

A IMPORTÂNCIA DOS MICRORGANISMOS BENÉFICOS PARA A DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO NO SOLO EM CULTIVO DE ARROZ¹

THE IMPORTANCE OF BENEFICIAL MICROORGANISMS FOR PHOSPHORUS AVAILABILITY IN SOIL IN RICE CULTIVATION

João Batista Simões Neto ²

Kamilla Rasmussem Mendonça ³

Izabely Vitória Lucas Ferreira⁴

RESUMO

O arroz desempenha um papel crucial na agricultura brasileira, sendo produzido principalmente no Rio Grande do Sul e consumido como fonte essencial de nutrientes em muitas partes do mundo. Além do mais, a absorção de fósforo pelas plantas é fundamental para seu crescimento e desenvolvimento. O objetivo da pesquisa foi avaliar o desenvolvimento das mudas de arroz, com aplicação de microrganismos em diferentes níveis de fósforo. Assim, foram realizados dois experimentos, onde o primeiro verificou-se se as bactérias realizam a solubilização de fósforo e o segundo em casa de vegetação com mudas de arroz, onde utilizaram as bactérias de forma isolada com a aplicação do nutriente. Foram utilizados quatro formas de aplicação de microrganismos, como o controle (sem microrganismo), BRM 32111 (*Burkholderia sp.*), BRM 63523 (*Serratia sp.*) e BRM 65928 (*Bacillus thuringiensis*) em três diferentes níveis de adubação fosfatada (100%, 50% e 0%), com cinco repetições de cada. As análises realizadas foram altura da parte aérea, biomassa da parte aérea e raiz, no winrhizo foi realizado a medição do comprimento, diâmetro e volume. Os resultados mostram que todas as bactérias fazem solubilização em fósforo, porém utilizadas de formas separadas, a dose de 50% obteve resultados promissores. Concluindo a utilização de rizobactérias promotoras de crescimento de plantas é uma alternativa biotecnológica que pode contribuir para produção de alimentos de forma mais sustentável.

Palavras-chave: Agricultura; *Oryza sativa* ; Fósforo; Microrganismos benéficos; Sustentabilidade.

ABSTRACT

Rice plays a crucial role in Brazilian agriculture, being produced mainly in Rio Grande do Sul and consumed as an essential source of nutrients in many parts of the world. Furthermore, the absorption of phosphorus by plants is essential for their growth and development. The objective of the research was to evaluate the development of rice seedlings, with the application of microorganisms at different levels of phosphorus.

¹ Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Inhumas FacMais, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Agronomia, no segundo semestre de 2023.

² Acadêmico (a) do 10º Período do curso de Agronomia pela Faculdade de Inhumas. E-mail: joaobatista@aluno.facmais.edu.br

³ Acadêmico (a) do 10º Período do curso de Agronomia pela Faculdade de Inhumas. E-mail: kamillamendonca@aluno.facmais.edu.br

⁴ Professor (a) -Orientador (a). Mestre em Biotecnologia aplicada à agropecuária. Docente da Faculdade de Inhumas. E-mail: izabelyvitorialucas@facmais.edu.br

Thus, two experiments were carried out, where the first verified whether the bacteria carried out phosphorus solubilization and the second in a greenhouse with rice seedlings, where they used the bacteria in isolation with the application of the nutrient. Four forms of application of microorganisms were used, such as control (without microorganism), BRM 32111 (*Burkholderia sp.*), BRM 63523 (*Serratia sp.*) and BRM 65928 (*Bacillus thuringiensis*) at three different levels of phosphate fertilizer (100%, 50% and 0%), with five repetitions of each. The analyzes carried out were height of the shoot, biomass of the shoot and root; in winrhizo, length, diameter and volume were measured. The results show that all bacteria solubilize in phosphorus, but when used separately, the 50% dose obtained promising results. In conclusion, the use of rhizobacteria that promote plant growth is a biotechnological alternative that can contribute to food production in a more sustainable way.

Keywords: Agriculture; *Oryza sativa*; Phosphor; Beneficial microorganisms; Sustainability.

1 INTRODUÇÃO

O arroz no Brasil produz um terço de grãos derivados de lavouras cultivadas nos sistemas de terras altas e irrigado, se destaca pela produção e área plantada, desempenhando papel estratégico tanto econômico quanto social, tendo como principal produtor o estado do Rio Grande do Sul. É o alimento básico de várias pessoas do mundo, por ser fonte de energia devido à alta concentração de amido, oferecendo proteínas, vitaminas, minerais e possuindo baixo teor de lipídios. No Brasil, o consumo per capita é de 108g por dia, fornecendo 14% dos carboidratos, 10% das proteínas e 0,8% dos lipídios da dieta (KENNEDY et al.; 2002).

A cultura do arroz tem a capacidade de se desenvolver em diferentes condições de clima e solo. O cereal é exigente em umidade do solo e só se desenvolve normalmente quando sujeito a longos períodos de luz e temperatura adequadas. Com o modelo de Zoneamento Agrícola de Risco Climático (modelo agroclimático ZARC), é possível identificar as datas de plantio mais favoráveis por níveis de riscos, a partir de análises térmicas e hídricas (MAPA, 2021). O arroz de terras altas ou arroz de sequeiro é plantado em áreas com maior disponibilidade de chuva ou em sistema de irrigação. Este cultivo abrange lavouras tanto mecanizadas como pequenas e de subsistência. Por isso, a importância de escolher a melhor cultivar para cada ecossistema.

Os solos do Cerrado são importantes por sua diversidade química e física; além da sua capacidade de interagir com as culturas cultivadas nessa região. Essa interação entre o solo e as plantas é essencial para entender a notável resiliência e adaptação das culturas agrícolas no Cerrado. Uma prática que vem sendo aplicada é o uso de microrganismos benéficos, que desempenham um papel fundamental na melhoria da produtividade agrícola e na promoção da sustentabilidade dos sistemas de cultivo.

Esses microrganismos benéficos, incluindo bactérias fixadoras de nitrogênio, micorrizas e outros grupos de organismos do solo, desempenham um papel fundamental na facilitação do acesso das plantas a nutrientes que, de outra forma, seriam de difícil acesso. Através de complexas interações simbióticas, esses microrganismos ajudam a tornar disponíveis elementos essenciais, como nitrogênio, fósforo e micronutrientes, às plantas hospedeiras.

Com o intuito de reduzir os impactos ambientais adversos associados a essa prática. Ao investigar se esses microrganismos podem agir como agentes

facilitadores na absorção de nutrientes para as plantas, almeja-se promover uma agricultura mais sustentável, contribuindo para a conservação dos recursos naturais e a preservação do meio ambiente. O principal objetivo deste estudo é avaliar a capacidade dos microrganismos benéficos em mobilizar e disponibilizar os nutrientes presentes no solo para as plantas cultivadas, com diferentes níveis de aplicação de fósforo. Essa pesquisa tem como foco central a redução da dependência de fertilizantes químicos na agricultura.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 A cultura do Arroz

O arroz (*Oryza sativa*) é um dos cereais mais produzidos e consumidos no mundo, caracterizando-se como principal alimento para mais da metade da população mundial. Sua importância é destacada principalmente em países em desenvolvimento, tais como o Brasil, desempenhando papel estratégico em níveis econômico e social. A produção anual de arroz é de aproximadamente 606 milhões de toneladas. Nesse cenário, o Brasil participa com 13.140.900t (2,17% da produção mundial) e destaca-se como único país não-asiático entre os 10 maiores produtores (FAO, 2006).

