutum*, adubação fosfatada, bactérias solubilizadoras de fósforo.

ABSTRACT: Aiming to study the effect of the BiomaPhos® liquid inoculant on the solubilization of phosphorus (P) applied to the soil, phosphate nutrition, growth and productivity in an area of organic production of cotton cv. Aroeira, a research was conducted in the Queimadas Settlement, rural area of the municipality of Remígio, PB. For this, on May 1, 2024, an experiment was installed on the property of Mr. Paulo Duarte dos Santos, an agroecological farmer. Before installation, simple soil samples were collected and homogenized to form a composite sample in order to determine the initial fertility in relation to P. The experiment consisted of a factorial combination of 4 P doses (0, 30, 60 and 90 kg ha⁻¹ of P₂O₅), in the absence and presence of BiomaPhos®, totaling 8 treatments, which were repeated 4 times in a randomized block design, totaling 32 experimental plots. The other essential nutrients were supplied through the biofertilizer bokashi, before the installation of the experiment. None of the evaluated variables responded



significantly to the application of BiomaPhos®. The number of flowers, P content in the leaves, plant height and remaining green matter of the aerial part showed a quadratic model to the variations of P doses in the soil, presenting values of 13.14; 0.128 dag kg⁻¹; 63.24 cm and 1,387.47 g plant⁻¹ with doses of 74.32; 57.68; 64.28 and 61.27 of P₂O₅, respectively. Productivity increased linearly.

KEYWORDS: *Gossypium hirsutum*, phosphate fertilization, phosphorus-solubilizing bacteria.

RESUMEN: Con el objetivo de estudiar el efecto del inóculo líquido BiomaPhos® sobre la solubilización del fósforo (P) aplicado al suelo, la nutrición fosfática, el crecimiento y la productividad en un área de producción orgánica de algodón cv. Aroeira, se realizó una investigación en el Asentamiento Queimadas, zona rural del municipio de Remígio, PB. Para ello, el 1 de mayo de 2024, se instaló un experimento en la propiedad del Sr. Paulo Duarte dos Santos, agricultor agroecológico. Antes de la instalación, se recolectaron muestras simples de suelo y se homogeneizaron para formar una muestra compuesta con el fin de determinar la fertilidad inicial en relación con el P. El experimento consistió en una combinación factorial de 4 dosis de P (0, 30, 60 y 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅), en ausencia y presencia de BiomaPhos®, totalizando 8 tratamientos, que se repitieron 4 veces en un diseño de bloques al azar, haciendo un total de 32 parcelas experimentales. Los demás nutrientes esenciales se suministraron mediante el biofertilizante bokashi, antes de la instalación del experimento. Ninguna de las variables evaluadas respondió significativamente a la aplicación de BiomaPhos®. El número de flores, el contenido de P en las hojas, la altura de la planta y la materia verde remanente de la parte aérea mostraron un modelo cuadrático ante las variaciones de la dosis de P en el suelo, presentando valores de 13,14; 0,128 dag kg⁻¹; 63,24 cm y 1387,47 g planta⁻¹ con dosis de 74,32; 57,68; 64,28 y 61,27 de P₂O₅, respectivamente. La productividad aumentó linealmente.

PALABRAS CLAVE: *Gossypium hirsutum*, fertilización con fosfato, bacterias solubilizadoras de fósforo.



Artigo está licenciado sob forma de uma licença
Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional.



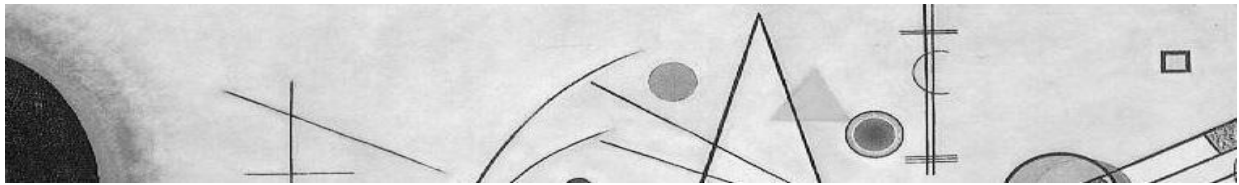
1. Introdução

O fósforo (P) é considerado um nutriente pouco disponível às plantas em virtude da sua baixa solubilidade no solo. Esse fato ocorre devido ao elemento se adsorver fortemente aos constituintes minerais do solo, formando complexos com óxidos de cálcio, ferro e alumínio, especialmente em solos tropicais. Além disso, a sua baixa taxa de difusão dificulta a sua absorção pelas raízes. Neste contexto, apenas 20% a 30% do P aplicado ao solo como fertilizante mineral é absorvido pelas plantas (Pereira, 2009), com a maior parte se fixando às argilas e se tornando indisponível.

Outra fonte importante de P no solo é a matéria orgânica - MO - na forma de fosfatos de inositol, fosfolipídeos, ácidos nucleicos e ésteres fosfatados, podendo representar de 20% a 80% do P total, onde a liberação para a solução do solo é controlada pela taxa de mineralização da MO dependente da atividade microbiana do solo (Leite *et al.*, 2016). Os microrganismos, especialmente bactérias e fungos, desempenham um papel fundamental na disponibilização do P na solução do solo, solubilizando o P inorgânico e mineralizando o orgânico (Carneiro *et al.*, 2004).

As bactérias solubilizadoras de fosfatos inorgânicos são capazes de solubilizar o P complexado aos óxidos de Ca, Fe e Al através da liberação, para a solução do solo, de ácidos orgânicos - especialmente os ácidos láctico, glicólico, cítrico, málico, oxálico, succínico e tartárico -, tornando o nutriente disponível às raízes das plantas (Manzoor; Abbasi; Tariq., 2017). Já as bactérias mineralizadoras do P presente na MO do solo liberam o nutriente para a solução através da produção e da excreção de enzimas fosfatases, que vão atuar nos compostos orgânicos contendo P e liberá-lo para a absorção pelas raízes (Sun *et al.*, 2017).

