

# RESSALVA

Atendendo a solicitação do autor, o texto completo desta tese será disponibilizado somente a partir de 18/05/2023.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE ENGENHARIA  
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

**JÉSSICA ALVES DE OLIVEIRA**

**BIOPROSPECÇÃO DE BACTÉRIAS SOLUBILIZADORAS DE FOSFATO E  
INOCULAÇÃO EM ARROZ DE TERRAS ALTAS**

**Ilha Solteira  
2022**

**JÉSSICA ALVES DE OLIVEIRA**

**BIOPROSPECÇÃO DE BACTÉRIAS SOLUBILIZADORAS DE  
FOSFATO E INOCULAÇÃO EM ARROZ DE TERRAS ALTAS**

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia de  
Ilha Solteira – UNESP como parte dos requisitos  
para obtenção do título de Doutora em  
Agronomia. Especialidade: Sistemas de  
Produção.

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Kátia Luciene Maltoni  
**Orientadora**

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Ana Maria Rodrigues Cassiolato  
**Co-orientadora**

Ilha Solteira  
2022

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

O48b Oliveira, Jéssica Alves de.  
Bioprospecção de bactérias solubilizadoras de fosfato e inoculação em arroz de terras altas / Jéssica Alves de Oliveira. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2022  
89 f. : il.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Sistemas de Produção, 2022

Orientador: Kátia Luciene Maltoni  
Coorientador: Ana Maria Rodrigues Cassiolato  
Inclui bibliografia

1. Microbiologia agrícola. 2. Solubilização de fosfato. 3. Inoculação. 4. Arroz de terras altas.

  
Raiane da Silva Santos



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**  
Câmpus de Ilha Solteira

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

TÍTULO DA TESE: BIOPROSPECÇÃO DE BACTÉRIAS SOLUBILIZADORAS DE FOSFATO E  
INOCULAÇÃO EM ARROZ DE TERRAS ALTAS

AUTORA: JÉSSICA ALVES DE OLIVEIRA  
ORIENTADORA: KÁTIA LUCIENE MALTONI  
COORIENTADORA: ANA MARIA RODRIGUES CASSIOLATO

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em AGRONOMIA, área:  
Sistemas de Produção pela Comissão Examinadora:

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> KÁTIA LUCIENE MALTONI (Participação Virtual)  
Departamento de Fitossanidade Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** KÁTIA LUCIENE MALTONI  
Data: 22/05/2022 21:20:35-0300  
Verifique em <https://verificador.itl.br>

Prof. Dr. MARCELO CARVALHO MINHOTO TEIXEIRA FILHO (Participação Virtual)  
Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP

Prof. Dr. ORIVALDO ARF (Participação Virtual)  
Fitotecnologia de Alimentos e Sócio Economia / FEIS/UNESP - Ilt

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** EDSON LUIZ SOUCHIE  
Data: 24/05/2022 12:12:34-0300  
Verifique em <https://verificador.itl.br>

Prof. Dr. EDSON LUIZ SOUCHIE (Participação Virtual)  
Departamento de Ciências Agrárias / INSTITUTO FEDERAL GOIANO - CAMPUS

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** DANIELA TIAGO DA SILVA CAMPOS  
Data: 24/05/2022 16:04:15-0300  
Verifique em <https://verificador.itl.br>

Profa. Dra. DANIELA TIAGO DA SILVA CAMPOS (Participação Virtual)  
Laboratório de Microbiologia Agrícola / UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

Ilha Solteira, 18 de maio de 2022

## AGRADECIMENTOS

À Deus, pela vida, por estar sempre em meu caminho, iluminando e guiando às escolhas certas.

Aos meus pais Luiz e Maria, a quem devo tudo o que sou, por serem minha base, pelo apoio incondicional, pela confiança e amor que me fortalece todos os dias.

Aos meus irmãos, cunhados e sobrinhos por estarem ao meu lado sempre, dando o apoio que preciso em todos os momentos.

Ao meu marido Fábio, que foi meu braço direito nesse doutorado, assim como é na vida, pelos conselhos, carinho, paciência e momentos felizes.

Aos meus sogros pelo encorajamento, e por estarem sempre por perto torcendo por mim.

A todos os meus amigos que, perto ou longe, sempre me ajudam, apoiam e torcem por mim. Em especial às companheiras de doutorado Débora, Flávia e Juliana...conseguimos!

À Unesp Ilha Solteira, por proporcionar a realização deste doutorado.