Segundo Santos (2021), a cultura do arroz desempenha um papel de extrema relevância em diversas economias agrícolas, é o segundo cereal mais cultivado no mundo, superado apenas pelo milho, e seguido pelo trigo; ao contrário de outros cereais, o arroz é consumido quase que exclusivamente por humanos; é um alimento em que o grão sai do campo e é consumido praticamente sem processo de industrialização.

A cultura do arroz é dividida em dois ecossistemas: o de várzeas e o de terras altas. O ecossistema de várzeas é irrigado por inundação controlada e é mais comum na região Sul do Brasil. O ecossistema de várzeas é irrigado por inundação controlada. Por outro lado, o ecossistema de terras altas abrange a prática de cultivo em áreas sem irrigação permanente, utilizando tanto cultivo de sequeiro quanto irrigação suplementar por aspersão (Santos, 2021).

O sistema radicular é o órgão que desempenha as funções de absorção de água, nutrientes e de fixação da planta. Podem apresentar outras funções como, armazenamento de substâncias de reserva, propagação e dispersão, nicho para simbioses e organismos livres associados, produção de metabólitos secundários e síntese de reguladores vegetais. O sistema radicular possui relação importante com o solo, e este fornece os meios para desenvolvimento das raízes bem como da parte aérea das plantas (Raven et al., 1996).

Os estudos para avaliar a distribuição, o volume e a massa radicular das culturas no solo são importantes para o manejo agrícola. Essa análise proporciona otimizar práticas culturais essenciais, incluindo estratégias de adubação, a implementação de irrigação localizada e a realização de subsolagem (Neves et al., 1998; Carvalho et al., 1999; Machado; Coelho, 2000).

2.2 Adubação e Solubilização de fósforo

O fósforo (P) desempenha um papel fundamental em processos metabólicos essenciais. Ele está envolvido em importantes funções, como a fotossíntese, a respiração, a transferência de genes e processos relacionados à transferência de energia. Além disso, o fósforo auxilia na síntese de macromoléculas e na absorção

ativa de nutrientes, interagindo de maneira significativa com outros elementos. Essas interações podem impactar a disponibilidade do fósforo no solo e, por consequência, na nutrição das plantas (Bull et al., 2004; Barbosa et al., 2015).

A falta de fósforo nas plantas manifesta-se por um amarelamento nas extremidades e na nervura central das folhas. Essa deficiência resulta em um porte reduzido das plantas, pois o fósforo está diretamente ligado à função estrutural, à transferência e ao armazenamento de energia. Plantas carentes desse elemento exibem caules finos, folhas pequenas e um crescimento lateral limitado (Sichocki et al., 2014). O fósforo é classificado como um dos macronutrientes necessários em menor quantidade pelas plantas. No entanto, é amplamente utilizado em práticas de adubação devido à escassez desse elemento nos solos brasileiros. A carência de fósforo é evidente devido à sua significativa interação com o solo, resultando em fixação intensa (Schumacher; Ceconi; Santana, 2004).

Segundo a literatura, a disponibilidade de fósforo (P) está associada ao grau de labilidade desse elemento no solo, influenciado pelas interações que o P sofre na fração coloidal do solo. Quando o P está presente em solução ou exibe baixa adsorção, é considerado labil, enquanto a sua forte adsorção aos colóides, especialmente nas argilas e nos óxidos de Fe e Al, o classifica como não labil. À medida que os processos de intemperismo atuam no solo durante seu processo de formação, observa-se uma redução nas formas labis de P e um aumento nas formas não labis (Cross; Schlesinger, 1995).

Dentre os macronutrientes primários, o fósforo é disponibilizado em diversas fontes na forma de adubação fosfatada, variando em solubilidade e teores. No cenário agrícola brasileiro, os fosfatos de alta reatividade constituem mais de 90% do P₂O₅ utilizado. Estes fosfatos demonstram eficiência agrônômica significativa em curto prazo e em elevado custo por unidade (Santos; Gatiboni; Kaminski, 2008; Frandoloso et al., 2010). As formas de adubação fosfatada convencionais baseiam-se na aplicação de fertilizantes químicos de alto custo, o que requer a aplicação de doses superiores às necessárias ao crescimento da planta, tendo em vista que cerca de 90% do fósforo aplicado é rapidamente adsorvido nas partículas de argila (Gonçalves et al., 1985). Na intenção de minimizar os gastos com a aplicação de fósforo, existe a possibilidade da utilização de fosfatos naturais, que tem como empecilho o fato de apresentarem baixa solubilidade.

Semelhante a outros nutrientes do solo, o fósforo pode passar por processos de adsorção e competição por sítios de absorção com outros compostos químicos presentes no solo. Esse fenômeno está inteiramente relacionado ao tipo de solo, ao seu estado nutricional, às condições ambientais, aos processos de intemperismo e à matéria orgânica presente no solo (Rheinheimer, 2000).

2.3 Microrganismos benéficos

Os microrganismos benéficos vêm desempenhando um papel essencial na absorção e disponibilização de nutrientes presente no solo de difícil acesso, um exemplo disso são as bactérias que possuem a capacidade de secretar enzimas, como a fosfatase que quebram as ligações de fósforo das moléculas orgânicas ou minerais do solo. A visão de sustentabilidade engloba aspectos como, redução do uso de insumos sintéticos e aumento do uso de produtos microbianos, que são ecologicamente corretos, minimizando os custos de produção e risco de impacto ambiental negativo, o que assim, garante quantidade e qualidade na produção de alimentos (Mattos et al., 2006).

Estes microrganismos benéficos como bactérias promovem o crescimento e desenvolvimento vegetal das culturas. São complementos sustentáveis para aumentar a eficiência na produção de alimentos (Isawa et al., 2010). Essa interação entre microrganismos e plantas pode envolver processos como fixação de nitrogênio, liberação de nutrientes no solo e resistência a doenças.

Microrganismos benéficos, como as rizobactérias, apresentam atividades benéficas que possibilitam interações com as plantas por meio de mecanismos tanto diretos quanto indiretos. Essa interação funciona como uma alternativa estratégica para promover a intensificação sustentável nos sistemas agrícolas (Glick et al., 1995; Bulgarelli et al., 2013; Steffen et al., 2018). As bactérias solubilizadoras de fosfato contribuem ativamente no ciclo do fósforo, aumentando assim a biodisponibilidade deste elemento para absorção pelas plantas (Mardad et al., 2013).

O gênero *Burkholderia* sp. possui diversas propriedades que favorecem o crescimento vegetal, entre elas a capacidade de solubilizar fosfatos (Sharma et al., 2013). De acordo com Finkel et al. (2019), as bactérias desse gênero podem induzir efeitos benéficos nas plantas em situações de baixa disponibilidade de P no solo, atenuando o estresse nutricional. As bactérias solubilizadoras de fosfato pertencentes ao gênero *Burkholderia* sp. são capazes de mobilizar P a partir de fontes pouco solúveis, mediante a produção de ácidos orgânicos, o que representa uma alternativa promissora para aumentar a disponibilidade de P na compostagem por meio de processos biotecnológicos (Alori et al., 2017; Zhan et al., 2021).

