

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO

LUCÍA HELENA NÚÑEZ BUZÓ

**POTENCIAL BIOTECNOLÓGICO DE BACTÉRIAS
SOLUBILIZADORAS DE FOSFATO DE PLANOSSOLOS E
LUVISSOLOS DO NORDESTE BRASILEIRO**

**Recife
2021**

Lucía Helena Núñez Buzó
Lic. (MSc) Ciências Biológicas

**POTENCIAL BIOTECNOLÓGICO DE BACTÉRIAS SOLUBILIZADORAS DE
FOSFATO DE PLANOSSOLOS E LUVISSOLOS DO NORDESTE BRASILEIRO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciência do Solo.

Orientadora: Profa. Dra. Giselle Gomes Monteiro Fracetto

Coorientador: Prof. Dr. Clístenes Williams Araújo do Nascimento

**Recife
2021**

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

N972p Buzo, Lucía Helena Nunez
Potencial biotecnológico de bactérias solubilizadoras de fosfato de Planossolos e Luvisolos do Nordeste brasileiro / Lucía Helena Nunez Buzo. - 2021.
139 f. : il.

Orientadora: Giselle Gomes Monteiro .
Coorientador: Clistenes Williams Araujo do Nascimento.
Inclui referências, apêndice(s) e anexo(s).

Tese (Doutorado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Recife, 2021.

1. Fósforo. 2. Bactérias do solo. 3. Horizontes. 4. Biofertilizante fosfatado. 5. Zea mays. I. , Giselle Gomes Monteiro, orient. II. Nascimento, Clistenes Williams Araujo do, coorient. III. Título

CDD 631.4

LUCÍA HELENA NÚÑEZ BUZÓ

Potencial biotecnológico de bactérias solubilizadoras de fosfato de Planossolos e Luvisolos do Nordeste brasileiro

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciência do Solo.

Aprovada em 20 de Outubro de 2021

Profa. Dra. Giselle Gomes Monteiro Fracetto
Universidade Federal Rural de Pernambuco.
Orientadora

BANCA EXAMINADORA

Dra. Christiane Abreu De Oliveira Paiva.
EMBRAPA Milho e Sorgo

Prof. Dr. Lucas Carvalho Basilio de Azevedo.
Universidade Federal de Uberlândia

Prof. Dr. Arthur Prudêncio de Araujo Pereira.
Universidade Federal do Ceará

Dr. Felipe José Cury Fracetto.
Universidade Federal Rural de Pernambuco

DEDICO

*A minha avó materna Nelly Corchs (in memoriam),
mulher inteligente, protetora e lutadora. Não tenho
palavras para descrever a saudade que sinto por
você. Q.D.E.P.*

AGRADECIMENTOS

À OEA-GCUB, PPGCS-UFRPE e CAPES por ter me selecionado e pela concessão da bolsa de estudo.

A minha família pelo apoio e motivação para continuar com meus estudos ainda em momentos difíceis.

A meu noivo Arturo, pelo carinho, paciência, ajuda e experiências vividas nesse período de crescimento profissional e pessoal.

A minha orientadora Professora Dra. Giselle Gomes Monteiro Fracetto, pela orientação, confiança e apoio em todos os momentos da pesquisa.

A meu coorientador Professor Dr. Clístenes Araújo do Nascimento pela disposição e colaboração para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Dr. William Ramos da Silva e a Dra. Simone Lins do Grupo de Pesquisa de Química Ambiental de Solos do PPGCS da UFRPE pela disponibilidade e capacitação nos análises de nutrientes em plantas.

À Dra. Tereza Cristina de Assis do Laboratório de Fitopatologia do IPA pela amabilidade e por ter me auxiliado e capacitado nos análises de controle biológico.

À Dra. Christiane Abreu de Oliveira Paiva pesquisadora da EMBRAPA Milho e Sorgo pelas valiosas contribuições e disponibilidade para responder qualquer dúvida.

Aos colegas e amigos do grupo de pesquisa em Microbiologia de Solos do PPGCS em especial a Adriana Bezerra, Petrônio Mendes, Stella Carvalho, Cintia Gouveia, Sueide da Silva e os estagiários Marina e Yure pelas experiências vividas e contribuições.

Aos Professores do PPGCS da UFRPE em especial a Felipe Cury, Giselle Gomes, Valdomiro Souza, Matheus Ribeiro Filho, Clístenes Nascimento, Maria Betânia Galvão, Jean Barros, Caroline Biondi, Ana Dolores Freire e Erika Valente, obrigada pela hospitalidade, ensinamentos e valiosas contribuições que levarei para sempre.

Ao Dr. José Nildo Tabosa do IPA por providenciar as sementes de milho.

À empresa FOSPRATA pela disponibilização da rocha fosfática.

Aos membros da banca examinadora pelas valiosas sugestões.

A todas as personas que contribuíram de alguma forma para o desenvolvimento desta pesquisa.

Obrigada!!!

"A scientist in his laboratory is not a mere technician, he is also a child confronting natural phenomena that impress him as though they were fairy tales."

Marie Curie

POTENCIAL BIOTECNOLÓGICO DE BACTÉRIAS SOLUBILIZADORAS DE FOSFATO DE PLANOSSOLOS E LUVISSOLOS DO NORDESTE BRASILEIRO

RESUMO GERAL

O fósforo (P) é o segundo macronutriente necessário para o crescimento das plantas. Participa de diversos processos como a fotossíntese e síntese de ácidos nucleicos e proteínas. A maioria dos solos apresentam uma baixa disponibilidade de P limitando o desenvolvimento das culturas. A utilização de bactérias solubilizadoras de fosfato (BSF) é uma alternativa sustentável para a substituição de fertilizantes fosfatados que representam um grande custo para a agricultura e podem afetar o ambiente causando eutrofização de corpos de água e acumulação de metais pesados no solo, afetando a saúde do mesmo. Os Planossolos e Luvisolos são ordens de solos representativos da região Nordeste do Brasil. Contudo, existem poucos trabalhos de prospecção de BSF com alto potencial biotecnológico. O primeiro objetivo do trabalho foi selecionar e caracterizar BSF isoladas de horizontes superficiais e subsuperficiais de 4 perfis de Planossolos e 4 perfis de Luvisolos do Nordeste brasileiro. Para o isolamento e seleção das BSF foi usado o meio sólido NBRIP. Para cada amostra foi determinada o número de UFC.g⁻¹ de solo e realizada a caracterização morfofisiológica das bactérias em relação a cor, forma, elevação, borda e superfície e calculado o índice de solubilização de fosfato (IS). Foram caracterizadas um total de 170 isolados bacterianos, dos quais, 96 provenientes de Planossolos e 74 de Luvisolos. Os resultados de bactérias variaram significativamente entre os horizontes ($p < 0,05$) dos perfis estudados. A maioria das BSF apresentou um IS médio e uma grande variedade morfofisiológica. Todos os isolados foram capazes de solubilizar fosfato de cálcio em meio líquido apresentando diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os isolados e o controle. O segundo objetivo do trabalho foi avaliar o efeito da inoculação em milho (*Zea mays*) de oito BSF selecionadas previamente (PL1A, PL1B, PL2L, PL3J, PL6A, PL18E, LU10E, LU13C) de acordo com diferenças morfofisiológicas; solubilização de fosfato de cálcio no meio líquido NBRIP ≥ 160 mg.L⁻¹; eficiência de solubilização e apresentar pelo menos um mecanismo de promoção do crescimento vegetal como alta produção de AIA, exopolissacarídeos, ou solubilização Zn e antagonismo com *Fusarium* sp. Sementes de milho foram inoculadas separadamente e semeadas em um solo com baixo teor de fósforo com diferentes fontes de fósforo: P- (sem fósforo), superfosfato simples (SFS); fosfato natural reativo (FNR) e a combinação SFS+FNR. Adicionalmente, foi realizado um tratamento controle (sem inocular). O experimento foi instalado em esquema factorial, e conduzido em casa de vegetação por 40 dias e avaliados a disponibilidade de fósforo no solo, massa seca de raiz e parte aérea e teor de nutrientes na parte aérea. De modo geral, os resultados de fósforo disponível no solo, biomassa seca e teor de nutrientes foram superiores para os tratamentos inoculados em relação aos não inoculados. As BSF selecionadas apresentaram potencial para o desenvolvimento de um biofertilizante fosfatado, sendo necessárias futuras avaliações no campo.

Palavras-chave: Fósforo. Bactérias do solo. Horizontes. Biofertilizante fosfatado. *Zea mays*.

BIOTECHNOLOGICAL POTENTIAL OF PHOSPHATE SOLUBILIZING BACTERIA OF PLANOSOLS AND LUVISOLS FROM NORTHEASTERN BRAZIL

GENERAL ABSTRACT

Phosphorus (P) is the second macronutrient needed for plant growth. It participates in several biological processes such as photosynthesis and nucleic acid and protein synthesis. However, most soils have a low availability of P, limiting crop development. The use of phosphorus solubilizing bacteria (PSB) is a sustainable alternative for replacing phosphate fertilizers which represent a great cost for agriculture and can negatively affect the environment causing eutrophication of water bodies and accumulation of heavy metals in soil, affecting the soil health. Planosols and Luvisols are some of the most representative soil in the Northeast region of Brazil. Nevertheless, there are few prospecting studies for PSB with high biotechnological potential. One of the aim of this work was to select and characterize PSB isolated from superficial and subsurface horizons of 4 profiles of Planosols and 4 profiles of Luvisols from the Northeast of Brazil. For the isolation and selection of the PSB was used NBRIP solid medium. For each Petri dish was determined the CFU.g⁻¹ of soil and the morphophysiological characterization of the bacteria in relation to color, shape, elevation, edge, surface and calculated the phosphate solubilization index (SI). A total of 170 bacteria were characterized, of which 96 correspond to Planosols profiles and 74 to Luvisols profiles. The results of bacteria varied significantly between horizons ($p < 0.05$) for the studied profiles. Most PSB showed a medium SI and a large morphophysiological variation. All isolates were able to solubilize calcium phosphate in liquid medium showing significant differences ($p < 0.05$) between the isolates and the control. The second objective of the work was to evaluate the effect of inoculation in maize (*Zea mays*) of eight selected PSB (PL1A, PL1B, PL2L, PL3J, PL6A, PL18E, LU10E, LU13C) according to morphophysiological differences; solubilization of calcium phosphate in NBRIP liquid medium ≥ 160 mg.L⁻¹; calcium phosphate solubilization efficiency without significant reduction of solubilization capacity over time and at least one plant growth promotion mechanism such as high production of IAA, exopolysaccharides, or Zn solubilization or antagonism with *Fusarium* sp. Maize seeds were inoculated separately and cultivated in a low phosphorus soil with different phosphorus sources: P- (no phosphorus), simple superphosphate (SSP), reactive rock phosphate (RP) and SSP+RP combination. Additionally, a control treatment (without inoculation) was performed. The experiment was installed in factorial scheme and carried out under greenhouse conditions for 40 days and evaluated phosphorus availability in soil, root and shoot dry mass and shoot nutrient content. In general, the results of phosphorus availability in soil, dry biomass and shoot nutrient content were higher for the inoculated treatments compared to the non-inoculated. The selected isolates showed potential for the development of a phosphate biofertilizer, requiring their field evaluation.

Keywords: Phosphorus. Soil bacteria. Horizons. Phosphate biofertilizer. *Zea mays*.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I	22
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23

Figura 1. Dinâmica do fósforo (P) no solo. O P na fase sólida do solo encontra-se na forma orgânica imobilizado em restos de plantas, animais e tecidos microbianos ou na forma inorgânica formando parte dos minerais primários como apatita ou fixado aos minerais de argila ou óxidos e hidróxidos de Fe e Al. Na solução do solo, as plantas absorvem e assimilam o P na forma de ions de ortofosfatos, os quais apresentam uma baixa disponibilidade e mobilidade na maioria dos solos tropicais. Adaptado de Finck et al. (2016)..... 27

Figura 2. Representação esquemática da importância dos micro-organismos para a disponibilidade de fósforo (P) no solo. Os micro-organismos desempenham um papel crítico na transformação do P no solo por meio de reações de solubilização e mineralização transformando o P não disponível a formas de P disponível ($H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-}), e pela imobilização de P. Fonte: modificado de Richardson e Simpson (2011) 33

CAPÍTULO II	50
3. BIOPROSPEÇÃO DE BACTÉRIAS SOLUBILIZADORAS DE FOSFATO ISOLADAS DE SOLOS DO NORDESTE BRASILEIRO COM POTENCIAL USO NA AGRICULTURA	51

Figura 1. Localização dos pontos da coleta (PL1: Serra Talhada; PL2: Belém de São Francisco; PL3: Lagoa de Ouro; PL4: Camutanga; LU1: Itacuruba; LU2: Itacuruba; LU3: Serra Talhada; LU4: Afogados de Ingazeira) no estado de Pernambuco, Brasil. Fonte: Google Earth..... 56

Figura 2. A. Bactérias solubilizadoras de fosfato de cálcio isoladas em meio de cultura NBRIP, a presença de halo em torno da colônia indica a solubilização de fosfato. B. Diâmetro da zona do halo (zeta azul) e diâmetro da colônia (zeta laranja). Foto da autora..... 60

Figura 3. Abundância de bactérias totais (\log_{10} UFC.g⁻¹) de cada horizonte dos 4 perfis de Planossolos. Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade. 64