À Profa. Kátia L. Maltoni pela orientação, paciência e apoio tão necessário no último ano de doutorado em meio à uma pandemia e tantas mudanças em minha vida pessoal.

À Profa. Ana Maria R. Cassiolato por ter me recebido de braços abertos na Unesp, pela orientação, paciência e confiança.

Ao Prof. Orivaldo Arf pela oportunidade da realização do trabalho de campo, pela orientação, paciência e confiança.

Ao Professor Marco E. de Sá pelo suporte para as análises laboratoriais, pela confiança e amizade construída nestes anos de doutorado.

Ao Professor Paulo C. Ceresini pelo suporte para as análises laboratoriais, pela confiança e pelo apoio na aprovação do intercâmbio de doutorado sanduíche para a Universidade do Texas que, infelizmente, não foi realizado devido à pandemia.

A todos os professores, que se tornaram amigos, pelo aprendizado que fez com que eu continuasse e chegasse até aqui.

Aos membros da banca examinadora, pelo tempo cedido para a avaliação e pelas considerações realizadas, que foram muito bem-vindas, enriquecendo este trabalho.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho e minha formação.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

MUITO OBRIGADA!

“Viva como se fosse morrer amanhã.  
Aprenda como se fosse viver para sempre”.

Mahatma Gandhi

## RESUMO

O fósforo (P) é essencial para o desenvolvimento e produtividade das culturas, mas sua concentração nos solos de todo o mundo geralmente está abaixo do ideal. Quando aplicado pela fertilização mineral, é rapidamente fixado aos cátions do solo devido à sua alta reatividade, tornando-se em grande parte indisponível à absorção pelas plantas. Bactérias existentes no solo podem atuar na solubilização do P fixado, liberando-o para a solução do solo, onde fica disponível para absorção pelas plantas. Assim, esta pesquisa teve por objetivo isolar, selecionar e identificar bactérias do solo com potencial para solubilizar fosfatos e avaliar a inoculação dos isolados na redução e/ou eliminação da adubação mineral fosfatada em arroz de terras altas, bem como, seus efeitos sobre o crescimento, a produtividade e a qualidade do arroz. De trinta e dois isolados solubilizadores de fosfatos de cálcio e de ferro, foram selecionados três, por meio de testes *in vitro*, e posteriormente, identificados como *Pantoea* sp., *Enterobacter* sp. e *Klebsiella* sp. Os isolados foram avaliados em ensaios em casa de vegetação e campo, em esquema fatorial 4 x 3 para as avaliações entre os tratamentos, e 4 x 3 + 2 para as comparações dos tratamentos às testemunhas, com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos pela combinação de quatro doses de P (0; 23,3; 46,6 e 70 kg ha<sup>-1</sup>), baseadas na utilização de 0, 1/3, 2/3 e 3/3 da dose recomendada para arroz de terras altas com a inoculação dos três isolados de bactérias solubilizadoras de fosfato (BSF) (AAC01 – *Pantoea* sp.; AAC02 – *Enterobacter* sp. e AAC04 – *Klebsiella* sp.). Os tratamentos testemunha consistiram na aplicação de duas doses de P equivalentes a 0 e 70 kg ha<sup>-1</sup>, sem inoculação. A inoculação de *Klebsiella* sp. promoveu ganhos significativos tanto no experimento em casa de vegetação, quanto no experimento em campo, com cerca de 33% de redução na adubação fosfatada. No experimento em casa de vegetação, a inoculação de *Enterobacter* sp. juntamente com a dose de 46,6 kg ha<sup>-1</sup> de P aumentou a respiração basal do solo e a massa fresca de parte aérea. A inoculação de *Pantoea* sp. aumentou a respiração basal do solo de forma linear até a dose de 70 kg ha<sup>-1</sup> de P e aumentou a massa fresca da raiz na dose de 46,6 kg ha<sup>-1</sup>. No entanto, no experimento em campo esses isolados não mantiveram os efeitos. As doses de P utilizadas aumentaram os teores de P dos grãos de arroz, o teor de P nas raízes, a massa seca de parte aérea e a altura das plantas.