É grande a importância das bactérias solubilizadoras e mineralizadoras do P que está presente no solo, mas indisponível às raízes das plantas, pela sua forte interação com as frações química e orgânica, uma vez que este

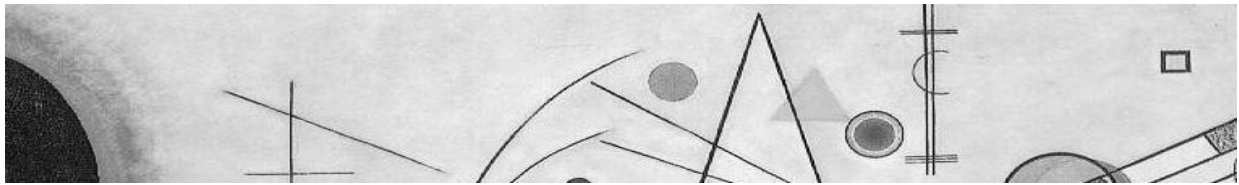


nutriente exerce importantes funções no crescimento e na produtividade das culturas: é parte integrante do DNA, do RNA e dos fosfolipídeos das membranas; é transportador de substratos, como na forma de glicose-P e de muitas coenzimas; é transportador e transdutor de energia como na forma de ATP e participa da sinalização celular, como na forma de IP_3 – inositol trifosfato (Schachtman; Reid; Ayling, 1998).

Diante da importância das bactérias acima citadas, torna-se importante a produção e a comercialização de inoculantes contendo esses microrganismos capazes de aumentar a eficiência no uso de P pelas plantas. Esses inoculantes apresentam baixo custo, não causam danos ao meio ambiente e podem ser usados para suplementar ou substituir o uso de adubos fosfatados. Além de promover a solubilização e a mineralização de fosfatos, produzem fito-hormônios, enzimas e sideróforos que vão potencializar o crescimento e a produção das plantas, e fornecem bioproteção contra fitopatógenos do solo, o que faz aumentar indiretamente a eficiência de outros nutrientes essenciais (Oliveira *et al.*, 2020).

Diversos estudos têm demonstrado o efeito positivo das bactérias solubilizadoras de P no solo sobre braquiária e guandu (Barroti; Nahas, 2000); plantas da Amazônia brasileira (Barroso; Oliveira, 2001); soja (Fernández *et al.*, 2005); milho (Baldotto *et al.*, 2012); pupunha (Patiño-Torres; Sánchez de Prager, 2012); alface (Sánchez-López *et al.*, 2014); laranja (Yfran-Elvira *et al.*, 2015); café (Cisneros-Rojas; Sánchez de Prager; Menjivar-Flores, 2017); cana-de-açúcar, milho, mamão e *Brachiaria decumbens* (Padron *et al.*, 2018); fisális (Sánchez-López; Romero-Perdomo; Bonilla-Buitrago, 2018) e cedro (Ascencio-Lino *et al.*, 2021).

A Embrapa Milho e Sorgo vem pesquisando e selecionando, há duas décadas, bactérias disponibilizadoras de P para as plantas. Resultados destes anos de pesquisa culminaram com o lançamento do produto comercial BiomaPhos®, o primeiro do país para esta finalidade. Segundo Oliveira *et al.* (2020), o BiomaPhos® é um inoculante líquido, recomendado para o

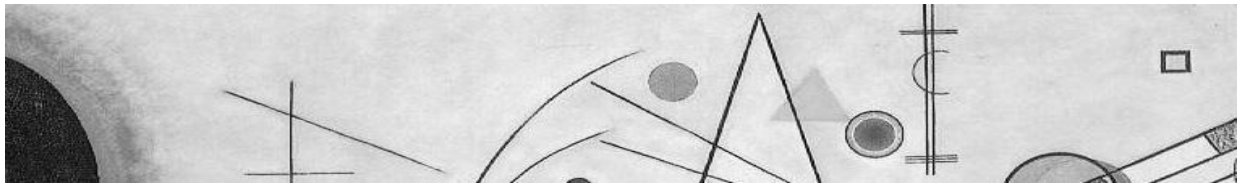


tratamento de sementes ou aplicação via jato dirigido ao sulco de semeadura, associando-se à planta desde o início da formação das raízes. As cepas BRM 119 (*Bacillus megaterium*) e BRM 2084 (*Bacillus subtilis*) multiplicam-se e colonizam a rizosfera, produzindo os ácidos orgânicos que vão solubilizar o P que está retido ao cálcio, ao ferro e ao alumínio presentes no solo, deixando-o prontamente disponível para a absorção e a assimilação pela planta. Além disso, o BiomaPhos® também atua na mineralização do P presente na MO do solo, dando maior aporte desse elemento para o cultivo.

O BiomaPhos® é um produto que contém a tecnologia Embrapa para aumentar a eficiência do uso de P pelas plantas, o que pode resultar em menores doses de fertilizantes fosfatados e, consequentemente, menos dispêndio de energia na produção. Além disso, ao aumentar a produtividade das culturas, diminui a pressão sobre novas áreas e aumenta a sustentabilidade dos atuais agroecossistemas. Assim, representa uma contribuição para atingir a meta ODS 12, que visa garantir sistemas sustentáveis de produção de alimentos, fibras e energia, e implementar práticas agrícolas resilientes que fortaleçam a capacidade de adaptação às mudanças climáticas e que melhorem progressivamente a qualidade do solo (Oliveira *et al.*, 2020).

A produção orgânica de algodão no Brasil é realizada por agricultores familiares e concentra-se na região semiárida, nos estados da Paraíba, do Piauí, de Pernambuco, do Rio Grande do Norte, do Ceará e de Minas Gerais. Os estados de Alagoas e Sergipe também estão produzindo, porém, suas áreas encontram-se em processo de transição. A produção de algodão orgânico da safra de 2019 no Brasil foi de 30 toneladas, numa área de 620 hectares, com cerca de 600 famílias envolvidas (Embrapa, 2020).

O adequado manejo do P no solo é importante para a cultura do algodoeiro, pois aumenta a produtividade, melhora a qualidade da fibra produzida, diminui os custos de produção, aumenta a renda do cotonicultor e promove a conservação do meio ambiente. Como esse elemento tem uma



baixa eficiência nutricional, com grande parte do P aplicado via adubação ficando fixado à matriz do solo, se faz importante o estudo de tecnologias que promovam a recuperação desse fosfato retido, como as bactérias disponibilizadoras de P.