Figura 4. Percentagem de bactérias totais com halo de cada horizonte dos 4 perfis de Planossolos.....	65
Figura 5. Abundância de bactérias totais (\log_{10} UFC.g ⁻¹) de cada horizonte dos 4 perfis de Luvisolos. Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade	66
Figura 6. Percentagem de bactérias totais com halo de cada horizonte dos 4 perfis de Luvisolos.....	66
Figura 7. Bactérias solubilizadoras de fosfato isoladas de Planossolos e Luvisolos. Foto da autora.	68
Figura 8. Fósforo solúvel ao 5º, 7º e 9º dia após a inoculação de bactérias isoladas do perfil 1 de Planossolo. Barras verticais representam o desvio padrão das médias n=3	70
Figura 9. Fósforo solúvel ao 5º, 7º e 9º dia após a inoculação de bactérias isoladas do perfil 2 de Planossolo. Barras verticais representam o desvio padrão das médias n=3	71
Figura 10. Fósforo solúvel ao 5º, 7º e 9º dia após a inoculação de bactérias isoladas do perfil 3 de Planossolo. Barras verticais representam o desvio padrão das médias n=3	73
Figura 11. Valores de fósforo solúvel (P) ao 5º, 7º e 9º dia após a inoculação de bactérias isoladas do perfil 4 de Planossolo. Barras verticais representam o desvio padrão das médias n=3.....	75
Figura 12. Valores de fósforo solúvel (P) ao 5º, 7º e 9º dia após a inoculação de bactérias isolados do perfil 1 de Luvisolo. Barras verticais representam o desvio padrão das médias n=3.....	76
Figura 13. Valores de fósforo solúvel (P) ao 5º, 7º e 9º dia após a inoculação de bactérias isoladas do perfil 2 de Luvisolo. Barras verticais representam o desvio padrão das médias n=3.....	77
Figura 14. Valores de fósforo solúvel (P) ao 5º, 7º e 9º dia após a inoculação de bactérias isoladas do perfil 3 de Luvisolo. Barras verticais representam o desvio padrão das médias n=3.....	78

Figura 15. Valores de fósforo solúvel (P) ao 5º, 7º e 9º dia após a inoculação de bactérias isoladas do perfil 4 de Luvissole. Barras verticais representam o desvio padrão das médias n=3 80

Figura 16. Exopolissacarídeos produzidos pelas bactérias solubilizadoras de fosfato PL1A, PL3J, PL6A, PL18E, LU10E, LU3D, PL1E, PL2L, LU13C, isoladas de Planossolos e Luvissoles..... 81

Figura 17. Ensaio de antagonismo: confronto de *Fusarium sp.* (centro da placa) e as bactérias PL1A, PL1B, PL2L, PL3J, PL6A, PL18E LU10E e LU13C, isoladas de Planossolos e Luvissoles inoculadas em 4 pontos equidistantes 83

CAPÍTULO III 98

4. INOCULAÇÃO DE BACTÉRIAS SOLUBILIZADORAS DE FOSFATO PROVENIENTES DE PLANOSSOLOS E LUVISSOLOS PROMOVEM CRESCIMENTO EM MILHO (*Zea mays*)..... 99

Figura 1. Aplicação dos inoculantes bacterianos sobre a superfície das sementes de milho previamente desinfetadas 105

Figura 2. Plantas de milho aos 40 dias de inoculação com BSF e diferentes fontes de fósforo..... 107

Figura 3. Plantas de milho em resposta aos tratamentos P(-) controle (esquerda) e FNR inoculado com LU10E (direita), aos 40 dias de inoculação 109

Figura 4. Plantas de milho em resposta aos tratamentos P(-) controle (esquerda) e SFS inoculado com LU13C (direita), aos 40 dias de inoculação 109

Figura 5. Plantas de milho em resposta aos tratamentos P(-) controle (esquerda) e SFS+FNR inoculado com LU13C (direita), aos 40 dias de inoculação 110

Figura 6. Plantas de milho em resposta aos tratamentos P(-) controle (esquerda) e SFS+FNR inoculado com PL1B (direita), aos 40 dias de inoculação 110

Figura 7. Raízes das plantas de milho em resposta aos tratamentos P(-) controle, P(-) PL1A, SFS PL1A, FNR PL1A, SFS+FNR PL1A (de esquerda a direita), aos 40 dias de inoculação 112

Figura 8. Raízes das plantas de milho em resposta aos tratamentos P(-) controle, P(-) PL1B, SFS PL1B, FNR PL1B, SFS+FNR PL1B (de esquerda a direita), aos 40 dias de inoculação.....112

Figura 9. Plantas de milho em resposta aos tratamentos P(-) controle (esquerda) e SFS inoculado com PL1B (direita), aos 40 dias de inoculação114

Figura 10. Plantas de milho em resposta aos tratamentos P(-) controle (esquerda) e FNR inoculado com PL1B (direita), aos 40 dias de inoculação.....115

Figura 11. Plantas de milho em resposta aos tratamentos P(-) controle (esquerda) e FNR inoculado com PL6A (direita), aos 40 dias de inoculação.....115

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO II.....50

3. BIOPROSPEÇÃO DE BACTÉRIAS SOLUBILIZADORAS DE FOSFATO ISOLADAS DE SOLOS DO NORDESTE BRASILEIRO COM POTENCIAL USO NA AGRICULTURA.....51

Tabela 1. Localização dos perfis de Planossolos, precipitação média anual (PMA), temperatura média anual (TMA) e vegetação do local . ST: Serra Talhada, BF: Belém de São Francisco, LO: Lagoa de Ouro, CA: Camutanga.....57

Tabela 2. Localização dos perfis de Luvisolos, precipitação média anual (PMA), temperatura média anual (TMA), altitude e vegetação do local. IT: Itacuruba, ST: Serra Talhada, AI: Afogados de Ingazeira.....57

Tabela 3. Índices de diversidade dos isolados de Planossolos e Luvisolos.....68

Tabela 4. Potencial de solubilização de fosfato de cálcio em meio líquido NBRIP dos isolados do perfil 1 de Planossolo ao 5º, 7º e 9º dia de incubação e pH do meio ao 9º dia de incubação 69

Tabela 5. Potencial de solubilização de fosfato de cálcio em meio líquido NBRIP dos isolados do perfil 2 de Planossolo ao 5 dia de incubação..... 70

Tabela 6. Potencial de solubilização de fosfato de cálcio em meio líquido NBRIP dos isolados do perfil 3 de Planossolo ao 5º, 7º e 9º dia de incubação e pH do meio ao 9º dia de incubação.....72

Tabela 7. Potencial de solubilização de fosfato de cálcio em meio líquido NBRIP dos isolados do perfil 4 de Planossolo ao 5 dia de incubação..... 74

Tabela 8. Potencial de solubilização de fosfato de cálcio em meio líquido NBRIP dos isolados do perfil 1 de Luvisolos ao 5º, 7º e 9º dia de incubação e pH do meio ao 9º dia de incubação..... 76

Tabela 9. Potencial de solubilização de fosfato de cálcio em meio líquido NBRIP dos isolados do perfil 2 de Luvisolo ao 5º, 7º e 9º dia de incubação e pH do meio ao 9º dia de incubação77

Tabela 10. Potencial de solubilização de fosfato de cálcio em meio líquido NBRIP dos isolados do perfil 3 de Luvissole ao 5º, 7º e 9º dia de incubação e pH do meio ao 9º dia de incubação 78

Tabela 11. Potencial de solubilização de fosfato de cálcio em meio líquido NBRIP dos isolados do perfil 4 de Luvissole ao 5º, 7º e 9º dia de incubação e pH do meio ao 9º dia de incubação.79

Tabela 12. Índice de solubilização de zinco (ISZn) e produção de AIA e EPS dos isolados que apresentaram uma solubilização de $P > 160 \text{ mg.L}^{-1}$ 81

Tabela 13. Crescimento micelar do *Fusarium* sp. inoculado com as bactérias PL1A, PL1B, PL2L, PL3J, PL6A, PL18E, LU10E e LU13C, isoladas de Planossolos e Luvissoles durante 7 dias de crescimento 82

CAPÍTULO III..... 98

4. INOCULAÇÃO DE BACTÉRIAS SOLUBILIZADORAS DE FOSFATO

PROVENIENTES DE PLANOSSOLOS E LUVISSOLOS PROMOVEM

CRESCIMENTO EM MILHO (*Zea mays*)..... 99

Tabela 1. Características das bactérias solubilizadoras de fosfato de cálcio selecionadas isoladas de Planossolos e Luvissoles. A seleção das bactérias foi baseada em diferenças morfofisiológicas, solubilização de fosfato de cálcio $\geq 160 \text{ mg.L}^{-1}$ sem redução significativa da capacidade de solubilização ao longo do tempo e apresentar pelo menos um mecanismo de promoção do crescimento vegetal como alta produção de AIA, EPS, ou ISZn e antagonismo com *Fusarium* sp..... 104

Tabela 2. Fósforo disponível no solo dos tratamentos sem P (P-), superfosfato simples (SFS), fosfato natural reativo (FNR) e SFS+FNR, inoculados com PL1A, PL1B, PL2L, PL3J, PL6A, PL18E, LU10E, LU13C e controle (sem inocular).....111

Tabela 3. Massa seca de raiz (MSR) das plantas de milho para os tratamentos sem P (P-), superfosfato simples (SFS), fosfato natural reativo (FNR) e SFS + FNR, inoculados com PL1A, PL1B, PL2L, PL3J, PL6A, PL18E, LU10E, LU13C e controle (sem inocular) 113

Tabela 4. Massa seca da parte aérea (MSPA) das plantas de milho para os tratamentos sem P (P-), superfosfato simples (SFS), fosfato natural reativo (FNR) e mistura SFS + FNR, inoculados com PL1A, PL1B, PL2L, PL3J, PL6A, PL18E, LU10E, LU13C e controle (sem inocular)..... 114

Tabela 5. Teor de N, P, K, Ca e Mg da parte aérea de milho para os tratamentos sem P (P-), superfosfato simples (SFS), fosfato natural reativo (FNR) e mistura SFS + FNR inoculado com BSF PL1A, PL1B, PL2L, PL3J, PL6A, PL18E, LU10E, LU13C e controle (sem inocular)..... 117

Tabela 6. Teor de Cu, Fe, Mn e Zn da parte aérea de milho para os tratamentos P(-), SFS, FNR e SFS+FNR inoculado com BSF PL1A, PL1B, PL2L, PL3J, PL6A, PL18E, LU10E, LU13C e controle (sem inocular) 118

ANEXOS..... 126

Tabela 1. Características químicas dos Planossolos 126

Tabela 2. Características químicas dos Luvisolos 127

Tabela 3. MEIO NBRIP (Nautiyal, 1999) 128

Tabela 4. Caldo de Triptona de Soja (TSB)..... 128

Tabela 5. Tris Mineral Salt (Suleman et al., 2018)..... 128

Tabela 6. Meio para avaliar produção de exopolissacarídeos (GUIMARÃES et al., 1999 com modificações)..... 129

APÊNDICE A. Características morfofisiológicas e dendrograma de similaridade das bactérias isoladas..... 130

Tabela 1. Características morfofisiológicas das bactérias isoladas do perfil 1 de Planossolo, segundo, cor, forma, elevação, borda, superfície, halo, índice de solubilização (IS) e capacidade solubilizadora (CA)..... 130

Tabela 2. Características morfofisiológicas das bactérias isoladas do perfil 2 de Planossolo, segundo, cor, forma, elevação, borda, superfície, halo, índice de solubilização (IS) e capacidade solubilizadora (CA)..... 131

Tabela 3. Características morfofisiológicas das bactérias isoladas do perfil 3 de Planossolo, segundo, cor, forma, elevação, borda, superfície, halo, índice de solubilização (IS) e capacidade solubilizadora (CA)..... 132

Tabela 4. Características morfofisiológicas das bactérias isoladas do perfil 4 de Planossolo, segundo, cor, forma, elevação, borda, superfície, halo, índice de solubilização (IS) e capacidade solubilizadora (CA)..... 133

Tabela 5. Características morfofisiológicas das bactérias isoladas do perfil 1 de Luvissole, segundo, cor, forma, elevação, borda, superfície, halo, índice de solubilização (IS) e capacidade solubilizadora (CA).....	134
Tabela 6. Características morfofisiológicas das bactérias isoladas do perfil 2 de Luvissole, segundo, cor, forma, elevação, borda, superfície, halo, índice de solubilização (IS) e capacidade solubilizadora (CA).....	135
Tabela 7. Características morfofisiológicas das bactérias isoladas do perfil 3 de Luvissole, segundo, cor, forma, elevação, borda, superfície, halo, índice de solubilização (IS) e capacidade solubilizadora (CA).....	136
Tabela 8. Características morfofisiológicas das bactérias isoladas do perfil 4 de Luvissole, segundo, cor, forma, elevação, borda, superfície, halo, índice de solubilização (IS) e capacidade solubilizadora (CA).....	137
DENDROGRAMA.....	138
Dendrograma de Similaridade dos isolados de Planossolos.....	138
Dendrograma de Similaridade dos isolados de Luvissoles.....	139

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	19
1.1 Hipóteses	20
1.2 Objetivos	20
1.2.1 Objetivo geral.....	20
1.2.2 Objetivos específicos	21
CAPÍTULO I	22
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
2.1 Solos e ambiente agrícola na região Nordeste do Brasil.....	23
2.2 Saúde do solo	24
2.3 Importância do fósforo e sua dinâmica no solo	25
2.4 Fertilizantes fosfatados	28
2.5 Micro-organismos solubilizadores de fosfato (MSF).....	29
2.5.1 Bactérias solubilizadoras de fosfato (BSF)	30
2.6 Mecanismos de solubilização de fósforo no solo	31
2.7 Uso de biofertilizantes para uma agricultura sustentável	35
Referências Bibliográficas.....	37
CAPÍTULO II	50
3. BIOPROSPEÇÃO DE BACTÉRIAS SOLUBILIZADORAS DE FOSFATO ISOLADAS DE SOLOS DO NORDESTE BRASILEIRO COM POTENCIAL USO NA AGRICULTURA	51
3.1 Introdução	53
3.2 Material e métodos.....	55
3.2.1 Descrição da área de estudo.....	55
3.2.2 Isolamento e caracterização fenotípica de BSF	58
3.2.3 Capacidade de solubilização de fosfato de cálcio dos isolados.....	59
3.2.4 Solubilização de Zinco (Zn)	61
3.2.5 Produção de ácido indol-acético (AIA).....	62
3.2.6 Produção de exopolissacarídeos (EPS)	62
3.2.7 Ensaio de antagonismo (Controle biológico)	63
3.2.8 Análises estatísticas.....	63
3.3 Resultados.....	64
3.3.1 Abundância de bactérias	64
3.3.2 Caracterização fenotípica dos isolados bacterianos e capacidade de solubilização de fosfato de cálcio	67
3.3.3 Eficiência de solubilização de fosfato de cálcio em líquido.....	68
3.3.4 Solubilização de Zn, produção AIA, formação de EPS.....	80
3.3.5 Ensaio de antagonismo (controle biológico)	82