**Palavras-chave:** fósforo; solubilização; inoculante; *Oryza sativa* L.; Cerrado.



## ABSTRACT

### PHOSPHATE SOLUBILIZING BACTERIA BIOPROSPECTION AND UPLAND RICE INOCULATION

Phosphorus (P) is essential for crop development and productivity, but its concentration in soils around the world is generally suboptimal. When applied by mineral fertilization, it is rapidly attached to soil cations due to its high reactivity, making it largely unavailable for plant uptake. Bacteria in the soil can act to solubilize the fixed P, releasing it into the soil solution, where it is available for absorption by plants. Thus, this research aimed to isolate, select and identify soil bacteria with the potential to solubilize phosphates and evaluate the inoculation of the isolates in the reduction and/or elimination of phosphate mineral fertilization in upland rice, as well as its effects on growth, productivity and rice quality. From thirty-two isolates that solubilize calcium and iron phosphates, three were selected through in vitro tests, and later identified as *Pantoea* sp., *Enterobacter* sp. and *Klebsiella* sp. The isolates were evaluated in greenhouse and field trials, in a 4 x 3 factorial scheme for the evaluations between treatments, and 4 x 3 + 2 for the comparisons of treatments to controls, with four replications. The treatments consisted of a combination of four doses of P (0; 23.3; 46.6 and 70 kg ha<sup>-1</sup>), based on the use of 0, 1/3, 2/3 and 3/3 of the recommended dose for upland rice with the inoculation of the three isolates of phosphate solubilizing bacteria (BSF) (AAC01 – *Pantoea* sp.; AAC02 – *Enterobacter* sp. and AAC04 – *Klebsiella* sp.). The control treatments consisted of the application of two doses of P equivalent to 0 and 70 kg ha<sup>-1</sup>, without inoculation. The inoculation of *Klebsiella* sp. promoted significant gains both in the greenhouse experiment and in the field experiment, with about 33% reduction in phosphate fertilization. In the greenhouse experiment, the inoculation of *Enterobacter* sp. together with the dose of 46.6 kg ha<sup>-1</sup> of P increased basal soil respiration and shoot fresh mass. Inoculation of *Pantoea* sp. increased basal soil respiration linearly up to 70 kg ha<sup>-1</sup> of P and increased root fresh mass at 46.6 kg ha<sup>-1</sup>. However, in the field experiment these isolates did not maintain the effects. The doses of P used increased the P content of rice grains, the P content in the roots, the dry mass of shoots and plant height.

**Key words:** phosphorus; solubilization; inoculation; *Oryza sativa* L.; Cerrado.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	9
1.1 OBJETIVOS .....	10
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	11
2.1 A IMPORTÂNCIA DO FÓSFORO PARA A AGRICULTURA .....	11
2.2 PROBLEMAS RELACIONADOS AO USO DO FÓSFORO .....	12
2.3 USO DE MICRO-ORGANISMOS NA AGRICULTURA .....	13
2.4 BACTÉRIAS SOLUBILIZADORAS DE FOSFATO .....	14
2.5 GÊNEROS BACTERIANOS .....	15
2.6 INOCULAÇÃO EM ARROZ ( <i>Oryza sativa</i> L.) .....	18
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	20
<b>3 CAPÍTULO 1 – SELEÇÃO DE BACTÉRIAS SOLUBILIZADORAS DE FOSFATO</b> .....	26
RESUMO .....	26
3.1 ABSTRACT .....	26
3.2 INTRODUÇÃO .....	27
3.3 MATERIAL E MÉTODOS .....	28
3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	31
3.5 CONCLUSÕES .....	38
REFERÊNCIAS .....	39
<b>4 CAPÍTULO 2 – ENSAIO EM CASA DE VEGETAÇÃO</b> .....	43
RESUMO .....	43
4.1 ABSTRACT .....	43
4.2 INTRODUÇÃO .....	44
4.3 MATERIAL E MÉTODOS .....	45
4.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	47
4.5 CONCLUSÕES .....	60
REFERÊNCIAS .....	62
<b>5 CAPÍTULO 3 – EXPERIMENTO EM CAMPO</b> .....	65
RESUMO .....	65

5.1	ABSTRACT .....	65
5.2	INTRODUÇÃO.....	66
5.3	MATERIAL E MÉTODOS.....	67
5.4	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	70
5.5	CONCLUSÕES .....	81
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>82</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO GERAL</b> .....	<b>87</b>
	<b>APÊNDICE A – FOTOS DA PESQUISA</b> .....	<b>88</b>

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

O fósforo (P) é elemento químico essencial ao desenvolvimento e à produtividade das culturas. Sua disponibilidade no solo determina se as plantas poderão crescer e se desenvolver em uma determinada área, uma vez que é insubstituível na produção de alimentos. No entanto, grande parte dos solos de todo o mundo apresentam originalmente baixo teor de P disponível (LÓPEZ-ARREDONDO *et al.*, 2014), exigindo a adição de fertilizantes fosfatados para que o cultivo agrícola possa se estabelecer.