O gênero *Serratia* sp. é um importante recurso biotecnológico com potencial para ser utilizado como biofertilizante em solos carentes de P, solubilizando grandes quantidades de fosfato insolúvel (Ludueña et al., 2017). Entre os principais microrganismos solubilizadores de fósforo estão as rizobactérias do gênero *Bacillus* (Saeid et al., 2019). Segundo Liu et al. (2021), várias cepas de *Bacillus thuringiensis* promovem a solubilização de compostos insolúveis de $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, FePO_4 e AlPO_4 . A aplicação de *B. cereus* e *B. thuringiensis* pode influenciar positivamente no crescimento das plantas, ao solubilizar depósitos de fosfato acumulados no solo na forma insolúvel ou indisponível para as plantas (Izydorczyk et al. 2022).

3 METODOLOGIA

3.1 Projeto experimental

Os experimentos foram conduzidos na Embrapa Arroz e Feijão, localizada no município de Santo Antônio de Goiás, Brasil, em setembro de 2023. Três microrganismos foram empregados: *Bacillus thuringiensis* (BRM 65928), *Burkholderia* sp. (BRM 32111) e *Serratia* sp. (BRM 63523). A cultivar BRS A504 CL (terras altas) foi utilizada no estudo. O delineamento adotado para todos os testes foi inteiramente casualizado.

No laboratório foi realizado o ensaio bioquímico, onde foram observados a solubilização de fósforo nas placas contendo as bactérias, portanto, foram utilizadas três repetições para cada isolado sendo os tratamentos T1 a combinação da (BRM 65928 + BRM 32111), T2 (BRM 63523 + BRM 32111), T3 (BRM 32111), T4 mix com os três isolados (BRM 65928 + BRM 32111 + BRM 63523), T5 (BRM 63523) e T6 (BRM 63523 + BRM 65928).

Durante a segunda parte, o experimento foi conduzido em casa de vegetação. O solo foi obtido na Embrapa arroz e feijão onde ele foi realizado a análise do solo (Figura 01) e as recomendações foram realizadas de acordo com a necessidade de aplicação de fósforo.

Figura 01. Quadro sobre análise de solo

Análise de solo										
CaCl ₂	cmolc/ dm ³					mg/dm ³		CTC	%	g/dm ³
pH	Ca	Mg	Al	H+Al	k	P	Zn		Sat. Base	M.O.
5,1	2,5	0,8	0,0	2,7	0,4	1,4	1,4	6,4	57,6	24,0

Fonte: Arquivo pessoal (2023).

Foram utilizados quatro microrganismos, como: controle, BRM 32111, BRM 63523 e BRM 65928 em três diferentes níveis de adubação fosfatada (100%, 50% e 0%) cada. Estabelecendo 12 tratamentos com e sem a aplicação de microrganismos em diferentes níveis de adubação fosfatada (Tabela 01).

Tabela 01. Descrição dos tratamentos

Tratamentos	Descrição
1	Arroz + BRM 32111 + 0% de fósforo
2	Arroz + BRM 32111 + 50% de fósforo
3	Arroz + BRM 32111 + 100% de fósforo
4	Arroz + BRM 63523 + 0% de fósforo
5	Arroz + BRM 63523 + 50% de fósforo
6	Arroz + BRM 63523 + 100% de fósforo
7	Arroz + BRM 65928 + 0% de fósforo
8	Arroz + BRM 65928 + 50% de fósforo
9	Arroz + BRM 65928 + 100% de fósforo
10	Arroz + Controle + 0% de fósforo
11	Arroz + Controle + 50% de fósforo
12	Arroz + Controle + 100% de fósforo

**Burkholderia sp.* (BRM 32111), *Serratia sp.* (BRM 63523), *Bacillus thuringiensis* (BRM 65928) e Controle (Sem microrganismo) com 0% de fósforo; 50% de fósforo; 100% de fósforo.

Fonte: Arquivo pessoal (2023).

3.2 Experimento em laboratório

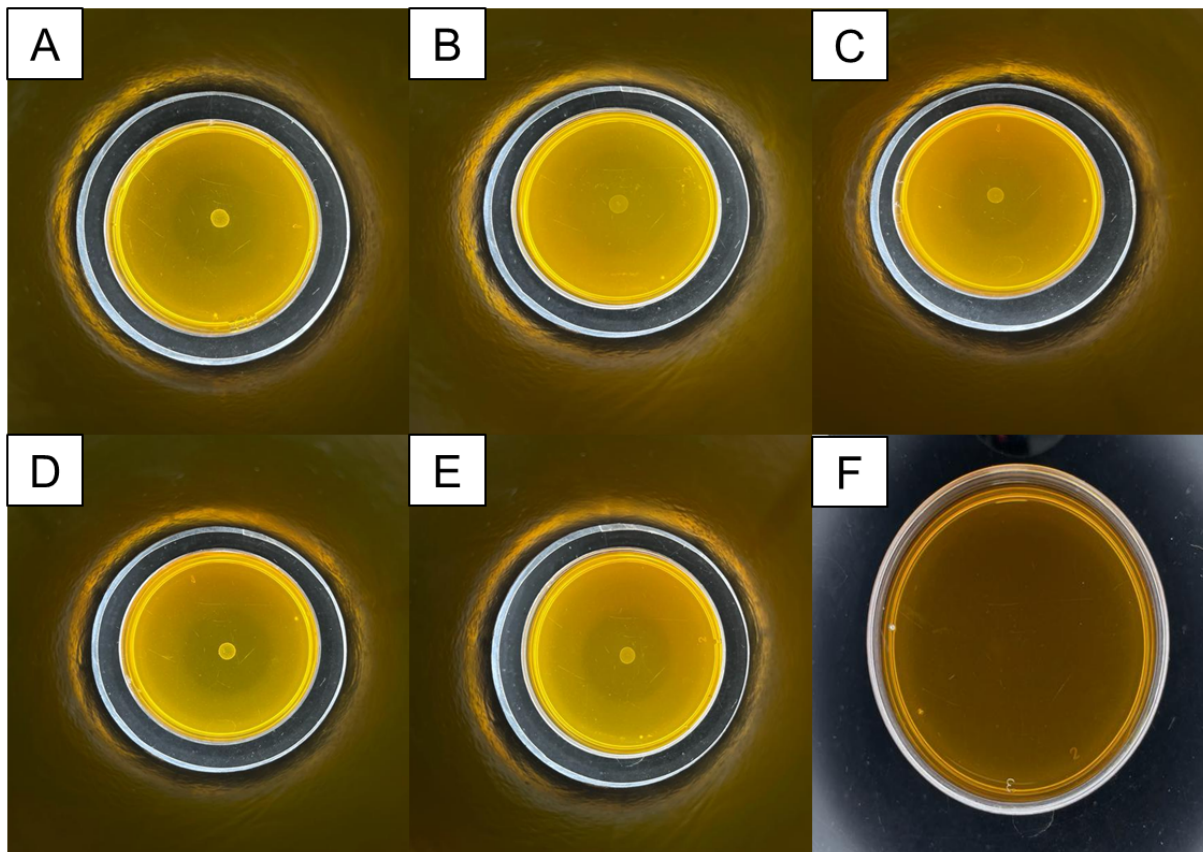
3.2.1 Análise bioquímica

Conforme o método de Sylvester-Bradley et al. (1982), foi adicionado fosfato insolúvel ao meio de cultura da seguinte maneira: Foram preparadas duas soluções, uma de K₂HPO₄ a 10% em 100 mL, e outra de CaCl₂ a 10% em 50 mL, as quais foram autoclavadas separadamente. Essas soluções foram então adicionadas a 850 mL do meio de cultivo NBRIP (glicose (10g), MgCl₂·6H₂O (5g), MgSO₄ (0,25g), KCl (0,2g), (NH₄)₂SO₄ (0,1g), ágar (15g), água destilada (1L), pH 7,0).