3.4 Discussão	83
3.4.1 Abundância de bactérias solubilizadoras de fósforo	83
3.4.2 Capacidade de solubilização de fosfato de cálcio	84
3.4.3 Solubilização de Zn, produção AIA, formação de EPS e controle biológico	85
3.5 Conclusões	87
Referências Bibliográficas	88
CAPÍTULO III	98
4. INOCULAÇÃO DE BACTÉRIAS SOLUBILIZADORAS DE FOSFATO PROVENIENTES DE PLANOSSOLOS E LUVISSOLOS PROMOVEM CRESCIMENTO EM MILHO (<i>Zea mays</i>)	99
4.1 Introdução	101
4.2 Material e métodos	103
4.2.1 Seleção das BSF	103
4.2.2 Preparo e aplicação do inóculo bacteriano	104
4.2.3 Instalação do experimento em casa de vegetação	105
4.2.4 Fósforo disponível no solo	107
4.2.5 Crescimento vegetal	108
4.2.6 Análises estatísticas	108
4.3 Resultados	108
4.3.1 Fósforo disponível no solo	108
4.3.2 Crescimento vegetal	111
4.3.3 Nutrientes em plantas de milho	116
4.4 Discussão	119
4.5 Conclusões	120
Referências Bibliográficas	120
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	125
ANEXOS	126
ANEXO A Características químicas dos Planossolos e Luvisolos	126
ANEXO B	128
ANEXO C	128
ANEXO D	128
ANEXO E	129
APÊNDICE A Características morfofisiológicas e dendrograma de similaridade das bactérias isoladas	130
DENDROGRAMA	138

1. INTRODUÇÃO

O fósforo (P) é um elemento essencial para o desenvolvimento das culturas vegetais. A maioria dos solos do mundo, apresentam uma baixa disponibilidade de P para as plantas, havendo necessidade de adicionar fertilizantes fosfatados pela alta adsorção deste elemento, principalmente em solos tropicais. No Brasil, grande parte dos fertilizantes fosfatados são importados, o que implica elevados custos para os agricultores. Adicionalmente, as reservas de rocha fosfática são finitas e vários estudos têm demonstrado que o uso excessivo de fertilizantes pode causar eutrofização de corpos de água assim como alterações na comunidade edáfica afetando negativamente a fertilidade do solo e conseqüentemente a saúde do mesmo. Sendo assim, o uso de micro-organismos benéficos na forma de biofertilizantes (inoculantes) é uma alternativa economicamente e ambientalmente sustentável.

As bactérias solubilizadoras de fosfato (BSF) são micro-organismos edáficos capazes de hidrolisar compostos inorgânicos de P como o fosfato de cálcio, principalmente a partir da produção de ácidos orgânicos. Estas bactérias desempenham uma função primordial no ciclo do P aumentando a disponibilidade desse nutriente no solo.

Várias BSF foram isoladas do solo e do interior de tecidos vegetais (endofíticas). Entre elas, destacam-se os gêneros *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Rhizobium*, *Agrobacterium*, *Burkholderia* e as actinobactérias. Além disso, estas bactérias podem apresentar outros efeitos benéficos para as plantas como a produção de fitormônios, exopolissacarídeos, antibióticos e solubilização de zinco.

No Brasil, a EMBRAPA, em parceria com a empresa BIOMA, lançaram recentemente o primeiro produto biológico para milho que permite aumentar a disponibilidade de fósforo. O inoculante consiste em um consórcio de duas linhagens selecionadas de *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium*.

No entanto, o uso de biofertilizantes continua sendo um desafio pela variedade de solos, climas, culturas e microbiota nativa que pode afetar a eficiência do bioinsumo.

A região Nordeste do Brasil, abrange uma área de 1,55 milhões de km² com diferentes ambientes e solos sendo uma grande fonte de biodiversidade. A maior parte do território tem clima semiárido caracterizado por altas temperaturas, curtos períodos de chuvas e prolongados períodos de seca. Os fatores climáticos e antropogênicos

da região têm provocado a degradação dos solos como acontece com os Planossolos e Luvisolos, havendo perda da produtividade biológica e eficiência econômica. Portanto, a busca de práticas sustentáveis como o uso de micro-organismos benéficos são cada vez mais valorizadas no mundo. Além disso, no Nordeste Brasileiro, ainda são necessários mais estudos de prospecção de BSF com alto potencial biotecnológico.

Sendo assim, o presente trabalho surgiu a partir da necessidade de conhecer a abundância de BSF ao longo dos horizontes pedogenéticos de Planossolos e Luvisolos, os quais demonstraram em pesquisas paralelas uma alta disponibilidade de fósforo. Dessa forma, as bactérias com maior potencial de solubilização de fosfato foram selecionadas *in vitro* e avaliados os efeitos da inoculação em milho da variedade São José recomendada para cultivo no Nordeste.

1.1 Hipóteses

- a. Existe uma grande diversidade de BSF nos horizontes superficiais e subsuperficiais de 4 perfis de Planossolos e 4 perfis de Luvisolos do Nordeste brasileiro.
- b. As bactérias isoladas de Planossolos e Luvisolos apresentam capacidade de solubilização de fosfato de cálcio e outros mecanismos promotores do crescimento vegetal como a produção de fitormônios, exopolissacarídeos e solubilização de zinco.
- c. A inoculação de BSF em milho aumenta a disponibilidade de fósforo no solo, e o crescimento vegetal.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Selecionar BSF de solos do Nordeste brasileiro para o desenvolvimento de um biofertilizante.

1.2.2 Objetivos específicos

- a. Isolar e caracterizar morfológicamente as BSF ao longo dos horizontes pedogenéticos de Planossolos e Luvisolos;
- b. Determinar a capacidade das bactérias em solubilizar o fosfato de cálcio como única fonte de fósforo *in vitro*;
- c. Quantificar e determinar a eficiência das BSF em meio líquido com fosfato de cálcio;
- d. Determinar a produção de ácido indol acético (AIA), exopolissacarídeos (EPS), solubilização de Zn e antagonismo com *Fusarium* sp. provenientes das BSF;
- e. Avaliar o efeito da aplicação das BSF na disponibilidade de fósforo no solo e no crescimento de milho (*Zea mays*);

CAPÍTULO I

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Solos e ambiente agrícola na região Nordeste do Brasil

A região Nordeste do Brasil abrange uma grande variedade de ambientes e solos devido à diversidade de climas, tipos de material de origem, relevo e vegetação (MARQUES et al., 2014). As áreas semiáridas ocupam cerca de 60 % do território desta região, distribuídas em oito estados do Nordeste (OLIVEIRA et al., 2008). O semiárido brasileiro (SAB) apresenta uma população estimada de 23,15 milhões de pessoas, equivalente ao 12% da população nacional, sendo a região seca mais habitada do mundo (ROSSATO et al., 2017; ALVALÁ et al., 2019). Outras características do semiárido são altas temperaturas, curtos períodos de chuvas (entre 250-800 mm. ano⁻¹) e prolongados períodos de seca (ARAÚJO et al., 2020). No SAB predominam solos rasos a pouco profundos com afloramentos rochosos. Algumas das ordens mais representativas da região são os Luvisolos e Planossolos (ALVALÁ et al., 2019; MACEDO et al., 2021). Os Luvisolos constituem 13,3 % da região semiárida e se conhecem popularmente pelos agricultores locais como os “vermelhos do sertão” (CUNHA et al., 2010). São solos minerais com argila de alta atividade e eutróficos, com horizonte B textural subjacente a horizonte A ou E (OLIVEIRA et al., 2008). Estes solos variam de moderadamente ácidos a ligeiramente alcalinos e são ricos em nutrientes como Ca⁺², Mg⁺² e K⁺ (MARQUES et al., 2014). Devido à grande diferença textural entre o horizonte A e o horizonte Bt são altamente suscetíveis aos procesos erosivos (CUNHA et al., 2010).

Os Planossolos ocupam o 10,5 % do território semiárido, ocorrem tipicamente em áreas de cotas baixas, planas a suave onduladas (CUNHA et al., 2010). São solos imperfeitamente a mal drenados com acúmulo significativo de argila em subsuperfície (horizonte B plânico) e transição abrupta entre os horizontes A ou E, e o B plânico subjacente. O horizonte B possui estrutura colunar, prismática, em blocos, maciça ou combinações dessas formas (MARQUES et al., 2014). Geralmente, apresentam alta CTC, elevada saturação por bases e sorção de Na⁺ (EMBRAPA, 2006). A presença de horizonte B textural de baixa permeabilidade e a mudança textural abrupta são os principais condicionantes de sua elevada erodibilidade (CUNHA et al., 2010).

O bioma mais representativo do SAB é a Caatinga, ocupando um território de

aproximadamente 750.000 km² no Nordeste Brasileiro. A Caatinga é composta por uma vegetação xerófila de diversas espécies de Cactaceae e Bromeliaceae e árvores e arbustos baixos de aspecto seco dotados de espinhos, folhas pequenas e caducas no período seco (VASCONCELLOS et al., 2010; GIONGO et al., 2011; DE OLIVEIRA et al., 2012). Atualmente, a Caatinga é um dos ecossistemas mais ameaçados com apenas um 1 % da área conservada (DE OLIVEIRA et al., 2012). A produção agrícola da região é predominantemente familiar, consistindo em agricultura de sequeiro com baixos índices de produtividade e pecuária extensiva (ROSSATO et al., 2017; ALVALA et al., 2019).

Desde a década de 1970 o SAB tem sido explorado para diversos fins como agricultura e pecuária, sendo sujeito a fortes ações antrópicas, provocando alterações nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo e, conseqüentemente, afetando a saúde do solo (FREIRE et al., 2021). Além disso, os fatores climáticos e antropogênicos têm provocado o avanço da desertificação nos solos do Nordeste Brasileiro, particularmente no semiárido, resultando na perda da capacidade produtiva (NUNES et al., 2012; MACEDO et al., 2021; FREIRE et al., 2021; KEESSTRA et al., 2018; MACEDO et al., 2021).

No SAB, existem várias pesquisas focadas na busca de micro-organismos promotores do crescimento de plantas isolados da rizosfera ou endofíticos para o desenvolvimento de ferramentas biotecnológicas sustentáveis (MARTINS et al., 2003; DA SILVA et al., 2018; ANTUNES et al., 2019; SANTANA et al., 2020; NASCIMENTO et al., 2021). No entanto, visto a variabilidade de solos da região ainda são necessários estudos de prospecção de micro-organismos benéficos como bactérias solubilizadoras de fosfato (BSF), com alto potencial biotecnológico para a formulação de biofertilizantes como alternativa agrícola viável que permita disponibilizar nutrientes e melhorar a saúde do solo .

2.2 Saúde do solo

A saúde do solo é definida como a capacidade do solo em funcionar como um ecossistema vivo, sustentando as necessidades das plantas, animais e humanos (HANEY et al., 2018; CHU et al., 2019; LEHMANN et al., 2020).

Mediante o uso de indicadores biológicos, físicos e químicos é possível determinar a saúde do solo (TRIVEDI et al., 2016). Alguns exemplos de indicadores

são a composição microbiana do solo, conteúdo da matéria orgânica, respiração microbiana, atividades enzimáticas, textura, densidade, porosidade, capacidade de retenção de água, conteúdo de nutrientes, capacidade de troca de cátions, pH, metais pesados, entre outros (CARDOSO et al., 2013; THOMAS et al., 2019; YAN et al., 2020; VAN ES; KARLEN, 2019).

A atividade microbiana do solo é um componente fundamental da saúde do solo (OZLU et al., 2019). Os micro-organismos respondem rapidamente às mudanças do ecossistema sendo excelentes indicadores. Um solo saudável mantém uma alta diversidade de organismos edáficos que ajudam a controlar fitopatógenos, formar associações simbióticas com plantas e decompor a matéria orgânica. Adicionalmente, os micro-organismos do solo melhoram a estrutura e a capacidade de retenção da água e nutrientes do solo, aumentando a produtividade e sustentabilidade dos sistemas agrícolas (FAO, 2008; MANN et al., 2019; FROST et al., 2019; SAHU et al., 2019).

Os principais fatores que afetam a saúde do solo são a remoção da vegetação, mudanças climáticas e atividades agrícolas inadequadas. Estima-se que um 33 % dos solos do mundo estão degradados, devido a práticas de uso e manejo do solo não sustentáveis (FAO; ITPS, 2015). No entanto, várias pesquisas têm demonstrado que práticas conservacionistas do solo, como manter a cobertura vegetal, plantio direto, rotação de culturas, uso de biofertilizantes, entre outras, melhoram o estoque de carbono, a disponibilidade de nutrientes e a capacidade do solo de suprimir doenças de plantas devido ao incremento da diversidade e atividades dos micro-organismos benéficos (LAL, 2009; WALL et al., 2015; THAPA et al., 2018; DE MEDEIROS et al., 2019; JIAN et al., 2020).

2.3 Importância do fósforo e sua dinâmica no solo

O fósforo (P) é um elemento essencial para o crescimento de todos os seres vivos. Depois do nitrogênio (N), o P é o segundo nutriente mais necessário para o crescimento das plantas (HAMEEDA et al., 2008). Desempenha um papel fundamental no ecossistema participando de diversos processos como fotossíntese, respiração, metabolismo energético (ciclo ATP-ADP), fixação do nitrogênio e forma parte de diversas moléculas como nucleotídeos, fosfatos de inositol e fosfolípidos (CHEN; LIU, 2019).

A maioria dos solos do mundo apresentam uma baixa disponibilidade de P, limitando o desenvolvimento das culturas. Estudos afirmam que devido ao aumento da população mundial, a demanda de P será incrementada ainda mais na agricultura (ABDI et al., 2014; FERNÁNDEZ et al., 2015; ADNAN et al., 2017; KRÜGER; ADAM, 2017; MAHARAJAN et al., 2018).