Assim, esse trabalho teve como objetivo estudar o efeito do BiomaPhos® sobre a disponibilidade de P no solo, a nutrição fosfatada, o crescimento e a produção do algodoeiro cv. Aroeira cultivado no sistema orgânico no Assentamento Queimadas, zona rural do município de Remígio, PB.

2. Metodologia

No dia 01 de maio de 2024, foi instalado um experimento na propriedade do Sr. Paulo Duarte dos Santos, agricultor agroecológico do Assentamento Queimadas, zona rural do município de Remígio, PB, com o objetivo de estudar o efeito do inoculante líquido, desenvolvido pela Embrapa, BiomaPhos®, sobre o crescimento e a produção de algodão cv. Aroeira, bem como a nutrição fosfatada e a disponibilidade de fósforo no solo resultante da solubilização do adubo insolúvel. Antes da instalação, toda a área do experimento foi percorrida em zig-zag, coletando-se amostras simples na profundidade de 0 - 20 cm. Essas amostras foram misturadas e bem homogeneizadas a fim de obter-se a amostra composta, que foi encaminhada ao Laboratório de Solos e Nutrição de Plantas da Embrapa Algodão, Campina Grande, PB, para a determinação da fertilidade, cujos resultados constam na Tabela 1.



Tabela 1. Fertilidade do solo, na camada de 0-20 cm de profundidade, da propriedade do Sr. Paulo Duarte dos Santos, Assentamento Queimadas, município de Remígio, PB

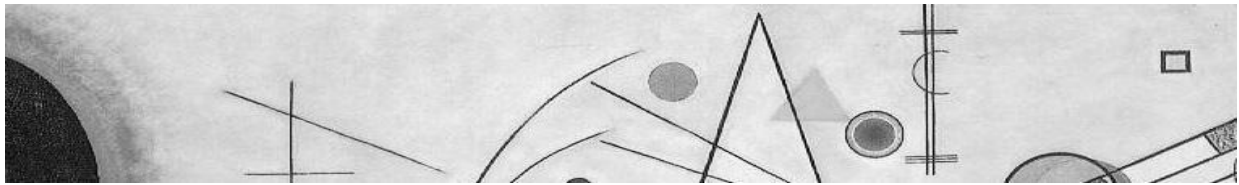
pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	S	H+Al	T	V	Al ³⁺	P	M.O.
Água (1:2,5)	mmol _c dm ⁻³							%	mmol _c dm ⁻³	mg dm ⁻³	g kg ⁻¹
4,8	14,6	7,4	0,7	3,9	26,6	39,6	66,2	40,2	2,5	2,7	10,2

Fonte: Autores.

O experimento constou de uma combinação fatorial de 4 doses de P (0, 30, 60 e 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅), na ausência e na presença do BiomaPhos®, totalizando 8 tratamentos, os quais foram repetidos 4 vezes em blocos ao acaso, perfazendo um total de 32 parcelas experimentais. Cada parcela teve uma área de 6 m x 5 m, ou seja 30 m². Foram 6 linhas espaçadas entre si por 1,0 m, tendo as linhas da bordadura uma distância de 0,5 m até o limite da parcela. Já dentro das linhas, as plantas ficaram espaçadas entre si por 0,5 m, perfazendo um total de 9 plantas por linha, onde as da bordadura tiveram também uma distância de 0,25 m até o limite da parcela. Dessa forma, cada parcela teve 54 plantas e, a área útil, 28. Cada bloco teve uma dimensão de 40 m de comprimento por 6 m de largura, ou seja, 240 m² e, a área total, 960 m².

A aplicação dos tratamentos foi realizada por ocasião da instalação do experimento. A aplicação do BiomaPhos® ocorreu através de pulverizações direcionadas aos sulcos, na concentração de 5 mL do produto para 1 L de água, utilizando-se para isso um pulverizador costal. A aplicação de P se deu através do fosfato natural reativo da marca AgroAdubo®, que contém 30% de P₂O₅. O fornecimento dos demais nutrientes essenciais se deu através da aplicação do biofertilizante líquido BioBokashi® em área total, na concentração de 2 L ha⁻¹.

A germinação ocorreu entre cinco a seis dias após a instalação do experimento. A necessidade hídrica do algodoeiro foi suprida pelas águas das chuvas que são muito abundantes na região no período de vigência da pesquisa. Para o controle das plantas espontâneas, foi feita capina mecânica



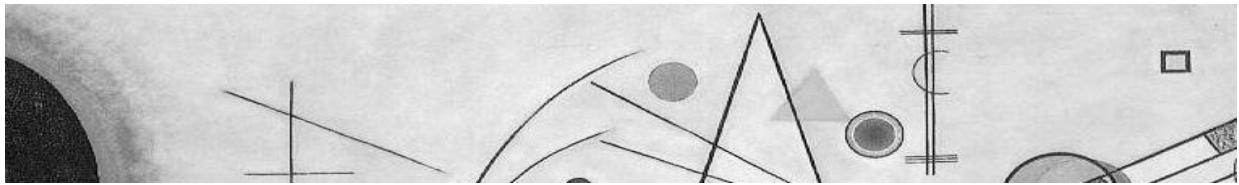
entre as linhas de plantio e capina manual entre as plantas dentro das linhas. Aos 24 dias após a germinação (DAG), ocorreu uma segunda aplicação do BiomaPhos® nas parcelas que o continham como tratamento.

Aos 64 DAG, foram coletadas folhas das plantas da área útil para a determinação do teor de P. As folhas escolhidas foram as primeiras que se apresentavam completamente expandidas a partir do ápice até a base do vegetal. Esse material foi acondicionado em sacos de papel e levados para secar em estufa de circulação de ar a mais ou menos 65° C por 48 horas, ocasião em que a massa se encontrava constante. Posteriormente, foi moído em moinho tipo Wiley e submetido à digestão sulfúrica para análise dos teores de P por espectrofotometria UV-visível.

Aos 78 DAG, foi medida a variável número de flores por planta. Aos 92 DAG, foi medida a variável altura da planta, com a ajuda de uma régua. Essa medição ocorreu do colo até o ápice da planta. Aos 142 DAG ocorreu a colheita do algodão em caroço para a obtenção da produtividade. Aos 160 DAG, foram coletadas plantas inteiras de cada parcela para a obtenção da matéria verde remanescente da parte aérea (MVRPA). Para isso, elas foram acondicionadas em sacos de papel e levadas para secar em estufa de circulação de ar a mais ou menos 65° C por 48 horas, ocasião em que a massa se encontrava constante. Todas essas variáveis foram obtidas a partir de cinco plantas por parcela.