A composição do meio NBRIP era a seguinte: Após a preparação do meio, foram transferidos 5 microlitros das suspensões bacterianas para o centro das placas de Petri que continham o meio NBRIP com CaHPO₄. A formação de um halo ao redor da colônia foi observada como um indicativo da solubilização do fosfato (figura 02). A avaliação foi realizada após 7 dias, medindo o diâmetro do halo (DH). O potencial de solubilização de fósforo pelas rizobactérias foi classificado de acordo com Silva Filho e Vidor (2000) em três classes: isolados com baixo potencial de

solubilização ($ISF < 2$), com médio potencial de solubilização ($2 < ISF < 3$) e com alto potencial de solubilização ($ISF > 3$).

Figura 02. Formação do halo ao redor da colônia, como indicativo de solubilização de fósforo.



Legenda: A- BRM 63523 (*Serratia sp.*), B- BRM 32111 (*Burkholderia sp.*), C- mix (BRM 63523 + BRM 32111 + BRM 65928), D- BRM 63523 + BRM 65928, E- BRM 63523 + BRM 32111 e F (controle). Sendo que a BRM 65928 é o *Bacillus thuringiensis*.

Fonte: Arquivo pessoal (2023).

3.3 Experimento em casa de vegetação

3.3.1 Sanitização das sementes

Desinfestação das sementes: uma solução de hipoclorito de sódio a 7,5% (volume/volume) para imersão das sementes por 7 minutos. Em seguida, imersas em álcool a 70% (volume/volume) por 5 minutos. Após, as sementes foram lavadas três vezes (1 min) em água destilada. As sementes foram espalhadas sobre papel filtro dentro de uma câmara de fluxo laminar para secagem (Nascente et al., 2023).

3.3.2 Preparo das suspensões de microrganismos

Para realizar o preparo das suspensões com microrganismos bacterianos foram cultivados em meio líquido (caldo nutriente) (Kado & Heskett, 1970), em incubadora agitadora a 155 rpm (rotação por minuto), por 24 horas a 28°C. As concentrações de cada microrganismos foram ajustadas em espectrofotômetro a uma absorbância de 0,7 em comprimento de onda (abs) 540 nm (nanômetro), ajustando-se a 1×10^8 unidades formadoras de colônia (UFC) por mL. As sementes

foram imersas nas suspensões de células de cada bactéria para a microbiolização, e o controle imerso em água, durante 24 horas a temperatura de 25 °C, sob agitação constante de 155 rpm, de acordo com metodologia proposta por Filippi et al. (2011).

Após o término do período de incubação, as sementes foram retiradas da suspensão. Uma vez retiradas, as sementes foram novamente deixadas em placa de petri com papel toalha para secagem, garantindo que os microrganismos colonizadores permanecessem aderidos a elas.

3.3.3 Plantio

As unidades experimentais foram compostas por 5 copos de 500g, com o solo adubado com diferentes níveis de fósforo (0%, 50% e 100%) onde foram semeadas cinco sementes microbiolizadas de arroz da cultivar A504 por copo. Permanecendo em ambiente controlado com temperatura entre 28°C e 32°C em casa de vegetação sob irrigação diária por 40 dias.

3.4 Avaliações

Para avaliar a atividade solubilizadora dos microrganismos em laboratório, foram realizadas medidas do diâmetro do halo de inibição do crescimento bacteriano e do diâmetro da colônia bacteriana, utilizando um paquímetro digital. Os resultados foram mensurados para quantificação de acordo com a equação: Índice de solubilização em milímetros e submetidos à análise estatística.

Para as avaliações em casa de vegetação, as plantas foram coletadas do solo com cuidado para preservar sua integridade e lavadas para remover as partículas de solo aderidas às raízes e folhas. Em seguida, foram separadas em parte aérea (PA) e radicular. Na PA foram medidas as altura das plantas e colocadas na balança para determinar a massa fresca e a massa seca foi obtida após secar as plantas em uma estufa de ar forçado a 60 °C por 72 horas e pesadas novamente. As imagens das raízes das plântulas de arroz foram analisadas pelo software WinRHIZO 2008, que permitiu calcular o comprimento, diâmetro e o volume das raízes.

3.5 Análise Estatística

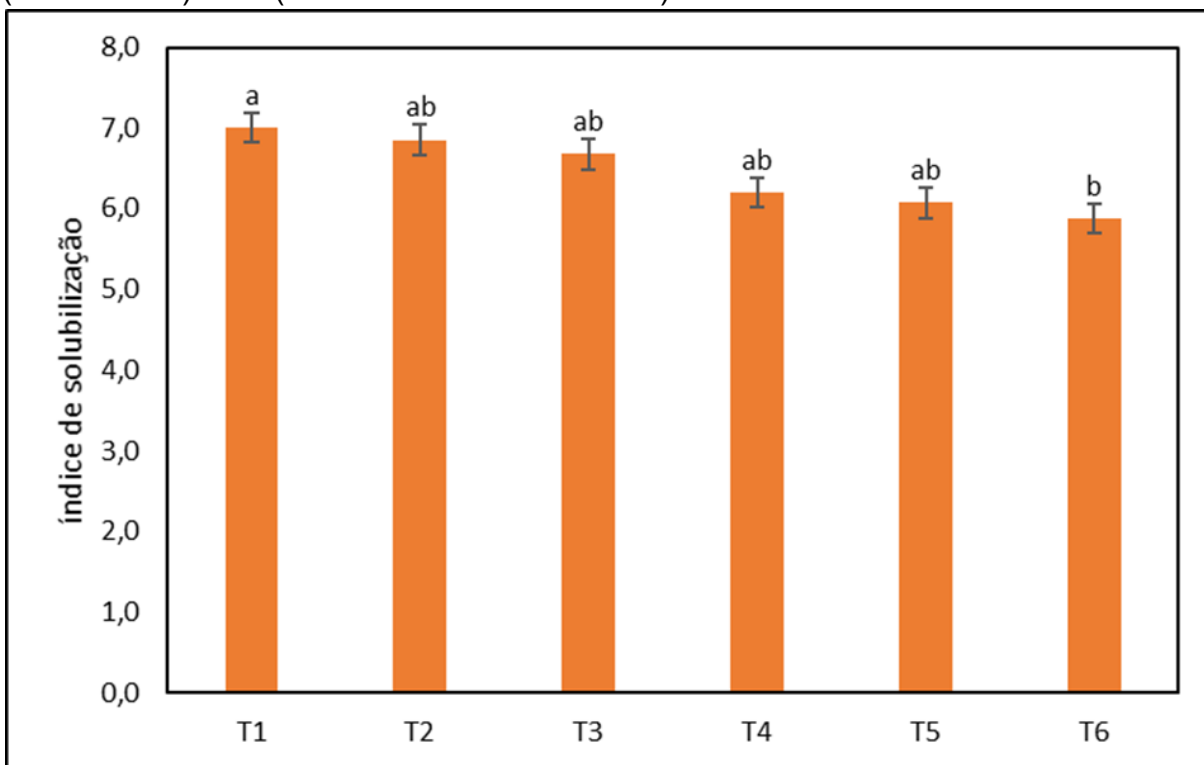
Na casa de vegetação o experimento foi inteiramente casualizado com um fatorial duplo com quatro microrganismos e 3 formas de aplicação de doses. A análise de variância foi aplicada aos dados obtidos e, em caso de diferença significativa, as médias foram submetidas ao Teste de Scott Knott ($p < 0,05$) para verificar a existência de agrupamentos homogêneos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao realizar a primeira análise, no laboratório da Embrapa, observou-se que os resultados foram significativos para todos os microrganismos, com exceção para o tratamento seis, pois seu valor foi menor, comparado aos demais. Os demais tratamentos isolados revelaram ser eficientes na solubilização de fósforo. Os tratamentos do T1 ao T5 foram estatisticamente iguais (Gráfico 01), porém o tratamento T1(BRM 65928 + BRM 32111) mostrou-se bem promissor, e segundo Chin et al. (1999), é comum encontrar bactérias do gênero *Bacillus* em solos de arrozais, sendo que as espécies de *Bacillus* são componentes numericamente significativos na comunidade microbiana do solo. E segundo Viana et al. (2017) em sua pesquisa identificou que as cepas do gênero *Burkholderia* obtidas da cultura de