O solo contém entre 400 a 1000 mg. kg⁻¹ de P total, dos quais apenas um 1-2,5 % está disponível para ser absorvido pelas plantas. Na solução do solo, as plantas absorvem e assimilam o P na forma de ions de ortofosfatos, os quais apresentam uma baixa disponibilidade e mobilidade na maioria dos solos (ADNAN et al., 2017; HERRERA-ESTRELLA; LOPEZ ARREDONDO, 2016). Na fase sólida, o fósforo encontra-se nas formas orgânica e inorgânica (mineral). A maior parte do P orgânico (20 a 80 %) encontra-se imobilizado em restos de plantas, compostos e tecidos microbianos, sendo o ácido fítico (hexafosfato de inositol) o maior componente orgânico (Pii et al., 2015). As formas inorgânicas de fósforo (Pi) consistem em apatita complexada com ferro (Fe), alumínio (Al) ou cálcio (Ca). Além disso, o Pi no solo pode ficar indisponível por meio da fixação aos minerais de argila ou óxidos de ferro e alumínio, ou devido às reações de precipitação com cátions, como Ca e Mg em solos com pH neutro ou alcalino ou Fe e Al em solos com pH ácido (SHARMA et al., 2013; ADNAN et al., 2017; CHEN; LIU, 2019) (Figura 1).

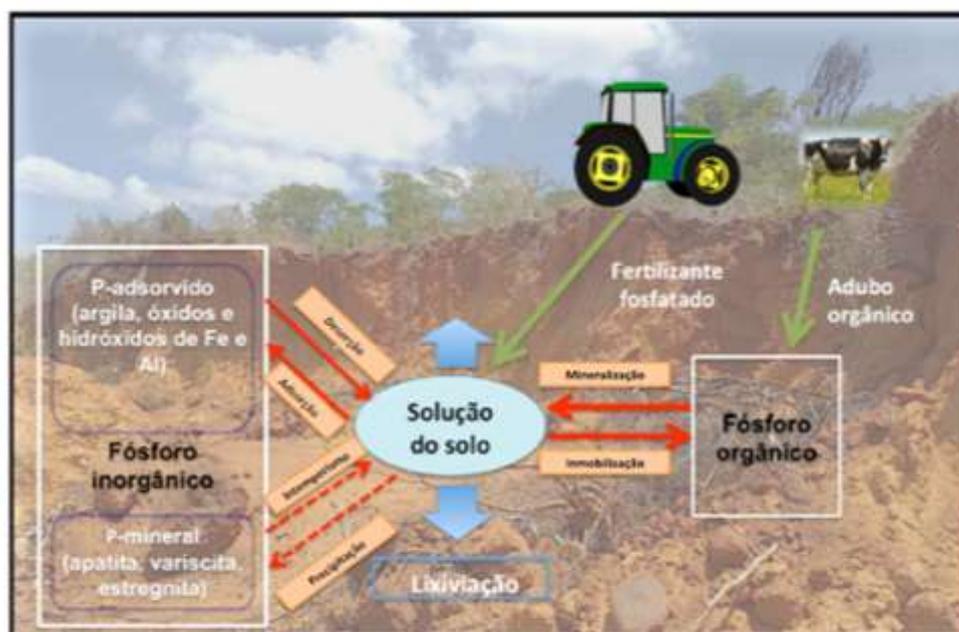


Figura 1. Dinâmica do fósforo (P) no solo. O P na fase sólida do solo encontra-se na forma orgânica imobilizado em restos de plantas, animais e tecidos microbianos ou na forma inorgânica formando parte dos minerais primários como apatita ou fixado aos minerais de argila ou óxidos e hidróxidos de Fe e Al. Na solução do solo, as plantas absorvem e assimilam o P na forma de íons de ortofosfatos, os quais apresentam uma baixa disponibilidade e mobilidade na maioria dos solos tropicais. Adaptado de Finck et al. (2016).

A maior parte dos solos brasileiros são intemperizados e apresentam óxidos de ferro e alumínio e argilas do grupo da caulinita como principais constituintes da fração argila, minerais caracterizados pela presença de cargas de superfície variáveis. Nas condições de reação ácida a moderadamente ácida existe uma predominância de cargas positivas na fração argila, sendo capazes de reter em sua superfície ânions, com predomínio de fosfatos (VALLADARES et al., 2003; REIS et al., 2011). Por esse motivo, nos sistemas agrícolas, o P é fornecido na forma inorgânica (mineral) como fertilizante, o qual representa um grande custo para os agricultores. Com isso, a produção de fertilizantes minerais fosfatados depende da disponibilidade de recursos minerais não renováveis (rocha fosfática) (SHARMA et al., 2013; NESME et al., 2018).

Para reduzir as deficiências de P e garantir a produtividade das culturas, quase 30 milhões de toneladas de fertilizante fosfatado são aplicadas todos os anos no mundo, e, cerca de 80 % do fosfato aplicado fica retido no solo pelo fenômeno da

fixação de P, ficando indisponível para a absorção vegetal (LOPEZ-BUCIO et al., 2000). No entanto, as políticas ambientais atuais recomendam fortemente a minimização do uso de fertilizantes para promover o desenvolvimento sustentável da agricultura (FERNANDEZ et al., 2015).

2.4 Fertilizantes fosfatados

A rocha fosfática é a matéria prima para a produção de fertilizantes fosfatados e outros produtos químicos. Ela pode ser encontrada em depósitos de origens sedimentares, ígneos ou metamórficos (ARCAND; SCHNEIDER, 2006; SABIHA-JAVIED et al., 2009). As maiores reservas fosfáticas do mundo ficam em Marrocos, Estados Unidos da América, Jordânia, África do Sul e China (BAVEYE, 2015). Os minerais de fosfato estão presentes na forma química de fosfatos de cálcio $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, que são depósitos marinhos muito antigos, associados aos fósseis. Esta forma representa 85 % da produção mundial. O segundo tipo de mineral fosfatado é a apatita, incluindo as formas fluorapatita e hidroxiapatita (ARCAND; SCHNEIDER, 2006; EL-BAHI et al., 2017).

Estima-se que 60 % do fertilizante inorgânico fosfatado usado na agricultura brasileira é importado, devido aos altos custos de processamento, as quantidades limitadas de P e a baixa solubilidade nas reservas nacionais (BENITES, 2015; WITHERS et al., 2018). Entretanto, uma recente prospecção geológica identificou várias reservas de rocha fosfática no Brasil, incluindo as de origem sedimentar com maior solubilidade de P (WITHERS et al., 2018).

As rochas fosfáticas extraídas em procedimentos de mineração são atacadas com ácido sulfúrico gerando o concentrado de rocha fosfática. O produto obtido é enriquecido em teor de superfosfato simples (P_2O_5) que contém menos impurezas em comparação à rocha bruta (PANTANO et al., 2016).

Os fertilizantes fosfatados comercialmente disponíveis como fosfato de monoamônio (MAP), fosfato de diamônio (DAP) ou superfosfato triplo (TSP) são sais de fosfato solúveis em água que ficam disponíveis para serem absorvidos pelas culturas. No entanto, os fosfatos solúveis, muitas vezes, acabam em corpos de águas por escoamento ou infiltração causando eutrofização juntamente com nitrogênio ou podem ficar adsorvidos no solo tornando-se indisponíveis para as culturas (LOPEZ-BUCIO et al., 2000; LIU; LAL, 2014).

No Brasil, a maior parte do fertilizante mineral fosfatado é aplicado nas culturas de milho (*Zea mays*), soja (*Glycine max*) e cana-de-açúcar (*Saccharum* sp.). A taxa média anual de fertilizantes fosfatados em todas as culturas é aproximadamente 25 kg.ha⁻¹ mas há uma grande variação regional (WITHERS et al., 2018).

Existe uma preocupação global por diversos profissionais do setor agrícola em relação aos custos envolvidos na mineração da rocha fosfática e diminuição das reservas fosfáticas. Além disso, o uso desmedido de fertilizantes pode causar alterações na fertilidade do solo. (SHARMA et al., 2013; LIU; LAL, 2014, BAVEYE, 2015; HERRERA-ESTRELLA; LÓPEZ-ARREDONDO, 2016). Assim, a busca de alternativas sustentáveis como o uso de micro-organismos benéficos em inoculantes para a produção de alimentos passa a ser um grande desafio (BAKHSHANDEH et al., 2015).

2.5 Micro-organismos solubilizadores de fosfato (MSF)

Os micro-organismos edáficos são fundamentais para a ciclagem de nutrientes. Eles estão envolvidos em uma variedade de processos, como a transformação de P no solo, desempenhando um papel primordial na disponibilidade de elementos essenciais para as plantas, mediante a mineralização e solubilização (CHEN et al., 2006).

Entender a contribuição dos micro-organismos na nutrição de P, assim como, a manipulação de micro-organismos específicos para melhorar a disponibilidade do nutriente no solo, tem sido de importância considerável por muitas décadas (RICHARSON; SIMPSON, 2011, DALATTRE et al., 2019).

No solo, os compostos insolúveis de P podem ser solubilizados pela produção de enzimas, ácidos orgânicos ou quelantes produzidos por plantas e micro-organismos (DRIGO; DONN, 2017).

Os micro-organismos solubilizadores de fosfato (MSF) são benéficos para as plantas e podem ser isolados de solos rizosféricos e não rizosféricos, filosfera e depósitos de rocha fosfática. São capazes de hidrolisar compostos orgânicos e inorgânicos de P, a partir da síntese de compostos como ácidos orgânicos e enzimas (ANZUAY et al., 2017; KALAYU, 2019). Entre esses MSF se destacam bactérias dos gêneros *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Rhizobium*, *Agrobacterium*, *Burkholderia*, *Acromobacter*, *Micrococcus*, *Aerobacter*, *Flavobacterium*, *Erwinia*, *Pantoea*,

Acinetobacter, *Enterococcus* e *Enterobacter*; actinobactérias; fungos dos gêneros *Penicillium* e *Aspergillus* e cianobactérias (ANZUAY, et al., 2013; KALAYU, 2019).

No solo, as bactérias solubilizadoras de fosfato (BSF) representam 1-50 % da população microbiana total e os fungos solubilizadores de fósforo entre 0,1-0,5 % (ZAIDI et al., 2009). Os MSF, além de solubilizar fosfato, apresentam outras características benéficas, como a produção de fitormônios ou antibióticos. Hamim et al. (2019) isolaram de raízes de *Calluna vulgaris* L. o fungo micorrízico ericoide *Ericoid mycorrhizal* sp. com capacidade de solubilização de fosfato (61,2 mg.L⁻¹) e produção de AIA (40 µg.L⁻¹) (HAMIM et al., 2019).

Portanto, os MSF representam uma valiosa ferramenta biotecnológica que pode ser usada na produção de biofertilizantes e contribuir para uma agricultura sustentável (LUGTENBERG; KAMILOVA, 2009; TALLAPRAGADA; GUDIMI, 2011).

2.5.1 Bactérias solubilizadoras de fosfato (BSF)

Existem inúmeros estudos de prospecção de BSF em diversos ambientes, evidenciando sua importância para o desenvolvimento de biofertilizantes. Dixit e colaboradores (2017) isolaram bactérias dos gêneros *Bacillus* e *Pseudomonas* de uma área de mineração de manganês, com capacidade de solubilizar fosfato, podendo ser utilizadas na formulação de biofertilizantes para a recuperação de áreas degradadas. Bakhshandeh et al. (2017) demonstraram a capacidade dos isolados *Pantoea ananatis*, *Rahnella aquatilis* e *Enterobacter* sp. em solubilizar fosfato e potássio e promover o crescimento da cultura de arroz (*Oryza sativa*).

Na região semiárida brasileira, vários trabalhos evidenciaram um alto potencial de solubilização de fosfato de cálcio de BSF principalmente de *Bacillus* sp. isoladas da rizosfera de cactáceas (KAVAMURA et al., 2013) e endofíticas de cactos (LIMA et al., 2015) e milho (NASCIMENTO et al., 2021).

Outro grupo de BSF que vêm despertando interesse nos últimos tempos são as actinobactérias, cujo filo pertence ao Domínio Bactéria e representam um grupo diverso de bactérias Gram positivas com alto conteúdo em GC (ALVAREZ et al., 2017; LASUDEE et al., 2018;). O gênero *Streptomyces* é o representante do grupo com maior número de espécies. As actinobactérias são de natureza ubíqua, ou seja, crescem em ambiente marinho ou edáfico, onde são os principais decompositores da matéria orgânica (NAFIS et al., 2019). Apresentam um crescimento micelar, tem a

capacidade de sobreviver em condições ambientais extremas, sendo tolerantes a altas temperaturas, salinidade, seca, pH ácido ou alcalino e podem formar esporos (SOUMARE et al., 2021). Outras características das actinobactérias é a produção de fitormônios como auxinas, giberelinas, citocininas; antibióticos; sideróforos; fixação do N, e solubilização de fósforo e potássio. Estes atributos podem ser usados no desenvolvimento de novas tecnologias, seja na indústria farmacêutica ou na agricultura, como a formulação de inoculantes (HAMDALI et al., 2008; SCHREY; TARKKA, 2008; SCHNEEMAN et al., 2010; SHARMA et al., 2014; POOMTHONGDEE et al., 2015; NANDIMATH et al., 2017; YADAV et al., 2018).

Vários trabalhos são citados na literatura sobre a capacidade solubilizadora de fosfato das actinobactérias. Nafis e colaboradores (2019) isolaram de solos de ambientes extremos em Marrocos duas estirpes de *Streptomyces* sp. (TNC-1 e MNC-1) com alta atividade solubilizadora de fosfato de 12,39 e 8,56 mg.mL⁻¹, respectivamente. Radha et al. (2017) identificaram actinobactérias de solos de regiões áridas e semiáridas da Índia com alta capacidade de solubilizar fosfato e inibir o crescimento de fungos fitopatogênicos.

Em outro estudo foram isolados actinobactérias de solo rizosférico de *Calluna vulgaris* L. demonstrando uma alta solubilização de fosfato e produção de ácido indolacético (AIA). O isolado de actinobactéria AH6 identificado filogeneticamente como *Streptomyces* sp. foi o mais eficiente produzindo 145,5 mg.L⁻¹ de fósforo solúvel e 141 µg.L⁻¹ de AIA.

2. 6 Mecanismos de solubilização de fósforo no solo

A capacidade dos micro-organismos de solubilizar fosfato é considerada uma das propriedades mais importantes associadas à nutrição fosfatada das plantas (CHEN et al., 2006; RICHARDSON; SIMPSON, 2011). Os MSF podem ser classificados em duas classes: 1) micro-organismos solubilizadores de fósforo inorgânico (Pi) que secretam ácidos orgânicos de baixo peso molecular, em que os grupos hidroxila e carboxila quelam os cátions ligados ao fosfato transformando-o a formas solúveis e 2) micro-organismos mineralizadores de fósforo orgânico (Po), que secretam enzimas como fosfatases, catalisando a hidrólise de ésteres fosfóricos (CHEN; LIU, 2019) (Figura 2).