Aos 176 DAG, foram coletadas 5 amostras simples de solo por área útil da parcela, na camada arável de 0 a 20 cm de profundidade. Essas amostras foram homogeneizadas, formando-se uma única amostra composta por unidade experimental. No laboratório, as amostras compostas sofreram extração utilizando-se a solução de Mehlich 1 para em seguida o teor de P ser lido por espectrofotometria UV-visível.

Todos os dados obtidos foram submetidos à análise estatística utilizando-se o software R Core Team R. Todas as variáveis foram submetidas à análise de variância em relação ao efeito do BiomaPhos®, do P₂O₅ bem



como da interação BiomaPhos® x P₂O₅, ao nível de 1% de probabilidade. Ao dar significativo, o fator BiomaPhos® foi submetido ao teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Já o fator P₂O₅ foi submetido à análise de regressão testando-se os modelos lineares, quadráticos e cúbicos, e escolhendo-se, entre os que deram significância ao nível de 1% de probabilidade, o de maior R².

3. Resultados e Discussões

A Tabela 2, a seguir, mostra o resumo da análise de variância (ANOVA) do efeito do BiomaPhos® e de doses crescentes de P₂O₅ na forma de fosfato insolúvel sobre o número de flores (No Flores), o teor de fósforo nas folhas (P-folha), a altura das plantas (Alt. Planta), a produção de algodão com caroço (P. c/ Car.), a produção de pluma (P. Pluma), a percentagem de pluma (% Pluma) e a matéria verde remanescente da parte aérea (MVRPA) de algodoeiro cv. BRS Aroeira, bem como o teor residual de fósforo no solo ao final do experimento (P-Solo).

Tabela 2. Resumo da ANOVA do efeito do BiomaPhos® e de doses crescentes de P₂O₅ na forma de fosfato insolúvel em área de produção orgânica de algodoeiro cv. BRS Aroeira no Assentamento Queimadas, Remígio, PB, maio a outubro de 2024.

FV	GL	Quadrados Médios							
		Nº Flores	P-Folhas	Alt. Planta	P. c/ Car.	P. Pluma	% Pluma	MVRPA	P-Solo
			(dag kg ⁻¹)	(cm)	(kg ha ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)	(%)	(g planta ⁻¹)	(mg dm ⁻³)
Bloco	3	24,07	0,006	485,78	115.886,04	20.182,20	1,36	453.496,65	1.967,09
BiomaPhos	1	5,61 ^{ns}	0,001 ^{ns}	29,65 ^{ns}	64.357,96 ^{ns}	9.195,71 ^{ns}	1,05 ^{ns}	43.173,18 ^{ns}	298,78 ^{ns}
P ₂ O ₅	3	29,67**	0,003**	208,66**	150.770,75**	23.655,58**	0,90 ^{ns}	371.593,73**	7.482,51**
BiomaPhos x P ₂ O ₅	3	1,12 ^{ns}	0,0002 ^{ns}	6,04 ^{ns}	25.238,79 ^{ns}	4.112,41 ^{ns}	0,47 ^{ns}	58.381,65 ^{ns}	114.83 ^{ns}
Erro	21	2,10	0,0003	14,52	24.128,38	4.319,84	0,81	65.795,96	800,27
CV (%)		12,40	15,73	6,46	23,31	24,23	2,21	21,29	120,42

Nº Flores: Número de flores por planta, P-Folhas: Teor de fósforo nas folhas, Alt. Planta: Altura das plantas, P. c/ Car.: Produtividade de algodão com caroço, P. Pluma: Produtividade de algodão sem caroço (pluma), % Pluma: Percentagem de pluma, MVRPA: Matéria verde remanescente da parte aérea, P-Solo: Teor de fósforo no solo.

Fonte: Autores.

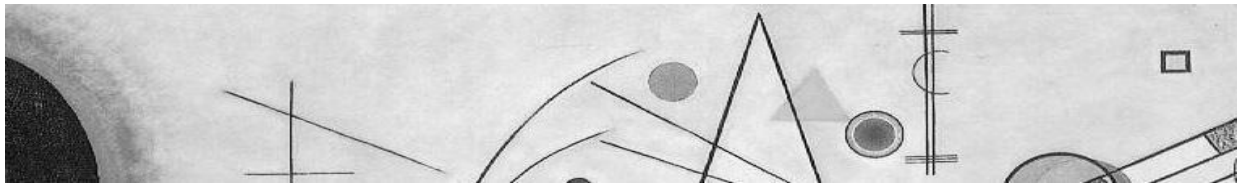


Conforme constata-se na Tabela 2, não houve efeito significativo do fator BiomaPhos® em nenhuma das variáveis de campo estudadas. Com relação ao fator doses crescentes de P_2O_5 , todas as variáveis apresentaram efeito significativo, exceto percentagem de pluma. Na interação BiomaPhos® x P_2O_5 , nenhuma variável apresentou significância. Dessa forma, as variáveis relacionadas ao crescimento, à produção, à nutrição nitrogenada e ao efeito residual da aplicação de fosfato insolúvel ao solo foram indiferentes à aplicação das bactérias solubilizadoras de fósforo nas condições ambientais da presente pesquisa. Por outro lado, com exceção da percentagem de pluma, as demais variáveis medidas no decorrer do experimento responderam às doses crescentes de P_2O_5 .

A Tabela 3, a seguir, mostra as médias referentes ao efeito do BiomaPhos® e de doses crescentes de P_2O_5 na forma de fosfato insolúvel sobre o número de flores (No Flores), o teor de fósforo nas folhas (P-folha), a altura das plantas (Alt. Planta), a produção de algodão com caroço (P. c/ Car.), a produção de pluma (P. Pluma), a percentagem de pluma (% Pluma) e a matéria verde remanescente da parte aérea (MVRPA) de algodoeiro cv. BRS Aroeira, bem como o teor residual de fósforo no solo ao final do experimento (P-Solo).