arroz mostram potencial para controlar o crescimento de fungos fitopatogênicos, o que pode resultar em uma melhoria na produtividade da cultura.

Gráfico 01. Índice de solubilização de fósforo realizado nas placas, em função da aplicação dos microrganismos T1(BRM 65928 + BRM 32111), T2 (BRM 63523 + BRM 32111), T3 (BRM 32111), T4(BRM 65928 + BRM 32111+ BRM 63523), T5 (BRM 63523) e T6 (BRM 63523 + BRM 65928).

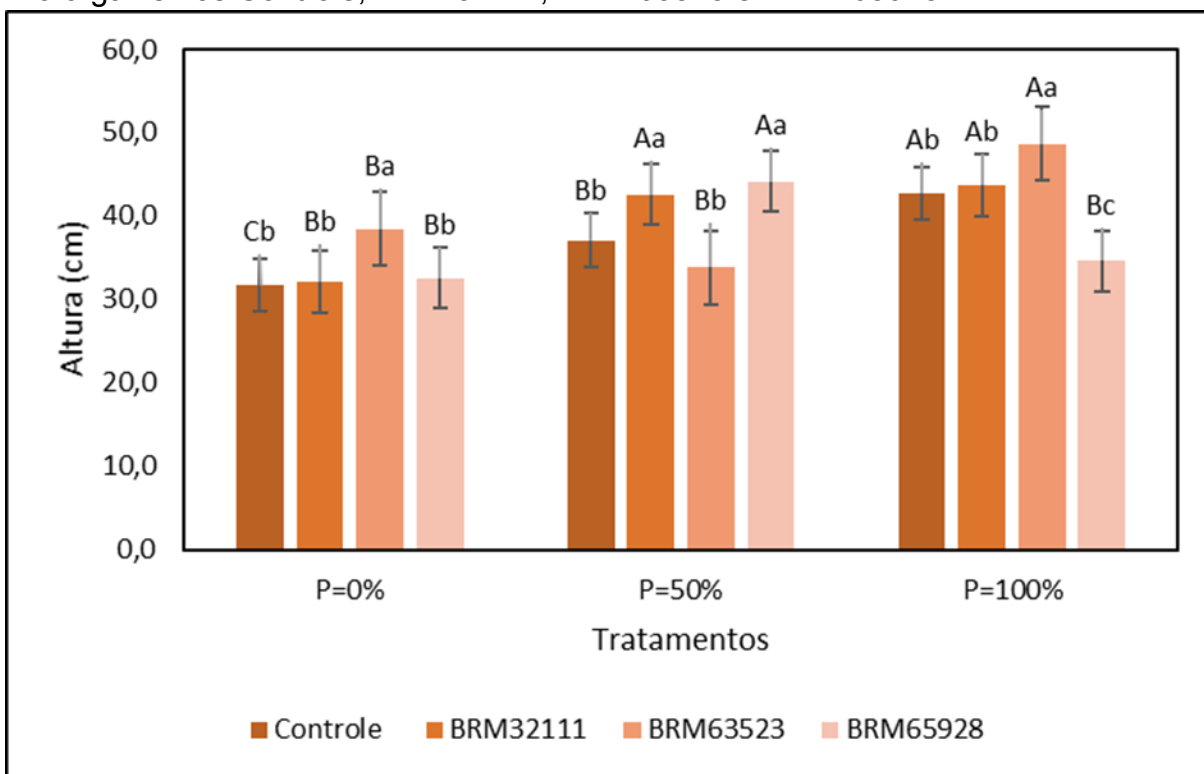


**Burkholderia sp.* (BRM 32111), *Serratia sp.* (BRM 63523), *Bacillus thuringiensis* (BRM 65928) e Controle (Sem microrganismo). Médias seguidas das mesmas letras, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem pelo teste de Scott Knott ($p < 0,05$). ^{ns} Interações não significativas entre os fatores

Fonte: Arquivo pessoal (2023).

Após realizar os testes em laboratório, as mesmas bactérias foram testadas em casa de vegetação, como observado no gráfico 02, que é a análise da parte aérea da planta. Em relação às dosagens de fósforo, os resultados mostraram que o que foi colocado apenas 50% apresentou os melhores resultados, ou seja, utilizar as bactérias com a dosagem de fósforo reduzida à metade é bem promissor. Em relação às bactérias, a BRM 32111 foi melhor no P=50%, maior 32,57% em relação ao seu controle (P=0%). A BRM 63523, apresentou a melhor dose com 100% de fósforo, com 26,47% maior em comparação com o controle. E a BRM 65928, apresentou 35,47% da sua parte aérea maior que seu controle. E segundo Van Veen et al. (1997), nesse tipo de abordagem de fusão de microrganismos, uma alternativa seria combinar organismos naturais com funções distintas ou até mesmo utilizar estirpes diversas que foram modificadas para desempenhar funções semelhantes. Isso possibilitaria a expressão contínua de funções benéficas, como a solubilização de fosfato para as plantas, mesmo diante de condições variadas na rizosfera.

Gráfico 02. Desdobramento da altura das plantas de arroz da cultivar A504 cultivada em diferentes níveis de adubação fosfatada, em função da aplicação dos microrganismos Controle, BRM 32111, BRM 63523 e BRM 65928.



**Burkholderia sp.* (BRM 32111), *Serratia sp.* (BRM 63523), *Bacillus thuringiensis* (BRM 65928) e Controle (Sem microrganismo). Médias seguidas das mesmas letras, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem pelo teste de Scott Knott ($p < 0,05$). ^{ns} Interações não significativas entre os fatores

Fonte: Arquivo pessoal (2023).

Em relação à massa fresca e seca da parte aérea, observa-se que em relação às doses de fósforo com 100% apresentou os melhores resultados. Em relação à massa fresca, a BRM 63523 apresentou os melhores valores com 100% de fósforo aplicado, com 81,53% maior que seu controle (P=0%). A BRM 32111, também apresentou o melhor valor com 100% de fósforo, com 53,48% maior que o controle e a BRM 65928, apresentou o melhor valor com 50% de fósforo, com aproximadamente 128% maior do que se não aplicasse o fósforo (tabela 02).