Os MSF secretam ácidos orgânicos, convertendo o P indisponível a formas disponíveis para as plantas como o fosfato monovalente (H_2PO_4^-) que predomina em pH mais ácido ou divalente (HPO_4^{2-}) e trivalente (HPO_4^{3-}) que predominam em pH mais neutro ou alcalino (SHARMA et al., 2013). Os ácidos produzidos quelam os cátions (Al, Fe, Ca e Mg) ligados a formas insolúveis de fosfato, e logo são transformadas a formas solúveis de P acompanhado de uma diminuição do pH do meio (WEI et al., 2016).

A produção de ácidos orgânicos é determinada por um conjunto de genes como os *pqqA*, B, C, D, E e F para o ácido glucônico (KIM et al., 2003), e suas quantidades diferem segundo o tipo de micro-organismo e pelas condições ambientais. Por exemplo, uma relação C/P alta, aumentará a produção de ácidos orgânicos, assim como, relações C/N e N/P podem afetar o crescimento dos micro-organismos (LI et al., 2016).

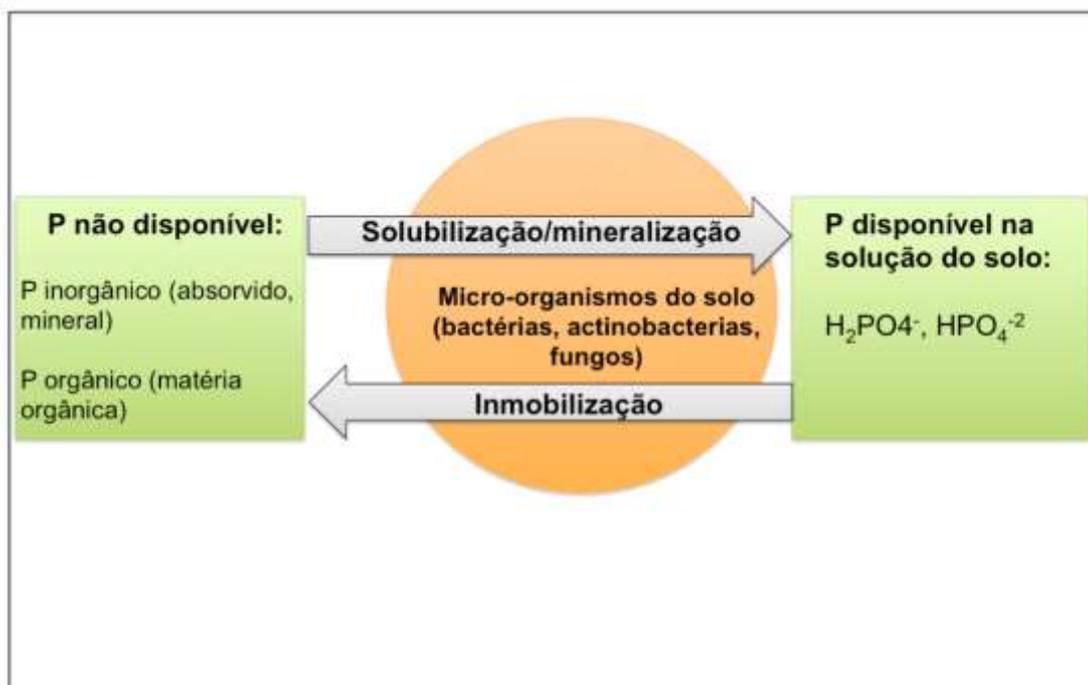


Figura 2. Representação esquemática da importância dos micro-organismos para a disponibilidade de fósforo (P) no solo. Os micro-organismos desempenham um papel crítico na transformação do P no solo por meio de reações de solubilização e mineralização transformando o P não disponível a formas de P disponível (H_2PO_4^- , HPO_4^{2-}), e pela imobilização de P. Fonte: modificado de Richardson e Simpson (2011)

A diminuição do pH do meio sugere a liberação de ácidos orgânicos pelos MSF, produto do metabolismo microbiano existindo, uma correlação positiva entre a diminuição do pH e o P solúvel do meio (PANDE et al., 2017).

Os ácidos glucônico e 2-cetoglucônico são os mais produzidos pelos micro-organismos. No entanto, existem outros ácidos orgânicos implicados na solubilização do fosfato como o ácido acético, cítrico, láctico, propiônico, glicólico, oxálico, malônico, succínico, ácido fumárico e tartárico (RICHARSON; SIMPSON, 2011; PANHWAR et al., 2013; WEI et al., 2016; AWAIS et al., 2017).

O ácido glucônico é produzido principalmente por bactérias mediante a enzima glicose deshidrogenase (GDH) na via de oxidação direta da glicose, sendo codificada pelo gene *gcd* (LIANG et al., 2020). Essa enzima requer um co-fator de pirroloquinolina quinona (PQQ), cuja biossíntese envolve um operon composto por 5-11 genes. A clonagem do gene *pqq* envolvido na biossíntese de PQQ demonstrou a importância da produção de ácido glucônico e 2-cetoglucônico na solubilização do fosfato (SULEMAN et al., 2018; ZHENG et al., 2019).

Além de técnicas moleculares, que permitem detectar a expressão de genes que codificam para enzimas envolvidas na síntese de ácidos orgânicos, a técnica de cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC - *high performance liquid chromatography*) permite avaliar a produção de ácidos (SHARMA et al., 2013). Abreu e colaboradores (2017), detectaram por HPLC os ácidos orgânicos glucônico, láctico, butírico, 2-cetoglucônico, propiónico, oxálico, cítrico, succínico, acético e 5-cetoglucônico produzidos por bactérias endofíticas solubilizadoras de fosfato isoladas de milho.

Outros mecanismos considerados na solubilização de P são a produção de substâncias quelantes, como sideróforos, bem como a produção de ácido sulfídrico, nítrico e carbônico (RODRÍGUEZ; FRAGA, 1999).

Quanto à solubilização orgânica de P, chamada também de mineralização orgânica, envolve a liberação de P a partir de compostos orgânicos no solo por diversas enzimas. Plantas e micro-organismos do solo desenvolveram diversos mecanismos para obter fosfato de fontes orgânicas existentes no solo. A expressão das enzimas fosfatases e fitases permitem liberar P_i dos P_o (SHULSE et al., 2019).

As fosfatases ácidas não específicas (FANEs) desfosforilam as ligações fosfodiéster ou fosfoanidrido da matéria orgânica. Exemplos de enzimas FANEs liberadas por MSF são as fosfomonoesterases ou fosfatases ácidas e alcalinas. As fosfatases ácidas predominam em solos ácidos e as alcalinas são mais abundantes em solos alcalinos. As raízes das plantas podem liberar fosfatases ácidas, mas raramente produzem fosfatases alcalinas, sugerindo que as mesmas são produzidas principalmente por MSF (SHARMA et al., 2013). Vários genes de fosfatases ácidas foram isolados e caracterizados em bactérias Gram negativas (RODRIGUEZ; FRAGA, 2006). O gene *acpA* foi isolado de *Francisella tularensis* o qual codifica a expressão de uma fosfatase ácida com ação ideal a pH 6 (REILLY et al., 1996). Outros genes isolados foram *PhoC* e *NapA* de *Morganella morganii* que codificam para fosfatases ácidas (THALLER et al., 1994; THALLER et al., 1995).

Outras enzimas capazes de disponibilizar P são as fitases. As fitases degradam a matéria orgânica na forma de fitatos, liberando P na forma disponível para as plantas. Os fitatos são a principal fonte de inositol, maior reserva de P de sementes e pólen e o maior componente de P orgânico no solo (ALORI et al., 2017).

2.7 Uso de biofertilizantes para uma agricultura sustentável

Solos e fertilizantes minerais são fundamentais para a produção de alimentos no mundo. O alto custo da produção de fertilizantes fosfatados e as dificuldades de atender sua demanda, assim como, os problemas gerados pelo uso impróprio, levou ao desenvolvimento de inoculantes, ou também denominados biofertilizantes, como uma solução para substituir total ou parcialmente os fertilizantes químicos (ALORI et al., 2017; SOUMARE et al., 2020).

O papel dos processos biológicos no funcionamento do solo e na produção agrícola tem sido cada vez mais reconhecido (CREUS, 2017). A principal estratégia adotada que visa combater a perda da saúde do solo é promover uma agricultura sustentável, sendo necessárias abordagens favoráveis ao meio ambiente que reduzam ou eliminem o uso de insumos químicos agrícolas. Nesse contexto, a aplicação de biofertilizantes compostos por micro-organismos benéficos para as plantas constitui uma estratégia biotecnológica com objetivo de uma agricultura sustentável (CREUS, 2017; YADAV et al., 2020). O uso de micro-organismos edáficos é uma alternativa ambientalmente amigável onde os micro-organismos estão envolvidos na ciclagem de nutrientes, regulação da fertilidade do solo, mobilização ou imobilização de metais pesados e melhora das culturas (JACOBY et al., 2017).

Os micro-organismos mais usados como inoculantes são as bactérias diazotróficas (fixadoras de N atmosférico). Dentre elas, estão os rizóbios, capazes de colonizar a rizosfera e formar nódulos nas raízes de plantas hospedeiras pertencentes à família Fabaceae (leguminosas). A simbiose rizóbio-leguminosa é fundamental para que ocorra o processo de fixação biológica do nitrogênio (FBN) suprimindo a demanda de N da maioria das leguminosas. Atualmente, a soja (*Glycine max* (L.) Merr.) é a cultura que consome mais inoculantes do mundo. O inoculante para soja é composto por bactérias pertencentes ao gênero *Bradyrhizobium*. O Brasil é provavelmente o líder global no uso de inoculantes para a cultura da soja (HUNGRIA; MENDES 2015; SANTOS et al., 2019). Outra bactéria diazotrófica usada em inoculantes é *Azospirillum brasilense*. Esta bactéria de vida livre promotora do crescimento vegetal pode fixar N e produzir fitormônios em associação com várias espécies de não leguminosas como milho (*Zea mays*) e trigo (*Triticum aestivum*) (HUNGRIA et al., 2010). Além disso, também há relatos de aumentos de rendimento de grãos por co-inoculação com *A.*

brasilense e rizóbios em soja (*Glycine max*) e feijão (*Phaseolus vulgaris*) (HUNGRIA et al., 2013, 2015; FUKAMI et al., 2016).

Em relação aos inoculantes fosfatados, existem vários trabalhos que demonstram a eficiência de MSF como *Agrobacterium*, *Bacillus*, *Enterobacter*, *Pseudomonas*, *Aspergillus*, *Trichoderma* e *Glomus* quando são aplicados próximo as raízes das plantas, sozinho ou em conjunto com fertilizantes químicos aumentando a capacidade de disponibilizar P, promover o crescimento das plantas e proteger as culturas de patógenos (CHANG; YANG, 2009). Atualmente, a Índia é o principal produtor de biofertilizantes fosfatados no mundo, e as estirpes mais utilizadas pertencem ao gênero *Bacillus*, e sua aplicação é recomendada para várias culturas como soja, milho e cana-de-açúcar (SOUMARE et al., 2020).

Yadav e colaboradores (2020) inocularam em plantas de trigo a bactéria *Bacillus subtilis* com e sem fungos micorrízicos arbusculares (FMA). O tratamento em combinação com FMA apresentou os melhores resultados com relação ao teor de macronutrientes (nitrogênio e fósforo), micronutrientes (ferro e zinco) e rendimento de grãos de trigo.

Sane e Metha (2015) evidenciaram que a aplicação de rocha fosfática com fungos solubilizadores de fosfato dos gêneros *Aspergillus* e *Penicillium* incrementou a disponibilidade de P solúvel mediante a liberação de ácidos orgânicos como cítrico, glucônico, glicólico, oxálico, málico e succínico.

Nandimath e colaboradores (2017) desenvolveram um inóculo composto por um consórcio de actinobactérias solubilizadoras de fosfato termotolerantes, contribuindo para a formulação de um biofertilizante com micro-organismos capazes de sobreviver e solubilizar fosfato em altas temperaturas.

No Brasil, existem estudos de aplicação de biofertilizante fosfatado usando fosfato natural e enxofre inoculado com *Acidithiobacillus* sp. em um experimento em vasos com solo da Zona da Mata de Pernambuco (Argissolo Amarelo), com baixo nível de P disponível, cultivado com jacatupé (*Pachyrhizus*). Os resultados demonstraram um alto nível de fósforo disponível e aumento do fósforo total na parte aérea (STAMFORD et al., 2003).

Recentemente, a empresa Bioma em parceria com a Embrapa Milho e Sorgo, lançou o primeiro produto biológico brasileiro para milho para aumentar aquisição de fósforo em milho e soja, que consiste em um consórcio de duas linhagens de *Bacillus* selecionadas pela Embrapa, *B. megaterium* (CNPMSB119) e *B. subtilis* (CNPMS

B2084), ambos eficientes na solubilização de fosfato (VELLOSO et al., 2020; SOUSA et al., 2020).

Apesar dos avanços no desenvolvimento de biofertilizantes, existem fatores que diminuem a eficácia dos mesmos em algumas áreas. O estresse biótico e abiótico pode afetar a sobrevivência dos micro-organismos, tornando-o ineficaz em diversos casos como solos pobres em nutrientes ou desertificados, a salinidade, o estresse hídrico, aumento de temperatura, presença de pragas, entre outros. Portanto, a formulação de biofertilizantes implica em grandes desafios já que precisa de atender padrões de qualidade e gerar efeitos evidentes para a agricultura (THILAKARATHNA; RAIZADA 2018; SAMAGO et al., 2018).