São características do P a imobilidade no solo, atribuída à sua lenta difusão e a capacidade de interagir fortemente com a maioria dos cátions, o que ocasiona a formação de complexos insolúveis no solo, que retiram o P da solução e o torna indisponível para a absorção pelas plantas (PANDA; RAHMAN; PANDA, 2016; NAUREEN *et al.*, 2018). Para superar essa imobilização e atender às exigências das culturas são adicionadas, regularmente, grandes quantidades de fertilizantes fosfatados, o que tem estabelecido uma nova condição aos solos onde sua quantidade total é alta, mas não suficientemente disponível para atender a demanda das plantas. Estima-se que de todo o P aplicado na agricultura nos últimos 50 anos mais da metade continue fixado no solo (WITHERS *et al.*, 2018).

Em geral, as plantas possuem dois mecanismos para maximizar a absorção de P, ou seja, mudanças na morfologia radicular, por meio do aumento da biomassa radicular com a produção de pelos e raízes laterais, o que permite explorar maior volume de solo para a absorção de nutrientes, e a melhoria da eficiência no uso de P (SONG *et al.*, 2019). Neste sentido, muitas bactérias e fungos têm demonstrado capacidade de mobilizar parte do P fixado liberando-o para a solução do solo, onde estará disponível para a absorção pelas plantas: são os solubilizadores de fosfato.

As bactérias solubilizadoras de fosfato (BSF) conseguem liberar P a partir de fontes inorgânicas, como os fosfatos de cálcio e ferro, por meio da liberação de ácidos e enzimas que, também, são eficientes nos processos de mineralização de fosfatos orgânicos (SHARMA *et al.*, 2013; LONG *et al.*, 2018). Além disso, possuem a capacidade de aumentar a área superficial das raízes das plantas por meio da produção de fito-hormônios (RICHARDSON *et al.*, 2011). Dessa forma, os micro-organismos solubilizadores de fosfato têm sido considerados a melhor estratégia para viabilizar o uso do P fixado aos solos, de forma ecológica, ambientalmente correta e economicamente viável.

O arroz (*Oryza sativa* L.), é cereal de grande importância por servir como base para a alimentação de cerca de um terço da população mundial (IRFAN *et al.*, 2020). O P é imprescindível ao crescimento e desenvolvimento destas plantas, sendo fator limitante para o perfilhamento e, conseqüentemente, para o rendimento da cultura (CRUSCIOL; SORATTO; ARF, 2007). De todo o P absorvido pelas plantas de arroz, 65% é exportado pelos grãos, o que torna a cultura uma importante fonte deste nutriente na alimentação humana (FAGERIA, 2006). Estabelecer mecanismos sustentáveis para o suprimento de P nesta cultura pode constituir importante ferramenta para a produção agrícola global.

Com o constante crescimento da população mundial e a necessidade de produzir alimentos para todos, aumentar a eficiência do uso do P no cultivo agrícola vem sendo considerado um desafio significativo. Para o Brasil é particularmente importante encontrar alternativas para o uso do P fixado ao solo, visto que grande parte do fertilizante fosfatado utilizado no país é importado. Neste sentido, são imprescindíveis pesquisas envolvendo a seleção para utilização de micro-organismos solubilizadores de P, assim como desenvolver e estabelecer práticas que aumentem a eficiência do uso do P na agricultura.

## 1.1 OBJETIVOS

Esta pesquisa teve por objetivo a liberação do P fixado ao solo, aumentando a disponibilidade para as plantas e diminuindo a necessidade de aplicação de fertilizantes fosfatados, com conseqüente redução na exploração das reservas naturais. Dessa forma, os objetivos específicos foram: 1) Isolar, selecionar e identificar bactérias do solo com potencial para a solubilização de fosfatos; 2) Avaliar a inoculação das BSF selecionadas na redução e/ou eliminação da adubação mineral fosfatada em arroz; 3) Verificar os efeitos da inoculação no crescimento, na produtividade e na qualidade do arroz; 4) Investigar a influência da inoculação sobre os teores de P da planta, do solo e dos grãos; 5) Avaliar os efeitos da inoculação sobre os atributos químicos do solo.

## REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; ERNANI, P. R.; MAFRA, A. L.; FONTANA, E. C. Aplicação de calcário e fósforo e estabilidade da estrutura de um solo ácido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n. 5, p.799-806, 2003.
- ALORI, E. T.; GLICK, B. R.; BABALOLA, O. O. Microbial phosphorus solubilization and its potential for use in sustainable agriculture. **Frontiers in Microbiology**, Lausanne, v. 8, n. 971, p.1-8, 2017.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; MORAES GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2014.
- BARBOSA FILHO, M. P. **Nutrição e adubação do arroz**: sequeiro e irrigado. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987. 129 p.
- BENTO, R. U.; PELÁ, A.; RIBEIRO, M. A.; SILVA, J. A. G.; CRUZ, S. J. S. Contribuição de bioestimulantes contendo microrganismos rizosféricos na absorção de fósforo pelo milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 15, n. 3, p.572-581, 2016.
- BHATTACHARYYA, P. N.; JHA, D. K. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): emergence in agriculture. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, Dordrecht, v. 28, n. 4, p.1327-1350, 2012.
- BUZO, F. S.; GARÉ, L. M.; ARF, O.; PORTUGAL, J. R.; MEIRELLES, F. C.; GARCIA, N. F. S. Interaction between thidiazuron and *Azospirillum brasilense* on yield characteristics and productivity of rice. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 23, n. 4, p.244-249, abr. 2019.
- CANTARELLA, H.; FURLANI, P. R. Arroz de sequeiro. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; GUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Coord.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2 ed. Campinas: Instituto agrônomo e Fundação IAC, 1996. 285 p.
- CARNEIRO, L. F.; FURTINI NETO, A. E.; RESENDE, A. V.; CURI, N.; SANTOS, J. Z. L.; LAGO, F. J. Fontes, doses e modos de aplicação de fósforo na interação fósforo- zinco em milho. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 4, p.1133-1141, 2008.
- CASTRO, A. P.; MORAIS, O. P.; BRESEGHELLO, F.; LOBO, V. L. S.; GUIMARÃES, C. M.; BASSINELLO, P. Z.; COLOMBARI FILHO, J. M.; SANTIAGO, C. M.; FURTINI, I. V.; TORGA, P. P.; UTUMI, M. M.; PEREIRA, J. A.; CORDEIRO, A. C. C.; AZEVEDO, R.; SOUSA, N. R. G.; SOARES, A. A.; RADMANN, V.; PETERS, V. J. **BRS Esmeralda: cultivar de arroz de terras altas com elevada produtividade e maior tolerância à seca**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2014. 4 p. (Comunicado técnico, 215).
- CASTRO, E. M.; VIEIRA, N. R. A.; RABELO, R. R.; SILVA, S. A. **Qualidade de grãos em arroz**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. 30p. (Circular Técnica, 34).

CHI, F.; SHEN, S. H.; CHENG, H. P.; JING, Y. X.; YANNI, Y. G.; DAZZO, F. B. Ascending migration of endophytic rhizobia, from roots to leaves, inside rice plants and assessment of benefits to rice growth physiology. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v. 71, n. 11, p.7271-7278, 2005.

CRUSCIOL, C. A. C.; SORATTO, R. P.; ARF, O. Produtividade de grãos e exportação de nutrientes de cultivares de arroz irrigadas por aspersão em consequência da época de semeadura. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 2, p.247-257, 2007.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - Embrapa. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013. 353 p.

ESTRADA, G. A.; BALDANI, V. L. D.; OLIVEIRA, D. M.; URQUIAGA, S.; BALDANI, J. I. Selection of phosphate-solubilizing diazotrophic *Herbaspirillum* and *Burkholderia* strains and their effect on rice crop yield and nutrient uptake. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 369, n. 1-2, p.115-129, 2012.

FAGERIA, N. K. Adubação e calagem. In: Santos, A. B.; Stone, L. F.; Vieira, N. R. A. (Ed.). **A Cultura do Arroz no Brasil**. 2 ed. Santo Antônio de Goiás: Embrapa arroz e feijão, 2006. p. 387- 423.

FAGERIA, N. K.; MORAIS, O. P.; SANTOS, A. B.; VASCONCELOS, M. J. V. Eficiência de uso de fósforo por genótipos de arroz de terras altas. In: FERTBIO, 2010, Guarapari, **Anais [...]**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. p. 1 – 3.

FANKEM, H.; MAFOKOUA, H. L.; NKOT, L. N.; SIMO, C.; DONDJOU, D. T.; TCHAKOUNTE, G. V. T.; NWAGA, D.; ETOA, F. X. Biodiversity of the phosphate solubilizing microorganisms (PSMs) population from the rice rhizosphere soils of the two agroecological zones of Cameroon. **International Journal of Biological and Chemical Sciences**, Cameroon, v. 9, n. 5, p.2284-2299, 2016.