Tabela 3. Médias referentes ao efeito do BiomaPhos® e de doses crescentes de P_2O_5 na forma de fosfato insolúvel em área de produção orgânica de algodoeiro cv. BRS Aroeira no Assentamento Queimadas, Remígio, PB, maio a outubro de 2024.

Fatores	Variáveis							
	Nº Flores	P-Folhas (dag kg ⁻¹)	Alt. Planta (cm)	P. c/ Car. (kg ha ⁻¹)	P. Pluma (kg ha ⁻¹)	% Pluma (%)	MVRPA (g planta ⁻¹)	P-Solo (mg dm ⁻³)
BiomaPhos								
0 ^{1/}	11,26a	0,11a	58,05a	621,40a	254,26a	40,89a	1.168,23a	20,44a
1	12,10a	0,12a	59,98a	711,09a	288,17a	40,53a	1.241,69a	26,55a
P₂O₅ (kg ha⁻¹)								
0 ^{2/}	9,25	0,09	51,90	483,78	198,63	40,99	916,16	3,55
30	11,10	0,11	59,20	644,65	264,13	41,01	1.209,76	7,26
60	13,60	0,14	63,83	736,98	297,30	40,36	1.435,25	14,28
90	12,78	0,11	61,13	799,57	324,80	40,49	1.258,66	68,88



Nº Flores: Número de flores por planta, P-Folhas: Teor de fósforo nas folhas, Alt. Planta: Altura das plantas, P. c/ Car.: Produtividade de algodão com caroço, P. Pluma: Produtividade de algodão sem caroço (pluma), % Pluma: Percentagem de pluma, MVRPA: Matéria verde remanescente da parte aérea, P-Solo: Teor de fósforo no solo.

^{1/} 0 e 1: Na ausência e na presença, respectivamente, de BiomaPhos®.

^{2/} 0, 30, 60, e 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅ no solo, na forma de fosfato insolúvel.

Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

Fonte: Autores.

O número de flores, o teor de fósforo nas folhas, a altura das plantas, a produção de algodão com caroço, a produção de pluma, a percentagem de pluma e a matéria verde remanescente da parte aérea do algodoeiro cv. BRS Aroeira, bem como o teor residual de fósforo no solo ao final do experimento, não foram afetados pela presença do BiomaPhos® (Tabela 3). Esses resultados contrastam com vários dados de pesquisas encontrados na literatura científica, onde a utilização de BiomaPhos® proporcionou diversos efeitos positivos às culturas estudadas.

Fiuza *et al.* (2022), em experimento em cinco campos cultivados com soja durante duas safras (2019/2020 e 2020/2021) para testar a eficácia do BiomaPhos® inoculado via solos e sementes, através da avaliação do crescimento vegetativo, do estado nutricional, da produção e do carbono da biomassa microbiana, encontraram respostas positivas. Silva *et al.* (2023), estudando o desenvolvimento inicial de duas variedades de mamão – Formosa e Papaya – submetidas à aplicação de BiomaPhos® no substrato, concluíram que este insumo biológico contribui para o incremento das características morfológicas da fruteira.

Brito *et al.* (2022), estudando desenvolvimento e nutrição inicial do milho com inoculação do BiomaPhos® associado a fontes fosfatadas, encontraram efeito das fontes de P com inoculante para as variáveis: diâmetro do colo, massa seca da raiz e da parte aérea, relação parte aérea:raiz, massa seca total, P foliar, absorção de P e pH. Segundo os autores, a associação entre o inoculante solubilizador de P e fertilizantes fosfatados promoveram crescimento da biomassa radicular e alteraram a



disponibilidade e a absorção de P durante os 45 DAE da cultura do milho. O BiomaPhos® foi mais eficiente em fontes com baixa solubilidade, e seus efeitos foram nulos ou negativos com fontes de P solúveis, ou seja, os microrganismos modulam o desenvolvimento do milho, o qual teve respostas positivas do acúmulo de biomassa, teor e absorção de P em estágio V6.

A Tabela 4, a seguir, mostra as equações, os coeficientes de regressão e os pontos críticos máximos do efeito de doses crescentes de P₂O₅ na forma de fosfato insolúvel sobre o número de flores (Nº Flores), o teor de fósforo nas folhas (P-folha), a altura das plantas (Alt. Planta), a produção de algodão com caroço (P. c/ Car.), a produção de pluma (P. Pluma) e a matéria verde remanescente da parte aérea (MVRPA) de algodoeiro cv. BRS Aroeira, bem como o teor residual de fósforo no solo ao final do experimento (P-Solo).

Tabela 4 - Equações do efeito de doses crescentes de P₂O₅, na forma de fosfato insolúvel, sobre as variáveis de campo, em área de produção orgânica de algodoeiro cv. BRS Aroeira no Assentamento Queimadas, Remígio, PB, maio a outubro de 2024.

Variável	Equação	R ²	Ponto Crítico Máximo
Nº Flores	$Y = 9,05 + 0,11x - 0,00074x^2$	0,93	(74,32; 13,14)
P-Folhas	$Y = 0,0853 + 0,0015x - 0,0000x^2$	0,92	(57,68; 0,128)
Alt. Planta (cm)	$Y = 51,67 + 0,36x - 0,0028x^2$	0,98	(64,28; 63,24)
P. c/ Car. (kg ha ⁻¹)	$Y = 510,29 + 3,46x$	0,99	-
P. Pluma (kg ha ⁻¹)	$Y = 209,46 + 1,37x$	0,95	-
MVRPA (g planta ⁻¹)	$Y = 899,46 + 15,93x - 0,13x^2$	0,96	(61,27; 1.387,47)
P-Solo (mg dm ⁻³)	$Y = 5,76 - 0,596x + 0,014x^2$	0,96	-

Nº Flores: Número de flores por planta, P-Folhas: Teor de fósforo nas folhas, Alt. Planta: Altura das plantas, P. c/ Car.: Produtividade de algodão com caroço, P. Pluma: Produtividade de algodão sem caroço (pluma), % Pluma: Percentagem de pluma, MVRPA: Matéria verde remanescente da parte aérea, P-Solo: Teor de fósforo no solo.
Fonte: Autores.