Referências Bibliográficas

ABDI, D.; CADE-MENUN, B. J.; ZIADI, N.; PARENT, L. É. Long-term impact of tillage practices and phosphorus fertilization on soil phosphorus forms as determined by p nuclear magnetic resonance spectroscopy. **Journal of environmental quality**, v. 43, n. 4, p. 1431–1441, 2014. <https://doi.org/10.2134/jeq2013.10.0424>

ABREU, C. S. de; FIGUEIREDO, J. E. F.; OLIVEIRA, C. A.; SANTOS, V. L.; GOMES, E. A.; RIBEIRO, V. P.; BARROS, B. de A.; LANA, U. G. de P.; MARRIEL, I. E. Maize endophytic bacteria as mineral phosphate solubilizers. **Genetics and Molecular Research**, v. 16, n. 1, p 1-13, 2017. <https://doi.org/10.4238/gmr16019294>

ADNAN, M.; SHAH, Z.; FAHAD, S.; ARIF, M.; ALAM, M.; KHAN, I.A.; MIAN, I.A.; BASIR, A.; ULLAH, H.; ARSHAD, M.; RAHMAN, I.U. SAUD, S.; IHSAN, M.Z.; JAMAL, Y.; AMAULLAH; HAMMAD, H.M.; NASIM, W. Phosphate-Solubilizing Bacteria Nullify the Antagonistic Effect of Soil Calcification on Bioavailability of Phosphorus in Alkaline Soils. **Scientific Reports**, v. 7, n. 16131, p. 1-13, 2017. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-16537-5>

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, n. 971, p. 1-8, 2017. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00971>

ALVALÁ, R. C.S.; CUNHA, A. P. M.A.; BRITO, S. S.B.; SELUCHI, M. E.; MARENGO, J. A.; MORAES, O. L.L.; CARVALHO, M. A. Drought monitoring in the Brazilian Semiarid region. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 91, n.1, p. 1-15, 2019. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201720170209>

ALVAREZ, A.; SAEZ, J. M.; COSTA, J. S. D.; COLIN, V. L. ; FUENTES, M.S.; CUOZZO, S. A.; BENIMELI, C. S.; POLTI, M. A.; AMOROSO, M. J. Actinobacteria: Current research and perspectives for bioremediation of pesticides and heavy metals. **Chemosphere**, v. 166, p. 41- 62, 2017.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.09.070>

ANTUNES, G. R.; SANTANA, S. R. A.; ESCOBAR, I. E. C.; BRASIL, M. S., ARAÚJO, G. G. L.; VOLTOLINI, T. V.; FERNANDES-JÚNIOR, P. I. Associative diazotrophic bacteria from forage grasses in the Brazilian semi-arid region are effective plant growth promoters. **Crop and Pasture Science**, v. 70, p. 899-907, 2019. <https://doi.org/10.1071/CP19076>

ANZUAY, M.S.; FROLA, O.; ANGELINI, J.G.; LUDUEÑA, L, M; FABRA, A.; TAURIAN, T. Genetic diversity of phosphate-solubilizing peanut (*Arachis hypogaea* L.) associated bacteria and mechanisms involved in this ability. **Symbiosis**, v. 60, p. 143–154, 2013. <https://doi.org/10.1007/s13199-013-0250-2>

ANZUAY, M.S.; RUIZ C. M. G.; LUDUEÑA, L. M.; ANGELINI, J. G.; BARROS, G.; PASTOR, N.; TAURIAN, T. Growth promotion of peanut (*Arachis hypogaea* L.) and maize (*Zea mays* L.) plants by single and mixed cultures of efficient phosphate solubilizing bacteria that are tolerant to abiotic stress and pesticides .

Microbiological Research, v. 199, p. 98–109 , 2017.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.micres.2017.03.006>

ARCAND, M. M.; SCHNEIDER, K. D. Plant- and microbial-based mechanisms to improve the agronomic effectiveness of phosphate rock: a review. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 78, n. 4, p. 791-807, 2006. <https://doi.org/10.1590/S0001-37652006000400013>

ARAÚJO, V. L. V. P.; LIRA, J. M. A.; SOUZA, J. V. S.; COELHO, A. F. J.; FRACETTO, F.J.C.; DINI, F. A.; ARAUJO P. A. P.; MENDES JÚNIOR, J.P.; MARTINS DO RÊGO, B. F.; FRACETTO, G.G.M. Bacteria from tropical semiarid temporary ponds promote maize growth under hydric stress. **Microbiological Research**, v. 240, n. 126564, p. 1-10, 2020.

<https://doi.org/10.1016/j.micres.2020.126564>

AWAIS, M.; TARIQ, M.; ALI, A.; ALI, Q.; KHAN, A.; TABASSUM, B.; NASIR, I.A.; HUSNAIN, T. Isolation, characterization and inter-relationship of phosphate solubilizing bacteria from the rhizosphere of sugarcane and rice. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 11, p. 312-321, 2017.

<https://doi.org/10.1016/j.bcab.2017.07.018>

BAKHSHANDEH, E.; PIRDASHTI, H. LENDEH, K.S. 2017. Phosphate and potassium-solubilizing bacteria effect on the growth of rice. **Ecological Engineering**, v. 103, p. 164-169, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.03.008>

BAVEYE, P. C. Looming Scarcity of Phosphate Rock and Intensification of Soil Phosphorus Research. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n.3, p. 637-642. 2015. <https://doi.org/10.1590/01000683rbcs20140819>

BENITES, V. De M. **A importância da pesquisa na avaliação da eficiência das tecnologias em fertilizantes fosfatados no Brasil.** Boletim informativo da SBCS, Viçosa, MG, v. 40, n.2, p. 36-38, 2015.

CARDOSO, E. J. B. N.; VASCONCELLOS, R. L. F.; BINI, D.; MIYAUCHI, M. Y. H.; SANTOS, C. A.; ALVES, P. R. L.; PAULA, A. M.; NAKATANI, A. S.; PEREIRA, J. M.; NOGUEIRA, M. A. Soil health: looking for suitable indicators. What should be considered to assess the effects of use and management on soil health?. **Scientia Agricola**, v. 70, n. 4, p. 274- 289, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162013000400009>

CHANG, C. H.; YANG, S. S. Thermo-tolerant phosphate-solubilizing microbes for multi-functional biofertilizer preparation. **Bioresource technology**, v. 100, n. 4, p. 1648–1658, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.09.009>

CHEN, Y.P ; REKHA, P.D ; ARUN, A.B ; SHEN, F.T ; LAI, W.-A ; YOUNG, C.C. Phosphate solubilizing bacteria from subtropical soil and their tricalcium phosphate solubilizing abilities. **Applied Soil Ecology**, v. 34, n.1, p. 33-41, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2005.12.002>

CHEN, Q.; LIU, S. Identification and Characterization of the Phosphate-Solubilizing Bacterium *Pantoea* sp. S32 in Reclamation Soil in Shanxi, China. **Frontiers in Microbiology**, v. 10, n. 2171, p. 1-12, 2019. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.02171>

CHU, M.; SINGH, S.; WALKER, F. R.; EASH, N.S.; BUSCHERMOHLE, M. J.; DUNCAN, L. A.; JAGADAMMA, S. Soil Health and Soil Fertility Assessment by the Haney Soil Health Test in an Agricultural Soil in West Tennessee. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 50, n. 9, 1123-1131, 2019. <https://doi.org/10.1080/00103624.2019.1604731>

CREUS, C. M. 2017. Inoculantes microbianos: piezas de un rompecabezas que aún requiere ser ensamblado. **Revista Argentina de Microbiología**, v. 49, n.3, p. 207–209, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2017.07.001>

CUNHA, T. J. F.; PETRERE, V. G.; SILVA, D. J.; MENDES, A. M. S.; MELO, R. F. de; OLIVEIRA NETO, M. B. de; SILVA, M. S. L. da; ALVAREZ, I. A. Principais solos do semiárido tropical brasileiro: caracterização, potencialidades, limitações, fertilidade e manejo. EMBRAPA Semiárido. 2010. cap 2, p. 50-87.

DELATTRE, H.; DESMOND-LE QUÉMÉNER, E.; DUQUENNOI, C.; FILALI, A.; BOUCHEZ, T. Consistent microbial dynamics and functional community patterns derived from first principles. **ISME JOURNAL**, v. 13, p. 263–276, 2019. <https://doi.org/10.1038/s41396-018-0272-0>

DA SILVA, J.F., DA SILVA, T.R., COSTA, E.I.E.; RESENDE, F. A.C.; MORAES DOS SANTOS, J. ET AL.; RIBEIRO, N.T.; RODRIGUES, S.J.M. WINDSOR, P. S. J. FREIRE, M. R.; SIGNOR, D.; FERNANDES-JÚNIOR, P.I. Screening of plant growth promotion ability among bacteria isolated from field-grown sorghum under different managements in Brazilian drylands. **World Journal Microbiology Biotechnology**, v. 34, n. 186, p. 1-10, 2018. <https://doi.org/10.1007/s11274-018-2568-7>

DE OLIVEIRA, G.; ARAÚJO, M.B.; RANGEL, T.F.; ALAGADOR, D.; FELIZONDO, D.F.J.A Conserving the Brazilian semiarid (Caatinga) biome under climate change. **Biodiversity and Conservation**, v. 21, p. 2913–2926, 2012. <https://doi.org/10.1007/s10531-012-0346-7>

DI RIENZO, J.A., CASANOVES, F., BALZARINI, M.G., GONZALEZ, L., TABLADA, M., ROBLEDO, C.W., 2020. InfoStat. Centro de transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. <http://www.infostat.com.ar>

DE MEDEIROS, E.V.; NOTARO, K.A.; DE BARROS, J.A.; DUDA, G.P.; MORAES, M.C.H.S.; AMBRÓSIO, M.M.Q.; NEGREIROS., A.M.P.; SALES. J.R. Soils from intercropped fields have a higher capacity to suppress black root rot in cassava, caused by *Scytalidium lignícola*. **Journal of Phytopathology**, v. 167, n. 4, p. 209-217, 2019. <https://doi.org/10.1111/jph.12788>

DIXIT, S.; KUTTAN, K.; SHRIVASTAVA, R. Isolation and characterization of phosphorus solubilizing bacteria from manganese mining area of Balaghat and Chhindwara. **Current Science**, v. 113, n. 3. p. 500-504, 2017. <http://www.jstor.org/stable/26294011>

DRIGO, B.; DONN, S., 2017. Trading carbon between arbuscular mycorrhizal fungi and their hyphae-associated microbes. **Mycorrhizal Mediation of Soil**, v. 22. p. 395, 2017. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804312-7.00022-X>

EL-BAHI, S.M.; SROOR, A.; MOHAMED, G.Y.; EL-GENDY, N.S. Radiological impact of natural radioactivity in Egyptian phosphate rocks, phosphogypsum and phosphate fertilizers. **Applied Radiation and Isotopes**, v.123, p. 121-127, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2017.02.031>

EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

FAO. **An international technical workshop. Investing in sustainable crop intensification**. The case for improving soil health Integrated Crop Management, vol. 6, Rome, 2008, 149p.

FAO & ITPS. **Status of the World's Soil Resources (SWSR) – Main Report**. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils, Rome, 2015, 607p.

FERNÁNDEZ, L.A.; AGARAS, B.; WALL, L.G.; VALVERDE, C. Abundance and ribotypes of phosphate-solubilizing bacteria in Argentinean agricultural soils under no-till management. **Annals of Microbiology**, v. 65, p. 1667–1678, 2015. <https://doi.org/10.1007/s13213-014-1006-9>

FREIRE, S. T. G.; QUEIROZ, M. G.; ZOLNIER, S.; BASTOS, S. L. S.; ALVES, S. C. A.; BESERRA, M. M. S.; GARCIA L. A. G.; STEIDLE, N. A. J.; SOARES, S. T.; MELO, A. L.; CRUZ, N. J. F.; SILVA, M. J.; MUNIZ N. A. H. K. Soil properties and microclimate of two predominant landscapes in the Brazilian semiarid region: Comparison between a seasonally dry tropical forest and a deforested area, **Soil and Tillage Research**, v. 207, n. 104852. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104852>.

FROST, P.S.D.; VAN ES, H.M.; ROSSITER, D.G.; HOBBS, R.R.; PINGALI, P.L. Soil health characterization in smallholder agricultural catchments in India, **Applied Soil Ecology**, v. 138, p. 171-180, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.02.003>

FUKAMI, J., NOGUEIRA, M.A., ARAUJO, R.S.; HUNGRIA, M. Accessing inoculation methods of maize and wheat with *Azospirillum brasilense* . **AMB Express**, v. 6, n. 3, p. 1-13, 2016. <https://doi.org/10.1186/s13568-015-0171-y>

GIONGO, V .; CUNHA, T. J. F .; MENDES, A.S.M .; GAVA, C.A. J. Carbono no Sistema Solo-planta no Semiárido Brasileiro (Carbon in the Soil Plant System in the Brazilian Semiarid Region). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 4, n. 6, p. 1233-1253, 2011. DOI: 10.26848 / rbgf.v4i6.232769

HAMEEDA, B.; HARINI, G.; RUPELA, O.; WANI, S.; REDDY, G. Growth promotion of maize by phosphate-solubilizing bacteria isolated from composts and macrofauna. **Microbiological Research**, v. 163, n. 2, p. 234-42, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2006.05.009>

HAMDALI, H.; HAFIDI, M.; VIROLLE, M. J.; OUHDOUCH, Y. Growth promotion and protection against damping-off of wheat by two rock phosphate solubilizing actinomycetes in a P-deficient soil under green house conditions.. **Applied Soil Ecology**, v. 40, n. 3. p. 510–517, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2008.08.001>

HAMIM, A.; BOUKESKASSE, A.; OUHDOUCH, Y.; FARROUKI, A., BARRIJAL, S.; MICHÉ, L.; M'RABET, R.; DUPONNOIS, R.; HAFIDI, M. 2019. Phosphate solubilizing and PGR activities of ericaceous shrubs microorganisms isolated from Mediterranean forest soil. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 19, n. 101128. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101128>

HANEY, R. L.; HANEY, E.B.; SMITH, D.R.; HARMEL, R.D.; WHITE, M. J. The soil health tool-Theory and initial broad-scale application. **Applied Soil Ecology**, v. 125, p. 162-168, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.07.035>

HERRERA-ESTRELLA, L.; LÓPEZ-ARREDONDO, D. Phosphorus: The Underrated Element for Feeding the World. **Trends in plant science**, v. 21, n.6, p. 461–463, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2016.04.010>

HUNGRIA, M.; MENDES, I.C. **Nitrogen fixation with soybean: the perfect symbiosis?** In: DE BRUIJN, F (ed) Biological nitrogen fixation. Hoboken, New Jersey, 2015, Chapter 99, v. 2, p. 1009–1023. Doi: 10.1002/9781119053095.ch99