FANKEM, H.; NWAGA, D.; DEUBEL, A.; DIENG, L.; MERBACH, W.; ETOA, F. X. Occurrence and functioning of phosphate solubilizing microorganisms from oil palm tree (*Elaeis guineensis*) rhizosphere in Cameroon. **African Journal of Biotechnology**, Nairobi, v. 5, n. 24, p.2450-2460, 2006.

FIDELIS, R. R.; PINTO, L. C.; SANTOS, M. M.; FACCIROLI, A. M.; BRANDÃO, D. R.; SCHEIDT, G. Efeito do fósforo em genótipos de arroz em solos de Cerrado. **Científica**, Jaboticabal, v. 41, n. 1, p.46-51, 2013.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED STATES - FAO. **Rankings: Countries by commodity**. 2018. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countriesbycommodity>>. Acesso em: 10 fev. 2020.

FORNASIERI FILHO, D.; FORNASIERI, J. L. **Manual da cultura do arroz**. Jaboticabal: Funep, 2006. 589 p.

GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed. Porto Alegre: Metrópoles, 2008. 654 p.

GARÉ, L. M.; BUZO, F. S.; ARF, O.; PORTUGAL, J. R.; SILVEIRA, T. L. S.; MEIRELLES, F. Influência do Thidiazuron e da inoculação com *Azospirillum brasilense* no crescimento e produtividade do arroz de terras altas. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, Tupã, v. 11, n. 4, p.326-339, 2017.

GITTI, D. C.; ARF, O.; PORTUGAL, J. R.; CORSINI, D. C. D. C.; RODRIGUES, R. A. F.; KANEKO, F. H. Coberturas vegetais, doses de nitrogênio e inoculação de sementes com *Azospirillum brasilense* em arroz de terras altas no sistema plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v. 71, n. 4, p.509-517, 2012.

GOUDA, S.; KERRY, R. G.; DAS, G.; PARAMITHIOTIS, S.; SHIN, H. S.; PATRA, J. K. Revitalization of plant growth promoting rhizobacteria for sustainable development in agriculture. **Microbiological Research**, Amsterdam, v. 206, n. 1, p.131-140, 2018.

LISBOA, L. A. M.; HEINRICHS, R.; FIGUEIREDO, P. A. M. Efeitos da fosfatagem nos atributos químicos do solo e produção de cana-de-açúcar para forragem. **Boletim de Indústria Animal**, Nova Odessa, v. 74, n. 3, p.213-220, 2017.

LONG, X. E.; YAO, H.; HUANG, Y.; WEI, W.; ZHU, Y. G. Phosphate levels influence the utilization of rice rhizodeposition carbon and the phosphate-solubilizing microbial community in a paddy soil. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 118, n. 1, p.103-114, 2018.

MADER, P.; KAISER, F.; ADHOLEYA, A.; SINGH, R.; UPPAL, H. S.; SHARMA, A. K.; SRIVASTAVA, R.; SAHAI, V.; ARAGNO, M.; WIEMKEN, A.; JOHRI, B. N.; FRIED, P. M. Inoculation of root microorganisms for sustainable wheat–rice and wheat–black gram rotations in India. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 43, n. 3, p. 609-619, 2011.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Potafos, 1997. 308 p.

MARTINEZ, H. E. P.; MENEZES, J. F. S.; SOUZA, R. B.; VENEGAS, V. H. A.; GUIMARÃES, P. T. G. Faixas críticas de concentrações de nutrientes e avaliação do estado nutricional de cafeeiros em quatro regiões de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 38, n. 6, p.703-713, 2003.

MASCARENHAS, K. **Super Arroz: pesquisas utilizam a biofortificação para melhorar as concentrações de nutrientes no cereal**. [S. l.], 2019. Disponível em: <https://ufla.br/noticias/pesquisa/12980-super-arroz-pesquisas-utilizam-a-biofortificacao-para-melhorar-as-concentracoes-de-nutrientes-no-cereal>. Acesso em: 29 fev. 2020.