Quando se realiza uma breve comparação com a massa seca os valores foram praticamente proporcionais (Tabela 02). Entre as bactérias, o *Bacillus thuringiensis*, apresentou valores eficientes com 50% de aplicação de fósforo, segundo alguns estudos as bactérias do gênero *Bacillus sp.* são altamente prevalentes na rizosfera. Devido ao seu papel proeminente na promoção do crescimento das plantas, elas têm a capacidade de estimular a fixação de nitrogênio, solubilização de nutrientes, síntese de fitohormônios e melhoria das condições do solo, conforme mencionado por Oliveira et al. (2016).

Tabela 02. Desdobramento da massa fresca e massa seca da parte aérea de plantas de arroz da cultivar A504 cultivada em diferentes níveis de adubação fosfatada, em função da aplicação dos microrganismos Controle, BRM 32111, BRM 63523 e BRM 65928.

Microrganismos	Massa Fresca PA (g)			Massa seca PA (g)		
	0%	50%	100%	0%	50%	100%
Controle	0,31 Ca	0,58 Bb	0,90 Aa	0,11 Ca	0,16 Ba	0,28 Aa
BRM 63523	0,65 Ba	0,42 Bb	1,18 Aa	0,14 Ba	0,11 Bb	0,26 Aa
BRM32111	0,43 Ca	0,83 Ba	1,09 Aa	0,09 Ca	0,18 Ba	0,25 Aa
BRM 65928	0,42 Ba	0,96 Aa	0,49 Bb	0,08 Ba	0,19 Aa	0,12 Bb

**Burkholderia sp.* (BRM 32111), *Serratia sp.* (BRM 63523), *Bacillus thuringiensis* (BRM 65928) e Controle (Sem microrganismo). Médias seguidas das mesmas letras, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem pelo teste de Scott Knott ($p < 0,05$). ^{ns} Interações não significativas entre os fatores

Fonte: Arquivo pessoal (2023).

Para os resultados com massa fresca e massa seca das raízes, as doses de fósforos obtiveram valores significativos com 100%. Em relação a massa fresca, o P0% a BRM 65928 apresentou o melhor resultado em relação aos demais tratamentos, no P50% a BRM 65928 se equiparou ao controle mostrando assim um maior índice de solubilização de fósforo. Em P100% todas as bactérias apresentaram os mesmos resultados estatisticamente (Tabela 03).

Para os resultados de massa seca da raiz, observa-se que em P0% não houve diferença significativa em relação aos tratamentos. Para P50% a BRM 65928 mostrou o melhor resultado em relação aos demais. Em P100% as melhores BRM 63523 e BRM 32111 e controle apresentaram os melhores resultados (Tabela 03).

Com base em pesquisas realizado por Cruz (2023) mostra que a produção de biomassa seca total, os isolados em que se destacaram foram BRM 32112, BRM 63574 + BRM 63573, BRM 32110, BRM 32111 e BRM 32114, todos estatisticamente superiores ao tratamento controle. Manrique et al (2019) traz em seus estudos que a promoção do desenvolvimento vegetal por rizobactérias pode ser facilitada por meio de vários mecanismos, como o aumento da disponibilidade de nutrientes, particularmente o fósforo, alcançado pela solubilização de formas de P de baixa solubilidade, fixação biológica de nitrogênio, produção de fitohormônios e controle de patógenos.

Tabela 03. Desdobramento da massa fresca e massa seca da raiz das plantas de arroz da cultivar A504 cultivada em diferentes níveis de adubação fosfatada, em função da aplicação dos microrganismos Controle, BRM 32111, BRM 63523 e BRM 65928.

Microrganismos	Massa Fresca da raiz (g)			Massa seca da raiz (g)		
	0%	50%	100%	0%	50%	100%
Controle	0,86 Ba	1,70 Aa	2,38 Ab	0,17 Ba	0,20 Ba	0,29 Aa
BRM 63523	1,61 Ba	1,06 Ba	2,68 Aa	0,14 Ba	0,09 Bb	0,24 Aa
BRM32111	1,04 Ba	1,66 Ba	2,46 Aa	0,10 Ba	0,15 Ba	0,22 Aa
BRM 65928	1,12 Aa	1,81 Aa	1,18 Ab	0,08 Ba	0,18 Aa	0,11 Bb

**Burkholderia sp.* (BRM 32111), *Serratia sp.* (BRM 63523), *Bacillus thuringiensis* (BRM 65928) e Controle (Sem microrganismo). Médias seguidas das mesmas letras, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem pelo teste de Scott Knott ($p < 0,05$). ^{ns} Interações não significativas entre os fatores

Fonte: Arquivo pessoal (2023).

Tabela 04. Comprimento, diâmetro e volume das raízes de plantas de arroz da cultivar A504 cultivada em diferentes níveis de adubação fosfatada, em função da aplicação dos microrganismos Controle, BRM 32111, BRM 63523 e BRM 65928.

Microrganismos	Comprimento da raiz (cm)	Diâmetro (cm)	Volume (cm ³)
Controle	50,47 a	2,11 a	69,55 a
BRM 63523	48,89 a	1,99 b	62,28 a
BRM32111	46,23 a	1,88 b	71,71 a
BRM 65928	40,33 b	2,09 a	56,23 a
Doses			
0%	46,49 a	1,99 a	60,43 a
50%	46,06 a	1,99 a	67,49 a
100%	46,89 a	2,08 a	67,65 a
Fatores			
Microrganismos (M)	0,0575*	0,0335*	0,0761 ^{ns}
Doses (D)	0,9691 ^{ns}	0,4224 ^{ns}	0,3727 ^{ns}
M*D	0,0784 ^{ns}	0,2449 ^{ns}	0,0161*

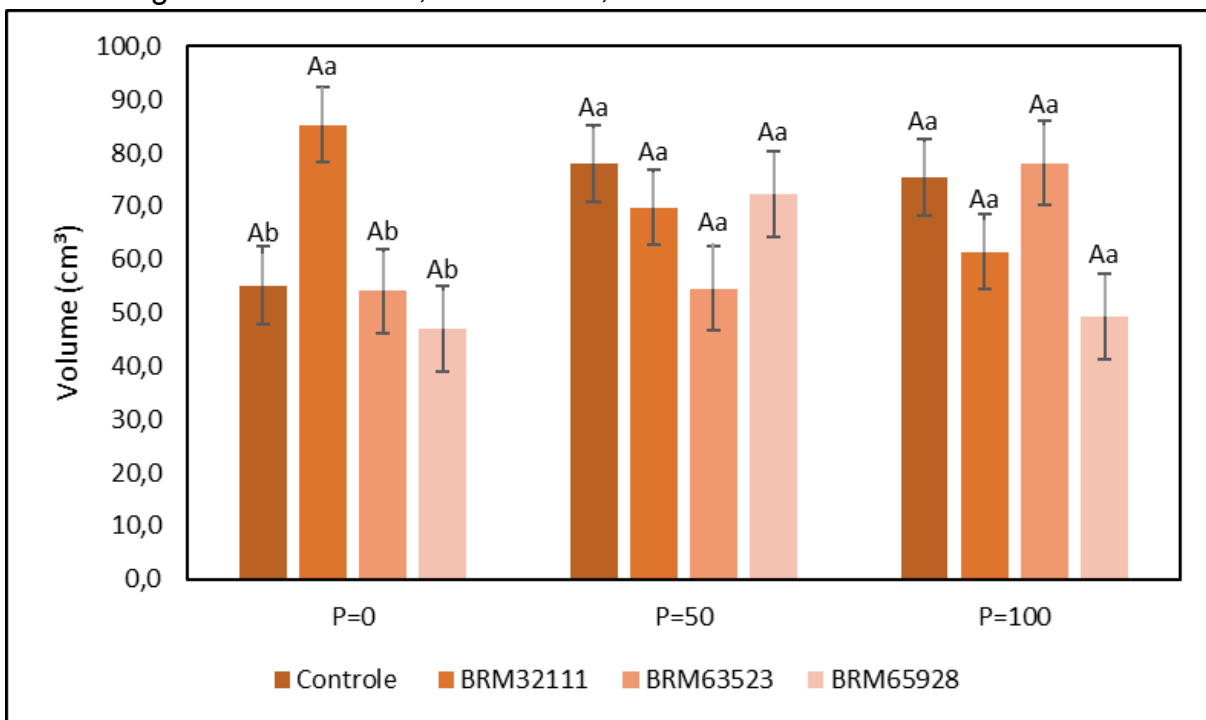
**Burkholderia sp.* (BRM 32111), *Serratia sp.* (BRM 63523), *Bacillus thuringiensis* (BRM 65928) e Controle (Sem microrganismo). Médias seguidas das mesmas letras, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem pelo teste de Scott Knott ($p < 0,05$). ^{ns} Interações não significativas entre os fatores