HUNGRIA, M.; CAMPO, R.J.; SOUZA, E.M.; PEDROSA, F.O. Inoculation with selected strains of *Azospirillum brasilense* and *A. lipoferum* improves yields of maize and wheat in Brazil. **Plant Soil**, v. 331, p. 413–425, 2010. <https://doi.org/10.1007/s11104-009-0262-0>

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M.A.; ARAUJO, R.S. Co-inoculation of soybeans and common beans with rhizobia and azospirilla: strategies to improve sustainability. **Biology and Fertility of Soils**, v. 49, p. 791–801, 2013. <https://doi.org/10.1007/s00374-012-0771-5>

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M.A.; ARAUJO, R.S. Soybean seed co-inoculation with *Bradyrhizobium* spp. and *Azospirillum brasilense*: a new biotechnological tool to improve yield and sustainability. **American Journal of Plant Sciences**, v. 6, p. 811–7, 2015. <http://dx.doi.org/10.4236/ajps.2015.66087>

JACOBY, R.; PEUKERT, M.; SUCCURRO, A.; KOPRIVOVA, A.; KOPRIVA, S. The role of soil microorganisms in plant mineral nutrition-current knowledge and future directions. **Frontiers in plant science**, v. 8, n, 1617, p. 1-19, 2017. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01617>

JIAN, J.; DU, X.; STEWART, R.D. A database for global soil health assessment. **Scientific Data**, v. 7, n. 16, p 1-8, 2020. <https://doi.org/10.1038/s41597-020-0356-3>

KALAYU, G. Phosphate Solubilizing Microorganisms: Promising Approach as Biofertilizers, **International Journal of Agronomy**, v. 2019, n. 4917256, p. 1-7, 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/4917256>

KAVAMURA, V.N.; SANTOS, S.N.; SILVA, J.L.; PARMA, M.M.; ÁVILA, L.A.; VISCONTI, A.; ZUCCHI, T.D.; TAKETANI, R.G.; ANDREOTE, F.D.; MELO, I.S. Screening of Brazilian cacti rhizobacteria for plant growth promotion under drought. **Microbiological Research**, v. 168, n. 4, p. 183–191, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2012.12.002>

KEESSTRA, S.; MOL, G.; DE LEEUW, J.; OKX, J.; MOOLENAR, C.; DE CLEEN, M.; VISSER, K. "Soil-Related Sustainable Development Goals: Four Concepts to Make Land Degradation Neutrality and Restoration Work" **Land**, v. 7, n. 4: 133, p. 1-10, 2018 <https://doi.org/10.3390/land7040133>

KIM, C. H.; HAN, S. H.; KIM, K. Y.; CHO, B. H.; KIM, Y. H.; KOO, B.S.; KIM, Y. C. .Cloning and Expression of Pyrroloquinoline Quinone (PQQ) Genes from a Phosphate-Solubilizing Bacterium *Enterobacter intermedium* . **Current Microbiology**, v. 47, p. 457-461, 2003. <https://doi.org/10.1007/s00284-003-4068-7>

KRÜGER, O.; ADAM, C. Phosphorus in recycling fertilizers - analytical challenges. **Environmental research**, v. 155, p. 353–358, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.02.034>

LAL, R. Soils and food sufficiency. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 29, p. 113–133, 2009. <https://doi.org/10.1051/agro:2008044>

LASUDEE, K.; TOKUYAMA, S.; LUMYONG, S.; PATHOM-AREE, W. Actinobacteria Associated With Arbuscular Mycorrhizal Funneliformis mosseae Spores, Taxonomic Characterization and Their Beneficial Traits to Plants: Evidence Obtained From Mung Bean (*Vigna radiata*) and Thai Jasmine Rice (*Oryza sativa*). **Frontiers in Microbiology**, v. 9, n. 1247, p. 1-18, 2018. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.01247>

LEHMANN, J.; BOSSIO, D.A.; KÖGEL-KNABNER, I. The concept and future prospects of soil health. *Nature Reviews Earth & Environment*, v. 1, p. 544-553, 2020. <https://doi.org/10.1038/s43017-020-0080-8>

LI, Z.; BAI, T.; DAI, L. A study of organic acid production in contrasts between two phosphate solubilizing fungi: *Penicillium oxalicum* and *Aspergillus niger*. **Scientific Reports**, v. 6, n. 25313, 2016. <https://doi.org/10.1038/srep25313>

LIANG, J.L.; LIU, J.; JIA, P. YANG, T.T.; ZENG, Q.W.; ZHANG, S.C.; LIAO, B.; SHU, W.S. LI, J.T. Novel phosphate-solubilizing bacteria enhance soil phosphorus cycling following ecological restoration of land degraded by mining. **ISME Journal**, v. 14, p. 1600–1613, 2020. <https://doi.org/10.1038/s41396-020-0632-4>

LIMA, J. V. L.; WEBER, O. B.; CORREIA, D.; SOARES, M, A.; SENABIO, J. A. Endophytic bacteria in cacti native to a Brazilian semi-arid region. **Plant and Soil**, v. 389, p. 25-33, 2015. DOI 10.1007/s11104-014-2344-x

LIU, Z., LI, Y., ZHANG, S., FU, Y., FAN, X., PATEL, J., ZHANG, M. 2015. Characterization of phosphate-solubilizing bacteria isolated from calcareous soils. **Applied Soil Ecology**, v. 96, p. 217–224. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2015.08.003>

LIU, R.; LAL, R. Synthetic apatite nanoparticles as a phosphorus fertilizer for soybean (*Glycine max*). **Nature Scientific Report**, v. 4, n. 5686, p. 1-6, 2015. <https://doi.org/10.1038/srep05686>

LÓPEZ-BUCIO, J.; DE LA VEGA, O., GUEVARA-GARCÍA, A. HERRERA-ESTRELLA, L. Enhanced phosphorus uptake in transgenic tobacco plants that overproduce citrate. **Nature Biotechnology**, v. 18, p. 450–453, 2000. <https://doi.org/10.1038/74531>

LUGTENBERG, B.; KAMILOVA, F. Plant-growth promoting rhizobacteria. **Annual Review of Microbiology**, v. 63, p. 541–556, 2009. <https://doi.org/10.1146/annurev.micro.62.081307.162918>

MACEDO, R. S.; BEIRIGO, R.M.; MEDEIROS, B.M.; FELIX, V.J. L.; SOUZA, R. F. S.; BAKKER, A. P. PROCESSOS PEDOGENÉTICOS E SUSCEPTIBILIDADE DOS SOLOS À DEGRADAÇÃO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO. **Caminhos de Geografia**, v. 22, n. 81, p. 176- 195, 2021. <https://doi.org/10.14393/RCG228155397>

MAHARAJAN, T.; CEASAR, S. A.; AJEESH KRISHNA, T. P.; RAMAKRISHNAN, M.; DURAI PANDIYAN, V.; NAIF ABDULLA, A. D.; IGNACIMUTHU, S. Utilization of molecular markers for improving the P efficiency in crop plants. **Plant Breeding**, v. 137, p.10-26, 2018. <https://doi.org/10.1111/pbr.12537>

- MANN, C.; LYNCH, D.; FILLMORE, S. MILLS, A. Relationships between field management, soil health, and microbial community composition. *Applied Soil Ecology*, v. 144, p. 12-21, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.06.012>
- MARQUES, F. A.; NASCIMENTO, A. F.; ARAUJO, F. J. C.; SILVA, A. B. **Solos do Nordeste**. EMBRAPA. 2014, 8 p.
- MARTINS, L.M.V.; XAVIER, G.R.; RANGEL, F.W. RIBEIRO, J. R. A.; NEVES, M. C. P.; MORGADO, L. B.; RUMJANEK, N.G. Contribution of biological nitrogen fixation to cowpea: a strategy for improving grain yield in the semi-arid region of Brazil. **Biology and Fertility of Soils**, v. 38, p. 333–339, 2003. <https://doi.org/10.1007/s00374-003-0668-4>
- NASCIMENTO, R. C.; CAVALCANTI, M.I.P.; CORREIA, A.J.; ESCOBAR, I.E.C.; FREITAS, A.D.S.; NÓBREGA, R.S.A.; FERNANDES-JÚNIOR, P.I. Maize-associated bacteria from the Brazilian semiarid region boost plant growth and grain yield. **Symbiosis**, v. 83, p. 347–359, 2021. <https://doi.org/10.1007/s13199-021-00755-7>
- NANDIMATH, A. P.; KARAD, D. D.; GUPTA, S. G.; KHARAT, A. S. Consortium inoculum of five thermo-tolerant phosphate solubilizing Actinomycetes for multipurpose biofertilizer preparation. **Iranian journal of microbiology**, v. 9, n.5, p. 295–304, 2017. <http://ijm.tums.ac.ir>
- NAFIS, A.; RAKLAMI, A.; BECHTAOUI, N.; EL KHALLOUFI, F.; EL ALAOUI, A.; GLICK, B.R.; HAFIDI, M.; KOUISNI, L.; OUHDOUCH, Y.; HASSANI, L. Actinobacteria from Extreme Niches in Morocco and Their Plant Growth-Promoting Potentials. **Diversity**, v. 11, n. 139, p. 1-15, 2019. <https://doi.org/10.3390/d11080139>
- NESME, T.; METSON, G.S.; BENNETT, E.M. Global phosphorus flows through agricultural trade. *Global Environmental Change*, v. 50, p. 133-141, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2018.04.004>.
- NUNES, J.S.; ARAUJO, A.S.F.; NUNES, L.A.P.L.; LIMA, L.M.; CARNEIRO, R.F.V.; SALVIANO, A.A.C.; TSAI, S.M. Impact of Land Degradation on Soil Microbial Biomass and Activity in Northeast Brazil. *Pedosphere*, v. 22, n.1, p. 88-95, 2012. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(11\)60194-X](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(11)60194-X).
- OLIVEIRA, L. B.; FONTES, M. P. F.; RIBEIRO, M. R.; KER, J. C. Micromorfologia e gênese de luvisolos e planossolos desenvolvidos de rochas metamórficas no semi-árido brasileiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** v. 32, n. 6, p. 2407-2423, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000600019>.
- OZLU, E., SANDHU, S.S., KUMAR, S. 2019. Soil health indicators impacted by long-term cattle manure and inorganic fertilizer application in a corn-soybean rotation of South Dakota. **Scientific Reports**, v. 9, n. 11776, p. 1-11, 2019. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-48207-z>

PANDE, A.; PANDEY, P.; MEHRA, S.; SINGH, M., KAUSHIK, S. Phenotypic and genotypic characterization of phosphate solubilizing bacteria and their efficiency on the growth of maize. **Journal of Genetic Engineering and Biotechnology**, v. 15, n. 2. p. 379-391, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jgeb.2017.06.005>

PANHWAR, Q.A.; JUSOP, S.; NAHER, U.A.; OTHMAN, R.; RAZI, M.I. "Application of Potential Phosphate-Solubilizing Bacteria and Organic Acids on Phosphate Solubilization from Phosphate Rock in Aerobic Rice". **The Scientific World Journal**, v. 2013, n. 272409, p. 1-10, 2013. <https://doi.org/10.1155/2013/272409>

PII, Y.; MIMMO, T.; TOMASI, N.; TERZANO, R.; CESCO, S.; CRECCHIO, C. 2015 Microbial interactions in the rhizosphere: beneficial influences of plant growth-promoting rhizobacteria on nutrient acquisition process. A review. **Biology and Fertility and Soils**, v, 51, p. 403-415, 2015. <https://doi.org/10.1007/s00374-015-0996-1>

POOMTHONGDEE, N.; DUANGMAL, K.; PATHOM-AREE, W. Acidophilic actinomycetes from rhizosphere soil: diversity and properties beneficial to plants. **The Journal of antibiotics**, v. 68, n. 2 68, p. 106–114, 2015. <https://doi.org/10.1038/ja.2014.117>.

RADHA, T.K. ; DESIRAJU. R. ; SREERAMULU, K.R. 2017. Actinobacteria of Arid and Semi-arid Soils: Antagonism to Fungal Pathogens and Plant Growth Promoting Potential. **Journal of Pure and Applied Microbiology**, v.11, n. 2, p.1045-1052, 2017. <http://dx.doi.org/10.22207/JPAM.11.2.47>

REILLY, T. J.; BARON, G. S.; NANO, F.; KUHLENSCHMIDT, M. S. Characterization and sequencing of a respiratory burst- inhibiting acid phosphatase from *Francisella tularensis*. **The Journal of biological chemistry**, v. 271, n. 18, p. 10973–10983, 1996. <https://doi.org/10.1074/jbc.271.18.10973>

REIS, P.T.H.; GUIMARÃES, G. P.T.; NETO, F. A. E.; GUERRA, A. F; CURI, N. Soil Phosphorus dynamics and availability and irrigated coffee yield. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 35, n. 2, p. 503-512, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000200019>

RICHARDSON, A.E.; SIMPSON, R.J. Soil Microorganisms Mediating Phosphorus Availability Update on Microbial Phosphorus, **Plant Physiology**, v. 156, n.3, p. 989–996, 2011. <https://doi.org/10.1104/pp.111.175448>

RODRÍGUEZ, H., FRAGA R. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. **Biotechnology Advances**, v. 17. p. 319–339, 1999. [https://doi.org/10.1016/s0734-9750\(99\)00014-2](https://doi.org/10.1016/s0734-9750(99)00014-2)

ROSSATO, L.; DOS SANTOS, A.R.; MARENGO, J.; ZERI, M.; CUNHA, A. P.; PIRES, L.; BARBOSA, H. Impact of Soil Moisture on Crop Yields over Brazilian Semiarid. **Frontiers in Environmental Science**, v. 5, n. 73. p 1- 16, 2017. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2017.00073>

SABIHA-JAVIED, M. T.; ASGHAR, M. Hazard of NORM from phosphorite of Pakistan. **Journal of Hazardous Materials**, v. 176, p. 426–433, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.11.047>

SAHU, P.K.; SINGH, D.P.; PRABHA, R.; MEENA, K. K.; ABHILASH, P. C. Connecting microbial capabilities with the soil and plant health: Options for agricultural sustainability. **Ecological Indicators**, v. 105, p. 601-612, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.05.084>.