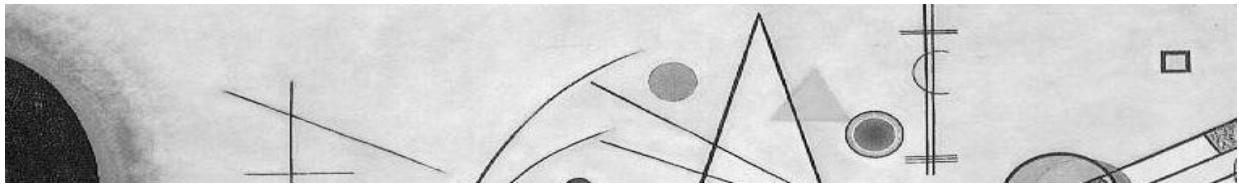


Conforme constata-se na Tabela 2, houve efeito significativo no fator doses crescentes de P_2O_5 para todas as variáveis medidas, com exceção da percentagem de pluma. A Tabela 4 apresenta os modelos matemáticos que explicam o aumento no número de flores, no teor de fósforo nas folhas, na altura das plantas, na produção de algodão com caroço, na produção de pluma e na matéria verde remanescente da parte aérea de algodoeiro cv. BRS Aroeira, bem como no teor residual de fósforo no solo ao final do experimento (P-Solo).

Conforme constata-se (Tabela 4), o número de flores, o teor de fósforo nas folhas, a altura da planta e a matéria verde remanescente da parte aérea se ajustaram a um modelo quadrático com altos coeficientes de regressão (R^2). O número de flores por planta alcançou o seu valor máximo (13,14) com a dose de $74,32 \text{ kg ha}^{-1}$ de P_2O_5 . O teor de P nas folhas alcançou o seu valor máximo ($0,128 \text{ dag kg}^{-1}$) com a dose de $57,68 \text{ kg ha}^{-1}$ de P_2O_5 . A altura da planta alcançou o seu valor máximo (63,24 cm) com a dose de $64,28 \text{ kg ha}^{-1}$ de P_2O_5 . Já a matéria verde remanescente da parte aérea alcançou o seu valor máximo ($1.387,47 \text{ g planta}^{-1}$) na dose de $61,27 \text{ kg ha}^{-1}$ de P_2O_5 .

Marcante *et al.* (2016), estudando a eficiência de absorção e utilização de fósforo por cultivares de algodão em um solo de Cerrado (Latossolo Vermelho Amarelo), encontraram que os tratamentos com P influenciaram significativamente a matéria seca da parte aérea, o acúmulo de P, a atividade específica do ^{32}P , o valor de P-lábil e de P-não lábil menos o proveniente das sementes. Os autores ainda sugerem que se pode selecionar cultivares de algodão mais eficientes em absorver e utilizar P em solos com baixa disponibilidade desse elemento às plantas.

A produção de algodão com caroço e a produção de pluma aumentaram linearmente com as doses crescentes de P_2O_5 no solo, com altos coeficientes de regressão (R^2) (Tabela 4). No entanto, esse tipo de modelo não é adequado para explicar respostas de sistemas biológicos às alterações no meio ambiente. Entende-se então que o espectro de doses de P_2O_5 estudado

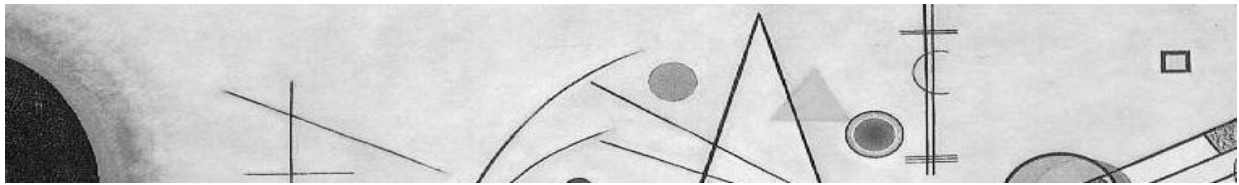


na pesquisa, entre 0 e 90 kg ha⁻¹, não foram suficientes para se atingir o modelo quadrático e obter as doses de máxima eficiência física. Sugere-se, dessa forma, que o experimento seja repetido nas mesmas condições agronômicas, mas explorando-se uma faixa maior de doses de P₂O₅ em kg ha⁻¹, uma vez que as variáveis diretamente relacionadas à produtividade são as de maior interesse para o cotonicultor.

Pereira *et al.* (2020), estudando as características agronômicas do algodão submetido a doses de aplicação de fósforo no Cerrado Piauiense, constataram que a produção de algodão em caroço foi influenciada pelas doses de P aplicadas na semeadura. A dose de 76,7 kg ha⁻¹ e de 73,25 kg ha⁻¹ de P₂O₅ proporcionam a máxima eficiência técnica (MET) e a máxima eficiência econômica (MEE), respectivamente, para a produção de algodão nessa região. A produtividade de pluma de algodão em caroço está correlacionada com o número de capulhos por planta.

Ali; Ahmad, (2021), estudando no Paquistão a eficiência e a rentabilidade agronômica do algodão no uso integrado de fósforo e micróbios vegetais, concluíram que o aumento do fósforo na planta de algodoeiro melhora a produção de fotoassimilados com reflexos diretos no crescimento e na produtividade. Batista *et al.* (2010), estudando o crescimento e a produtividade do algodão em resposta a aplicação de fósforo e métodos de irrigação, viram que a aplicação do P aumentou o número de capulhos por planta e a produtividade de algodão em caroço.