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



- NAUREEN, Z.; SHAM, A.; ASHRAM, H. A.; GILANI, S. A.; GHEILANI, S. A.; MABOOD, F.; HUSSAIN, J.; HARRASI, A. A.; ABUQAMAR, S. F. Effect of phosphate nutrition on growth, physiology and phosphate transporter expression of cucumber seedlings. **Plant Physiology and Biochemistry**, Paris, v. 127, n. 1, p.211-222, 2018.
- NUSSAUME, L.; KANNO, S.; JAVOT, H.; MARIN, E.; POCHON, N.; AYADI, A.; NAKANISHI, T. M.; THIBAUD, M. C. Phosphate import in plants: focus on the PHT1 transporters. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 2, n. 1, p.1-12, 2011.
- OLIVEIRA, M. A.; ZUCARELI, C.; FERREIRA, A. S.; DOMINGUES, A. R.; SPOLAOR, L. T.; NEVES, C. S. V. J. Adubação fosfatada associada à inoculação com *Pseudomonas fluorescens* no desempenho agrônômico do milho. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 38, n. 1, p.18-25, 2015.
- PANDA, B.; RAHMAN, H.; PANDA, J. Phosphate solubilizing bacteria from the acidic soils of Eastern Himalayan region and their antagonistic effect on fungal pathogens. **Rhizosphere**, Amsterdam, v. 2, n. 1, p.62-71, 2016.
- PII, Y.; MIMMO, T.; TOMASI, N.; TERZANO, R.; CESCO, S.; CRECCHIO, C. Microbial interactions in the rhizosphere: beneficial influences of plant growth-promoting rhizobacteria on nutrient acquisition process. A review. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 51, n. 4, p.403-415, 2015.
- RAIJ, B. V.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285 p.
- RAWAT, P.; SHANKHDHAR, D.; SHANKHDHAR, S. C. Synergistic impact of phosphate solubilizing bacteria and phosphorus rates on growth, antioxidative defense system, and yield characteristics of upland rice (*Oryza sativa* L.). **Journal of Plant Growth Regulation**, New York, p. 1-13, jul. 2021.
- RIBEIRO, V. P.; ALMEIDA, C. N. S.; MATTOS, B. B.; OLIVEIRA, C. A.; GOMES, E. A.; MARRIEL, I. E. Potencial de solubilização de fosfato de ferro in vitro e produção de siderofóros por microrganismos endofíticos da cultura de Milho. In: FERTBIO, 2014, Araxá. **Anais [...]**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2014. 1 p.
- RICHARDSON, A. E.; LYNCH, J. P.; RYAN, P. R.; DELHAIZE, E.; SMITH, F. A.; SMITH, S. E.; HARVEY, P. R.; RYAN, M. H.; VENEKLAAS, E. J.; LAMBERS, H.; OBERSON, A.; CULVENOR, R. A.; SIMPSON, R. J. Plant and microbial strategies to improve the phosphorus efficiency of agriculture. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 349, n. 1-2, p.121-156, 2011.
- SALES, L. Z. S.; ARF, O.; GARÉ, L. M.; GARCIA, N. F. S.; BUZO F. S.; SILVA, P. H. G.; MARTINS, J. O. M.; GATO, I. M. B.; GOMES, B. A.; MARTINS, J. T.; OLIVEIRA, J. A.; BASSI, M. H. M. Resposta do arroz de terras altas à épocas de aplicação e doses de zinco. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 11., 2019, Balneário Camboriú. **Anais [...]** Itajaí: Epagri/ Sosbai, 2019. p. 410-413.

SANTOS, H. O.; BOTELHO, F. B. S.; FONSECA, A. C. A.; UENOJO, R. K.; MENDES, M. P.; PINHO, E. V. R. V. Quality of seeds of upland rice lines adapted to the state of Minas Gerais, Brazil. **American Journal of Plant Sciences**, San Luis, Missouri, v. 06, n. 12, p. 1920-1927, ago. 2015.

SHAHZAD, S. M.; ARIF, M. S.; RIAZ, M.; ASHRAF, M.; YASMEEN, T.; ZAHEER, A.; BRAGAZZA, L.; BUTTLER, A.; ROBROEK, B. J. M. Interaction of compost additives with phosphate solubilizing rhizobacteria improved maize production and soil biochemical properties under dryland agriculture. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 174, n. 1, p.70-80, 2017.

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**, Switzerland, v. 2, n. 1, p.1-14, 2013.

SINGH, H.; REDDY, M. S. Effect of inoculation with phosphate solubilizing fungus on growth and nutrient uptake of wheat and maize plants fertilized with rock phosphate in alkaline soils. **European Journal of Soil Biology**, Paris, v. 47, n. 1, p.30-34, 2011.

SONG, T.; XU, F.; WEI, Y.; CHEN, M.; HU, Q.; TIAN, Y.; ZHANG, J.; XU, W. Combining alternate wetting and drying irrigation with reduced phosphorus fertilizer application reduces water use and promotes phosphorus use efficiency without yield loss in rice plants. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 223, n. 1, p.1-12, 2019.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Adubação fosfatada em solos da região do Cerrado**. 102. ed. Piracicaba: Associação Brasileira Para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 2003. 16 p.