Fonte: Arquivo pessoal (2023).

Na tabela 04, os microrganismos influenciaram no comprimento da raiz, com a BRM 63523 e a BRM 32111 (48,89 e 46,23 cm respectivamente) e o controle com 50,47 cm. Também o diâmetro com o controle e o BRM 65928 (2,11 e 2,09 cm respectivamente), no volume não houve diferença estatisticamente significativa e as doses não influenciaram nas análises realizadas pelo Winrhizo. A aplicação de RPCPs (Rizobactérias Promotoras de Crescimento de Plantas) pode ter um impacto significativo na morfologia das raízes das plantas, particularmente ao estimular o aumento do comprimento das raízes, como mencionado por Dar et al. (2018). Essa alteração pode levar a uma maior capacidade das plantas para explorar o solo e absorver nutrientes.

Na interação entre fatores de doses e microrganismos, somente o volume apresentou valor significativo (tabela 04). Ao realizar o desdobramento do volume das raízes revelou que estatisticamente os valores de aplicação de doses seriam iguais, porém onde não foi aplicado fósforo, os valores apresentaram menores. Quando se aplica o fósforo o controle aumenta seus valores, a BRM 32111 diminui seu volume, BRM 63523 aumenta de acordo com a aplicação de fósforo e a BRM 65928 aumenta e logo após diminui com os diferentes níveis de aplicação (Gráfico 03). Ahemad & Kibret (2014) indicam que um aumento no volume total das raízes facilita a absorção de água e nutrientes pelas plantas, principalmente devido ao crescimento adicional das raízes. Isso resulta em um acesso ampliado e melhor aproveitamento desses recursos, conforme destacado por Glick (2012).

Gráfico 03. Desdobramento do volume das raízes de plantas de arroz da cultivar A504 cultivada em diferentes níveis de adubação fosfatada, em função da aplicação dos microrganismos Controle, BRM 32111, BRM 63523 e BRM 65928.



**Burkholderia* sp. (BRM 32111), *Serratia* sp. (BRM 63523), *Bacillus thuringiensis* (BRM 65928) e Controle (Sem microrganismo). Médias seguidas das mesmas letras, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem pelo teste de Scott Knott ($p < 0,05$). ^{ns} Interações não significativas entre os fatores

Fonte: Arquivo pessoal (2023).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao realizar o teste em laboratório, todas as bactérias realizaram a solubilização em fósforo. Em relação a altura da planta, a utilização de microrganismo foi ideal com aplicação de 50% da dose de fósforo, na biomassa tanto da parte aérea quanto da raiz, a BRM 65928 teve o melhor desempenho com 50% da aplicação. Ao analisar o comprimento, diâmetro e volume é necessário mais pesquisas para obter resultados mais significativos. A utilização de rizobactérias promotoras de crescimento é uma alternativa biotecnológica importante para a produção de alimentos de formas mais sustentáveis.

REFERÊNCIAS

- AHEMAD, M.; KIBRET, M. Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: Current perspective. **Journal of King Saud University - Science**, v. 26., n. 1, 2014.
- ALORI, E. T.; GLICK, B. R.; BABALOLA, O. O. Microbial phosphorus solubilization and its potential for use in sustainable agriculture. **Frontiers in Microbiology**, v. 8, p. 971, 2017. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmicb.2017.00971/full>. Acesso em: 15. Set.2023.
- 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**, v. 31, n. 1, p. 87- 95, jan. 2015.
- BULGARELLI, D.; SCHLAEPPI, K.; SPAEPEN, S.; VAN THEMAATE, V. L.; SCHULZE-LEFERT, P. Structure and functions of the bacterial microbiota of plants. **Annual Review of Plant Biology**, v. 64, p. 807-838, 2013.
- BULL, L. T.; COSTA, M. C. G.; NOVELLO, A., FERNANDES, D. M.; & VILLAS BÔAS, R. L. Doses and forms of application of phosphorus in vernalized garlic. **Scientia Agrícola**, v. 61, n. 5, p. 516-521, oct. 2004.
- CARVALHO, J. E. B.; SOUZA, L. S.; JORGE, L.A. C.; RAMOS, W. F.; OLIVEIRA NETO, A.; ARAÚJO, A. M. A.; LOPES, L.C.; JESUS, M. S. Manejo de cobertura do solo e sua interferência no desenvolvimento do sistema radicular da laranja Pêra. **Revista Brasileira Fruticultura**, v.21, nº2, 1999.
- CHIN, K.J.; DITTMAR, H.; ULF, H.; WERNER L.; PETER H.J. Characterization and identification of numerically abundant culturable bacteria from the anoxic bulk soil of rice paddy microcosm. **Applied and Environmental Microbiology Journal**, v.65, p. 5042-5049, 1999.
- CROSS, A. F.; SCHLESINGER, W. H. A literature review and evaluation of the Hedley fractionation: Applications to the biogeochemical cycle of soil phosphorus in natural ecosystems, **Geoderma**, v.64, p.197-214, jan. 1995.
- CRUZ, Dennis Ricardo Cabral et al. Utilização de microrganismos multifuncionais na cultura do milho. **Revista Caatinga**, v. 36, n. 2, p. 349-361, 2023.

CRUZ, Dennis Ricardo Cabral et al. Utilização de microrganismos multifuncionais na cultura do milho. **Revista Caatinga**, v. 36, n. 2, p. 349-361, 2023.

DAR, Z. M.; MASOOD, A.; MUGHAL, A. H.; ASIF, M.; MALIK, M. A. Review on Drought Tolerance in Plants Induced by Plant Growth Promoting Rhizobacteria. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v. 7, n. 3, p.2802- 2804, 2018.

FILIPPI, M. C. C.; SILVA, G. B.; SILVA-LOBO, V. L. et al. Leaf blast (*Magnaporthe oryzae*) suppression and growth promotion by rhizobacteria on aerobic rice in Brazil. **Biological Control**, v.58, n.2, p.160-166, 2011.

FINKEL, O. M.; SALAS-GONZÁLEZ, I.; CASTRILLO, G.; SPAEPEN, S.; LAW, T. F.; TEIXEIRA, P. J. P. L.; et al. Os efeitos do teor de fósforo do solo na microbiota das plantas são impulsionados pela resposta à privação de fosfato das plantas. **PLoS Biology**, v. 17, n. 11, e3000534, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3000534>.