O teor residual de fósforo no solo ao final do experimento variou conforme um modelo quadrático com alto coeficiente de regressão (R²) (Tabela 4), entretanto, tal modelo também não se aplica a respostas de sistemas biológicos às variações do meio ambiente, uma vez que o coeficiente b da função quadrática foi negativo e, o coeficiente c, positivo, ficando a concavidade da curva voltada para cima (Figura 7). Esse fato ocorreu em virtude do alto coeficiente de variação (CV) encontrado para essa variável na Tabela 2 (120,42%). Na Tabela 3 observa-se que as médias



variaram de 14,28 mg dm⁻³, na dose de 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅, para 68,88 mg dm⁻³ na dose de 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

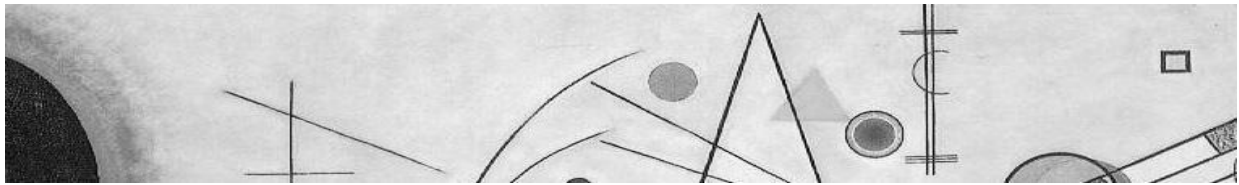
A Figura 1, a seguir, mostra o efeito de doses crescentes de P₂O₅ na forma de fosfato insolúvel sobre o número de flores, o teor de fósforo nas folhas, a altura das plantas, a produção de algodão com caroço, a produção de pluma e a matéria verde remanescente da parte aérea de algodoeiro cv. BRS Aroeira, bem como o teor residual de fósforo no solo ao final do experimento.

4. Conclusão

O número de flores, o teor de P nas folhas, a altura das plantas, a produção de algodão com caroço, a produção de pluma, a percentagem de pluma, a matéria verde remanescente da parte aérea e as características de qualidade da fibra do algodoeiro cv. BRS Aroeira, bem como o teor residual de fósforo no solo ao final do experimento, não foram afetados pela presença do BiomaPhos®.

O número de flores, o teor de P nas folhas, a altura da planta e a matéria verde remanescente apresentaram um modelo quadrático às variações das doses de P no solo, apresentando valores de 13,14; 0,128 dag kg⁻¹; 63,24 cm e 1.387,47 g planta⁻¹ com as doses de 74,32; 57,68; 64,28 e 61,27 kg ha⁻¹ de P₂O₅, respectivamente. Já a produtividade aumentou linearmente.

O espectro de doses de P₂O₅ testadas, 0 a 90 kg ha⁻¹, em intervalos de 30 kg ha⁻¹, não foi suficiente para demonstrar as respostas de produtividade da planta de algodoeiro à elevação do nível de fosfato insolúvel no solo.



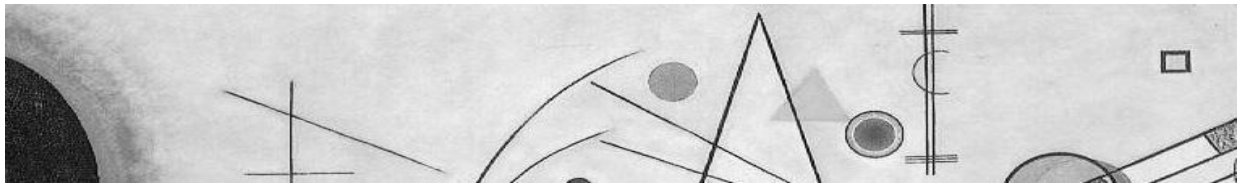
Agradecimentos

À “Rede Borborema de Agroecologia”, financiadora do Projeto “Sistemas Integrados Orgânicos para Cultivo de Algodão, Sisal, Feijão, Milho e Gergelim nos Territórios da Borborema, Agreste e Curimataú do estado Paraíba”.

À “Embrapa Algodão”, pelo suporte humano e técnico para a execução do experimento.

Ao agricultor agroecológico do Assentamento Queimadas, Remígio, PB, Paulo Duarte dos Santos, por ceder seu lote para a realização do experimento.

Ao PIBIC/CNPq/Embrapa pela concessão de bolsa de iniciação científica ao colaborador da pesquisa Kauã Souza Gouveia.



Referências

ALI, H.; AHMAD, M. I. Agronomic efficiency and profitability of cotton on integrated use of phosphorus and plant microbes, **Brazilian Journal of Biology**, v. 81, n. 2, p. 484-494, 2021.

ASCENCIO-LINO, T.; MATAMOROS-ALCÍVAR, E.; SANDOYA-SÁNCHEZ, V.; BARCOS-ARIAS, M.; NARANJO-MORÁN, J. Estudio exploratorio de bacterias solubilizadoras de fósforo en dos hábitats asociados com *Cedrela montana* Moritz ex Turcz, **Bionatura**, v. 6, n. 1, p. 1575-1578, 2021.

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

BARROSO, C. B.; OLIVEIRA, L. A. Ocorrências de bactérias solubilizadoras de fosfato de cálcio nas raízes de plantas na Amazônia brasileira, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 3, p. 575-581, 2001.

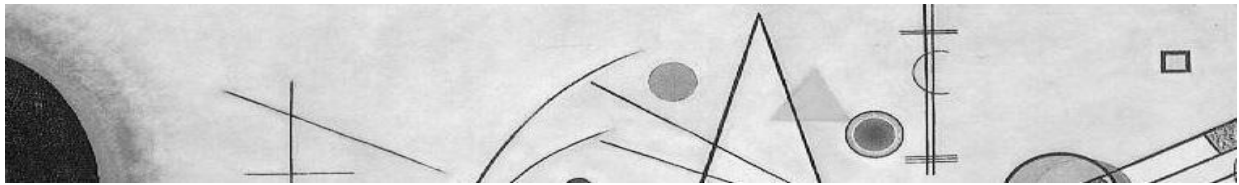
BARROTI, G.; NAHAS, E. População microbiana total e solubilizadora de fosfato em solo submetido a diferentes sistemas de cultivo, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 10, p. 2043-2050, 2000.

BATISTA, C. H.; AQUINO, L. A. de; SILVA, T. R.; SILVA, H. R. F. Crescimento e produtividade da cultura do algodoeiro em resposta a aplicação de fósforo e métodos de irrigação, **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 4, n. 4, p. 197-206, 2010.

BRITO, L. E. M.; REZENDE, A. L. A. da; SILVA, C. O. C. da; SILVA, H. D. da; SILVA, C. D. R. da; LUZ, J. H. S. da. Desenvolvimento e nutrição inicial do milho com inoculação do BiomaPhos® associado a fontes fosfatadas, **Revista Agri-Environmental Sciences**, v. 8, e022010, 2022.