SOUSA, D. M. G.; REIN, T. A.; SANTOS JUNIOR, J. D. G. **Manejo da adubação fosfatada para culturas anuais no Cerrado**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2016. 10 p. (Circular técnica, 33).

TAN, B. L.; NORHAIZAN, M. E. **Rice by-products: phytochemicals and food products application**. Switzerland: Springer, 2020. 129 p.

UTINO, S.; FRANCO, D. F.; COSTA, S. V.; MAGALHÃES, A. M.; PETERS, V. J.; SILVA, M. G. **Produção de sementes**. 2020. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/arroz/arvore/CONT000foh66zuv02wyiv8065610dhn0auj1.html>. Acesso em: 20 jan. 2020.

VANCE, C. P.; UHDE-STONE, C.; ALLAN, D. L. Phosphorus acquisition and use: Critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. **New Phytologist**, Oxford, v. 157, n. 3, p.423-447, 2003.

WITHERS, P. J. A.; RODRIGUES, M.; SOLTANGHEISI, A.; CARVALHO, T. S.; GUILHERME, L. R. G.; BENITES, V. M.; GATIBONI, L. C.; SOUSA, D. M. G.; NUNES, R. S.; ROSELEM, C. A.; ANDREOTE, F. D.; OLIVEIRA JUNIOR, A.; COUTINHO, E. L. M.; PAVINATO, P. S. Transitions to sustainable management of phosphorus in Brazilian agriculture. **Scientific Reports**, London, v. 8, n. 1, p.1-13, 2018.

## 6 CONCLUSÃO GERAL

A prospecção de bactérias solubilizadoras de fosfato permitiu selecionar três cepas com alto potencial para uso agrícola, identificadas como *Pantoea* sp., *Enterobacter* sp. e *Klebsiella* sp. Estas apresentaram capacidade de solubilização *in vitro* para fosfato de cálcio e de ferro, não ocasionaram danos à germinação e emergência de sementes de arroz, além de terem aumentado o comprimento e a massa fresca das raízes.

A inoculação do isolado AAC04 (*Klebsiella* sp.) propiciou ganhos significativos tanto no experimento em casa de vegetação, quanto no experimento em campo. Em casa de vegetação, aumentou-se a concentração de P do solo, respiração basal do solo, comprimento de raiz, massa fresca de parte aérea, e massa fresca e seca da raiz com cerca de 33% de redução de adubação fosfatada. Elevou, ainda, o teor de P nas raízes das plantas independentemente das doses de P. No experimento em campo a inoculação de AAC04 associado a dose de 46,6 kg ha<sup>-1</sup> proporcionou teores de P do solo e de P foliar equivalentes, e teores de P dos grãos superiores àqueles encontrados nas plantas não inoculadas e fertilizadas com 70 kg ha<sup>-1</sup> de P. Em comparação aos demais isolados, o AAC04 proporcionou maior número de panículas por metro quadrado e de grãos cheios e totais por panícula.

O isolado de *Klebsiella* sp. demonstrou grande potencial para a solubilização de P e promoção do crescimento de plantas. Para os próximos passos, recomenda-se testar a inoculação juntamente com diferentes doses de P, a fim de se recomendar doses ótimas de P a serem empregadas para arroz de terras altas. Além disso, o isolado pode ser testado em outras culturas e ambientes de cultivo, gerando dados robustos para a concreta indicação da utilização, ou não, do isolado em ambientes de cultivo.

No experimento em casa de vegetação, a inoculação do isolado AAC02 (*Enterobacter* sp.) juntamente com a dose de 46,6 kg ha<sup>-1</sup> de P aumentou a respiração basal do solo e a massa fresca de parte aérea. A inoculação do isolado AAC01 (*Pantoea* sp.) incrementou a respiração basal do solo de forma linear até a dose de 70 kg ha<sup>-1</sup> de P e aumentou a massa fresca da raiz na dose de 46,6 kg ha<sup>-1</sup>. No entanto, no experimento em campo esses isolados não mantiveram efeitos tão pronunciados. Para trabalhos futuros, a co-inoculação destes dois isolados merece ser estudada, visando ampliar o potencial de ganhos obtidos quando os micro-organismos são utilizados separadamente.

As doses de P utilizadas aumentaram os teores de P dos grãos de arroz, o teor de P nas raízes, a massa seca de parte aérea e a altura das plantas.