FRANDOLOSO, J. F.; LANA, M. do C.; FONTAVINA, S.; CZYCZA, R. V. Eficiência de adubos fosfatados associados ao enxofre elementar na cultura do milho. **Revista Ceres**, v. 57, n. 5, p. 686-694, 2010.

GLICK, B. R. Bactérias promotoras de crescimento de plantas: mecanismos e aplicações. **Scientifica**, v. 2012, p. 1-15, 2012.

GLICK, B. R.; PATTEN, C. L.; HOLGUIN, G.; PENROSE, D. M. Biochemical and genetic mechanisms used by plant growth promoting bacteria. London: **World Scientific**, 1995. 276 p.

GONÇALVES, J. L. M.; FIRME, D. J.; NOVAIS, R. F.; RIBEIRO, A. C. Cinética de adsorção de fósforo em solos de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 80 9, p. 107-111, 1985.

ISAWA, T.; YASUDA, M.; AWASAKI, H.; MINIMAIKAWA, K.; SHINOZAKI, S.; NAKASHITA, H. Azospirillum sp. strain B510 enhances rice growth and yield. **Microbes and Environments**, vol. 25, n. 1, 2010.

Julia Sampaio e Silva Viana¹, Gabriela Cavalcanti Alves², José Ivo Baldani³, Marcia Soares Vidal³. Antagonismo entre bactérias do gênero *Burkholderia* isoladas da cultura de arroz e fungos fitopatogênicos. semana científica 2017.

KADO, C.I.; HESKETT, M.G. Selective media for isolation of *Agrobacterium*, *Corynebacterium*, *Erwinia*, *Pseudomonas* and *Xanthomonas*. **Phytopathology**, St. Paul, v. 60, n. 6, p. 969-976, 1970.

KENNEDY, G.; BURLINGAME, B.; NGUU NGUYEN; FAO. Nutrient impact assessment of rice in major rice-consuming countries. **Internacional Rice Commission Newsletter**, v.51, '2002.

LUDUEÑA, LILIANA M. et al. Effects of P limitation and molecules from peanut root exudates on *pqqE* gene expression and *pqq* promoter activity in the phosphate-solubilizing strain *Serratia* sp. S119. **Research in Microbiology**, v. 168,

n. 8, p. 710-721, 2017. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0923250817301286>. DOI:
10.1016/j.resmic.2017.07.001.

MACHADO, C.C.; COELHO, R.D. Estudo da distribuição espacial do sistema radicular do limão Cravo enxertado com lima ácida Tahit'. **Laranja**, v.21, nº2, 2000.

MANRIQUE, A. E. R. et al. **Conditioning and coating of Urochloa brizanthaseeds associated with inoculation of Bacillus subtilis**. Pesquisa Agropecuária Tropical, 49: e55536, 2019.

MAPA. Zoneamento agrícola do arroz de sequeiro e irrigado safra 2021/2022. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e Cooperativismo. **Mapa**, Brasília/DF, 2022. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/mapa-publica-zoneamento-agricola-do-arroz-de-sequeiro-e-irrigado-safra-2021-2022>>. Acesso em: 15 março 2023.

MARDAD, I.; SERRANO, A.; SOUKRI, A. Solubilization of inorganic phosphate and production of organic acids by bacteria isolated from a moroccan mineral phosphate deposit. **African Journal of Microbiology Research**, v. 7, n. 8, p.626-635, 2013.

MATTOS, M.L.T.; BARRIGOSI, J.A.F. E LANNA, A.C. Impacto da orizicultura na qualidade do meio ambiente. Santo Antônio de Goiás, **Embrapa Arroz e Feijão**, 2006. <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/231590/1/pib-p213.pdf>> . Acesso em 10 abril 2023.

NASCENTE, A. S.; TEMITOPE, I. Z.; FILIPPI, M. C. C.; CRUZ, D. R. C. Beneficial microorganisms as affecting root development of upland rice. **African Journal of Microbiology**. Vol. 17(8), pp. 184-192, 2023.

NEVES, C.S.V.J.; DECHEN, A.R.; FELLER, C.; ABI SAAB, O.J.G.; PIEDADE, S.M.S. Efeito do manejo do solo no sistema radicular de tangerineira Poncã enxertada sobre limoeiro Cravo em Latossolo roxo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.20, nº2, 1998.

OLIVEIRA, R. S. et al. Seed coating with arbuscular mycorrhizal fungi as an ecotechnological approach for sustainable agricultural production of common wheat (*Triticum aestivum* L.). **Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A**, v. 79, n. 7, p. 329–337, 2016.

RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; CURTS, H. **Biologia vegetal**. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1996.

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**, v. 24, n. 2, p. 345-354, 2000.

SAEID, A.; PROCHOWNIK, E.; DOBROWOLSKA-IWANIEK, J. Phosphorus solubilization by *Bacillus* species. **Molecules**, v. 23, p. 1–18, 2018. DOI: 10.3390/molecules23112897.

SANTOS, A. B. dos. Sistema de cultivo de arroz. **Embrapa Arroz e Feijão**. Publicado em 19/10/2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/arroz/producao/sistema-de-cultivo>. Acesso em: 10. out.2023.

SANTOS, D. R. D.; GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v. 38, n. 2, p. 576-586, 2008.

SCHUMACHER, M. V.; CECONI, D. E.; SANTANA, C. A. Influência de diferentes doses de fósforo no crescimento de mudas de angico-vermelho (*Parapiptadenia rigida* (Bentham) Brenan). **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 28, n. 1, p. 149-155, jan./fev. 2004.

SHARMA, S. B.; SAYYED, R. Z.; TRIVEDI, M. H.; GOBI, T. A. Phosphate solubilizing microbes: sustainable approach for managing phosphorus deficiency in agricultural soils. **Springerplus**, v. 2, p. 587–600, 2013. DOI: 10.1186/2193-1801-2-587.

SICHOCKI, D.; GOTT, R.M.; FUGA, C.A.G.; AQUINO, L.A.; RUAS, R.A.A.; NUNES, P.H.M.P. Resposta do milho safrinha à doses de nitrogênio e de fósforo. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo** v.13, p.48-58, 2014. DOI: <https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v13n1p48-58>.

STEFFEN, G. P. K.; MALDANER, J.; MISSIO, E. L.; STEFFEN, R. B. Trichoderma controla fitonematóides e aumenta produtividade da soja. **Campos & Negócios**, mar. 2018.

STEFFEN, G. P. K.; MALDANER, J.; MISSIO, E. L.; STEFFEN, R. B. Trichoderma controla fitonematóides e aumenta produtividade da soja. **Campos & Negócios**, mar. 2018. Disponível em: <https://www.agricultura.rs.gov.br/upload/arquivos/201804/12095822-uso-de-trichoderma-agricultura.pdf> >. Acesso em: 20 set. 2023.

VAN VEEN, J.A; VAN OVERBEEK, L.S; VAN ELSAS, J.D. Fate and Activity of Microorganisms Introduced into Soil. 1997. **Microbiology and Molecular Biology Reviews**, v. 61, n. 2, p. 121 – 135, Netherlands.

ZHANG, XINJUN et al. Inoculation of phosphate-solubilizing bacteria (*Bacillus*) regulates microbial interaction to improve phosphorus fractions mobilization during kitchen waste composting. **Bioresource Technology**, v. 340, p. 125714, 2021.