CARNEIRO, R. G.; MENDES, I. de C.; LOVATO, P. E.; CARVALHO, A. M. de; VIVALDI, L. J. Indicadores biológicos associados ao ciclo do fósforo em solos de Cerrado sob plantio direto e plantio convencional, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 7, p. 661-669, 2004.

CISNEROS-ROJAS, S. A.; SÁNCHEZ de PRAGER, M.; MENJIVAR-FLORES, J. C. Efecto de bacterias solubilizadoras de fosfatos sobre el desarrollo de plántulas de café, **Agronomía Mesoamericana**, v. 28, n. 1, p. 149-158, 2017.



EMBRAPA. **Live debate a produção de algodão orgânico em consórcios agroalimentares no Semiárido**. Brasília: Embrapa, 2020.

FERNÁNDEZ, L. A.; ZALBA, P.; GÓMEZ, M. A.; SAGARDOY, M. A. Bacterias solubilizadoras de fosfato inorgánico aisladas de suelos de la región sojera, **Ciencia del Suelo**, v. 23, n. 1, p. 31-37, 2005.

FIUZA, D. A. F.; VITORINO, L. C.; SOUCHIE, E. L.; RIBEIRO NETO, M.; BESSA, L. A.; SILVA, C. F. da; TROMBELA, N. T. Effect of rhizobacteria inoculation via soil and seeds on *Glycine max* L. plants grown on soils with different cropping history, **Microorganisms**, v. 10, 691, 2022.

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, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 5, n. 11, p. 1880-1889, 2016.

MANZOOR, M.; ABBASI, M. K.; TARIQ, S. Isolation of phosphate solubilizing bacteria from maize rhizosphere and their potential for rock phosphate solubilization–mineralization and plant growth promotion, **Geomicrobiology Journal**, v. 34, n. 1, p. 81-95, 2017.

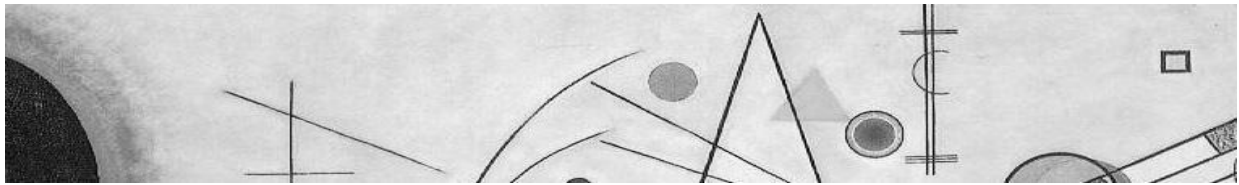
MARCANTE, N. C.; MUROAKA, T.; BRUNO, I. P.; CAMACHO, M. A. Phosphorus uptake and use efficiency of different cotton cultivars in savannah soil (Acrisol), **Acta Scientiarum**, v. 38, n. 2, p. 239-247, 2016.

OLIVEIRA, C. A. de et al. **Viabilidade técnica e econômica do BiomaPhos® (*Bacillus subtilis* CNPMS B2084 e *Bacillus megaterium* CNPMS B119) nas culturas de milho e soja**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2020.

PADRON, I.; TORRES-RODRIGUEZ, D. G.; CONTRERAS-OLMOS, J.; LOPÉZ, M.; COLMENARES, C. Aislamientos de cepas fijadoras de nitrógeno y solubilizadoras de fósforo en un suelo alfisol venezolano, **Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas**, v. 3, n. 2, p. 285-297, 2018.

PATÍÑO-TORRES, C.; SÁNCHEZ de PRAGER, M. Aislamiento e identificación de bacterias solubilizadoras de fosfato, habitantes de la rizosfera de chontaduro (*batris gasipaes* Kunth), **Biotechnologia en el Sector Agropecuario y Agroindustrial**, v. 10, n. 2, p. 177-187, 2012.

PEREIRA, F. F.; RATKE, R. F.; ZUFFO, A. M.; SOUSA, W. P. de; ALMEIDA, F. A. de; PETTER, F. A. Características agrônômicas do algodão submetido a



épocas e doses de aplicação de fósforo no Cerrado Piauiense, **Revista Cultura Agrônômica**, v. 29, n. 1, p. 11-21, 2020.

PEREIRA, H. S. Fósforo e potássio exigem manejos diferenciados, **Visão Agrícola**, n. 9, 2009, 4 p.

SÁNCHEZ-LÓPEZ, D. B.; GARCÍA-HOYOS, A. M.; ROMERO-PERDOMO, F. A.; BONILLA-BUITRAGO, R. R. Efecto de rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal solubilizadoras de fosfato en Lactuca sativa cultivar White Boston, **Revista Colombiana de Biotecnología**, v. 16, n. 2, p. 122-128, 2014.

SÁNCHEZ-LÓPEZ, D. B.; ROMERO-PERDOMO, F. A.; BONILLA-BUITRAGO, R. R. Respuesta de *Physalis peruviana* L. a la inoculación con bacterias solubilizadoras de fosfato, **Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas**, v. 5, n. 5, p. 901-906, 2018.

SCHACHTMAN, D. P.; REID, R. J.; AYLING, S. M. Phosphorus uptake by plants: from soil to cell, **Plant Physiology**, v. 116, n. 2, p. 447-453, 1998.

SILVA, F. L. da; MEDEIROS, F. D. E. de; PIOVESAN, J. C. G.; ROSA, M. F.; LEÃO, E. U. Desenvolvimento inicial de variedades de mamão com insumos biológicos, **Revista Agri-Environmental Sciences**, v. 9, e023012, 2023.

SUN, W.; QIAN, X.; GU, J.; WANG, X. J.; LI, Y.; DUAN, M. L. Effects of inoculation with organic-phosphorus-mineralizing bacteria on soybean (*Glycine max*) growth and indigenous bacterial community diversity, **Canadian Journal of Microbiology**, v. 63, n. 5, p. 392-401, 2017.

YFRAN-ELVIRA, M. de las M.; FERNÁNDEZ-LÓPEZ, C.; MARTÍNEZ, G. C.; COLLAVINO, M. M. Análisis del efecto de bacterias solubilizadoras nativas sobre la movilización de fósforo en suelos rojos argentinos y su absorción em naranjo, **Ciencia del Suelo**, v. 33, n. 1, p. 45-53, 2015.