SAMAGO, T. Y.; ANNIYE, E. W.; DAKORA, F. D. Grain yield of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) varieties is markedly increased by rhizobial inoculation and phosphorus application in Ethiopia. **Symbiosis (Philadelphia, Pa.)**, v.75, n. 3, p. 245–255, 2018. <https://doi.org/10.1007/s13199-017-0529-9>

SANTANA, S.R.A.; VOLTOLINI, T.V.; ANTUNES, G.R.; SILVA, V. M.; SIMÕES, W. L.; MORGANTE, C. V.; FREITAS, A.D.S.; CHAVES, A. R. M.; AIDAR, S. T.; FERNANDES-JÚNIOR, P. I. Inoculation of plant growth-promoting bacteria attenuates the negative effects of drought on sorghum. **Archives of Microbiology**, v. 202, p. 1015–1024, 2020. <https://doi.org/10.1007/s00203-020-01810-5>

SANTOS, M.S.; NOGUEIRA, M.A.; HUNGRIA, M., 2019. Microbial inoculants: reviewing the past, discussing the present and previewing an outstanding future for the use of beneficial bacteria in agriculture. **AMB Express**, v. 9, n. 205, 2019. <https://doi.org/10.1186/s13568-019-0932-0>

SANE, S. A.; MEHTA, S. K. Isolation and evaluation of rock phosphate solubilizing fungi as potential bio-fertilizer. **Journal of Fertilizers & Pesticides**. v. 6, p. 2. p.1-6, 2015. doi:10.4172/2471-2728.1000156

SCHNEEMANN, I.; NAGEL, K.; KAJAHN, I.; LABEL, A.; WIESE, J., IMHO, J. F. Comprehensive investigation of marine Actinobacteria associated with the sponge *Halichondria panicea*. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 76, n. 11, 3702-3714, 2010. <https://doi.org/10.1128/AEM.00780-10>

SCHREY, S. D.; TARKKA, M. T. Friends and foes: streptomycetes as modulators of plant disease and symbiosis. **Antonie van Leeuwenhoek**, v. 94, n.1, 11-19, 2008. <https://doi.org/10.1007/s10482-008-9241-3>

SHARMA, S. B.; SAYYED, R. Z.; TRIVEDI, M. H.; GOBI, T. A. Phosphate solubilizing microbes: sustainable approach for managing phosphorus deficiency in agricultural soils. **SpringerPlus**, v. 2, n. 587, p. 1-14. 2013. <https://doi.org/10.1186/2193-1801-2-587>

SHARMA, M.; DANGI, P.; CHOUDHARY, M. Actinomycetes: Source, Identification, and Their Applications. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v. 3, n. 2, p. 801-832, 2014. <http://www.ijcmas.com>

SHULSE, C. N.; CHOVIATIA, M.; AGOSTO, C.; WANG, G.; HAMILTON, M.; DEUTSCH, S.; YOSHIKUNI, Y.; BLOW, M. 2019. Root Bacteria Release Plant-Available Phosphate from Phytate. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 85, n. 18, p. 1-11, 2019. <https://doi.org/10.1128/AEM.01210-19>

SOUMARE, A.; BOUBEKRI, K.; LYAMLOULI, K.; HAFIDI, M.; OUHDOUCH, Y.; KOUISNI, L. From Isolation of Phosphate Solubilizing Microbes to Their Formulation and Use as Biofertilizers: Status and Needs. **Frontiers in Bioengineering and Biotechnology**, v. 7, n. 425. p. 1-13, 2020. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2019.00425>

SOUMARE, A.; BOUBEKRI, K.; LYAMLOULI, K.; HAFIDI, M.; OUHDOUCH, Y.; KOUISNI, L. Efficacy of phosphate solubilizing Actinobacteria to improve rock phosphate agronomic effectiveness and plant growth promotion. **Rhizosphere**, v.17, n. 100284, p. 1-7, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2020.100284>

SOUSA, S. M.; DE OLIVEIRA, C. A.; ANDRADE, D. L.; DE CARVALHO, C. G.; RIBEIRO, V. P.; PASTINA, M. M.; MARRIEL, I. E.; UBIRACI, G. P. L.; GOMES, E. A. Tropical *Bacillus* Strains Inoculation Enhances Maize Root Surface Area, Dry Weight, Nutrient Uptake and Grain Yield. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 40, p. 867–877, 2020. <https://doi.org/10.1007/s00344-020-10146-9>

SULEMAN, M.; YASMIN, S.; RASUL, M.; YAHYA, M.; ATTA, B.M.; MIRZA, M.S. Phosphate solubilizing bacteria with glucose dehydrogenase gene for phosphorus uptake and beneficial effects on wheat. **PLoS ONE**, v. 13, n. 9: e0204408, 2018. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0204408>

STAMFORD, N. P.; DOS SANTOS, P. R.; FREIRE DE MOURA, A.M.M; SANTOS, C.E.R.S.; FREITAS, A.D.S. . Biofertilizers with natural phosphate, sulphur and Acidithiobacillus in a soil with low available-P. **Scientia Agricola**, v. 60, n. 4, p. 767-773, 2003. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162003000400024>

TALLAPRAGADA, P.; GUDIMI, M. Phosphate solubility and biocontrol activity of *Trichoderma harzianum*. **Turkish Journal of Biology**, v. 35, p.593-699, 2011. DOI:10.3906/biy-0911-4

THILAKARATHNA, M.S.; RAIZADA, M. N. Visualizing Glutamine Accumulation in Root Systems Involved in the Legume–Rhizobia Symbiosis by Placement on Agar Embedded with Companion Biosensor Cells. **Phytobiomes Journal**, v. 2, n. 3, p. 117-128, 2018. <https://doi.org/10.1094/PBIOMES-07-18-0031-TA>

THALLER, M. C.; BERLUTTI, F.; SCHIPPA, S.; LOMBARDI, G.; ROSSOLINI, G. M. Characterization and sequence of PhoC, the principal phosphate-irrepressible acid phosphatase of *Morganella morganii*. **Microbiology**, v. 140, n. 6, p. 1341– 1350, 1994. <https://doi.org/10.1099/00221287-140-6-1341>

THALLER, M. C.; LOMBARDI, G.; BERLUTTI, F.; SCHIPPA, S.; ROSSOLINI, G. M. 1995. Cloning and characterization of the NapA acid phosphatase/phosphotransferase of *Morganella morganii*: identification of a new family of bacterial acid phosphatase encoding genes. **Microbiology**, v. 140, n. 1 p. 147–151, 1995. <https://doi.org/10.1099/00221287-141-1-147>

THAPA, V.R.; GHIMIRE, R.; MIKHA, M.M.; IDOWU, O.J.; MARSALIS, M.A. Land Use Effects on Soil Health in Semiarid Drylands. 2018. **Agricultural and Environmental Letters**, v. 3, n. 1, p. 1-5, 2018. <https://doi.org/10.2134/ael2018.05.0022>

THOMAS, B.W.; HUNT, D.; BITTMAN, S.; HANNAM, K.D.; MESSIGA, A.J.; HAAK, H.; SHARIFI, M.; HAO, X. Soil health indicators after 21 yr of no-tillage in south coastal British Columbia. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 9, n. 2, p. 222-225, 2019. <https://doi.org/10.1139/cjss-2018-0146>

TRIVEDI, P.; DELGADO-BAQUERIZO, M.; ANDERSON, I. C.; SINGH, B. K. Response of Soil Properties and Microbial Communities to Agriculture: Implications for Primary Productivity and Soil Health Indicators. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, n. 990, p. 1-13, 2016. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00990>

VALLADARES, G. S.; PEREIRA, G.; CUNHA DOS ANJOS, L.H. Phosphate sorption in low activity clay soils. **Bragantia**, v.62, n.1, p.111-118, 2003. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052003000100014>

VAN ES, H.M.; KARLEN, D.L. Reanalysis validates soil health indicator sensitivity and correlation with long-term crop yields. **Soil Science Society American Journal**, v. 83, n. 3. p. 721-732, 2019. <https://doi.org/10.2136/sssaj2018.09.0338>

VASCONCELLOS, A.; ANDREAZZE, R.; ALMEIDA, A. M.; ARAUJO, H. F.; OLIVEIRA, E.; OLIVEIRA, U. Seasonality of insects in the semi-arid Caatinga of northeastern Brazil. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 54, n. 3, p. 471-476, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0085-56262010000300019>

VELLOSO, C.C.V.; ABREU DE OLIVEIRA, C. GOMES, E.A.; DE PAULA L.U.G.; DE CARVALHO, C.G.; GUIMARÃES, L.J.M.; PASTINA, M. M.; DE SOUSA, S.M. Genome-guided insights of tropical *Bacillus* strains efficient in maize growth promotion. **FEMS Microbiology Ecology**, v. 96, n. 9, p. 1-16, 2020. <https://doi.org/10.1093/femsec/fiaa157>

WALL, D. H.; NIELSEN, U. N.; SIX, J. Soil biodiversity and human health. *Nature*, v. 528, p. 69-76, 2015. <https://doi.org/10.1038/nature15744>

WEI, Y.; ZHAO, Y.; SHI, M.; CAO, Z.; LU, Q.; YANG, T.; FAN, Y.; WEI, Z. Effect of organic acids production and bacterial community on the possible mechanism of phosphorus solubilization during composting with enriched phosphate-solubilizing bacteria inoculation. **Bioresour. Technol.**, v. 247, p. 190–199, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.09.092>

WEISBURG, W.G., S.M. BARNES, D.A. PELLETIER, D.J. LANE. 1991. 16S ribosomal DNA amplification for phylogenetic studies. *Journal of Bacteriology*. V. 173. N2. pp. 697-703.

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.; ROSOLEM C. A.; ANDREOTE, F.D.; OLIVEIRA Jr. A.; COUTINHO, E.L.M.;

PAVINATO, P. S. Transitions to sustainable management of phosphorus in Brazilian agriculture. **Scientific Reports**, v. 8, n. 2537, p 1-13, 2018. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-20887-z>

YADAV, A.N.; VERMA, P.; KUMAR, S.; KUMAR, V.; KUMAR, M.; SINGH, B.P.; SAXENA, A.K.; DHALIWAL, H.S. **Actinobacteria from Rhizosphere: molecular diversity, distributions and potential biotechnological applications**. In: Singh B, Gupta V, Passari A (eds) New and future developments in microbial biotechnol bioeng. USA, 2018, p. 13–41.

YADAV, R.; ROR, P.; RATHORE, P.; RAMAKRISHNA, W. Bacteria from native soil in combination with arbuscular mycorrhizal fungi augment wheat yield and biofortification. **Plan Physiology and Biochemistry**. v.150. p. 222-233, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.02.039>

YANG, T.; SIDDIQUE, K. H. M.; LIU, K. 2020. Cropping systems in agriculture and their impact on soil health-A review. **Global Ecology and Conservation**, v. 23, p. 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01118>.

ZAIDI, A.; KHAN, M.S.; AHMED, M.; OVES, M.; WANI, P. A. **Recent Advances in Plant Growth Promotion by Phosphate-Solubilizing Microbes**. In: Khan MS et al (eds) Microbial Strategies for Crop Improvement. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2009, p. 23–50.

ZHENG, B.X.; ZHANG, D.P.; WANG, Y. HAO, X.L.; WADAAN, M.A.M.; HOZZEIN, W.N. PEÑUELAS, J.; ZHU, Y.G.; YANG, X.R. Responses to soil pH gradients of inorganic phosphate solubilizing bacteria community. **Scientific Reports**, v. 9, n. 25, p. 1-8. 2019. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-37003-w>

CAPÍTULO II

3. BIOPROSPEÇÃO DE BACTÉRIAS SOLUBILIZADORAS DE FOSFATO ISOLADAS DE SOLOS DO NORDESTE BRASILEIRO COM POTENCIAL USO NA AGRICULTURA

RESUMO

O fósforo (P) é um nutriente fundamental para o desenvolvimento das culturas. A maioria dos solos tropicais apresentam uma baixa disponibilidade de P, devendo ser aplicado fertilizante mineral. A região Nordeste do Brasil, particularmente o semiárido, abrange uma enorme diversidade de solos como os Planossolos e Luvisolos, podendo existir uma grande variação nas concentrações e formas de P. As bactérias solubilizadoras de fosfato (BSF) transformam o fósforo a formas disponíveis para as plantas mediante a produção de ácidos orgânicos e enzimas. Além, podem apresentar outros mecanismos de promoção do crescimento vegetal. Portanto, o uso de BSF é uma alternativa de baixo custo e benéfica com o meio ambiente. Nesse contexto, o objetivo do trabalho foi isolar BSF de Planossolos e Luvisolos do Nordeste Brasileiro e avaliar sua capacidade de solubilização de fosfato de cálcio e outros mecanismos de promoção do crescimento vegetal, selecionando as bactérias mais promissoras para o desenvolvimento de um biofertilizante. As BSF foram isoladas a partir de horizontes superficiais e subsuperficiais de 4 perfis de Planossolos e 4 perfis de Luvisolos. Para a seleção de BSF foi adotado o critério de isolamento de bactérias crescidas no meio sólido NBRIP e logo avaliada a capacidade de solubilização em meio líquido NBRIP ao 5º, 7º e 9º dia. A contagem das unidades formadoras de colônia por grama de solo (UFC.g^{-1}) foi determinada, assim como a caracterização morfofisiológica das bactérias. Para cada isolado foi medido o diâmetro da colônia e da zona do halo e calculado o índice de solubilização (IS). Foram avaliados os mecanismos de solubilização de zinco, produção de ácido indol- acético (AIA) e exopolissacarídeos (EPS) dos isolados que apresentaram uma solubilização de fosfato em meio líquido $\geq 160 \text{ mg.L}^{-1}$, sem redução da capacidade solubilizadora ao longo do tempo e com características morfofisiológicas distintas. Um total 170 cepas bacterianas foram caracterizadas, das quais 96 são de origem dos Planossolos e 74 dos Luvisolos. Os isolados que apresentaram as mesmas características morfofisiológicas foram unidos em grupos com 70% de similaridade e determinados os índices de diversidade. Os resultados de UFC.g^{-1} de bactérias totais variaram significativamente entre os horizontes ($p < 0,05$) para os 8 perfis. O dendrograma de similaridade revelou a formação de 37 grupos bacterianos distintos para os perfis de Planossolos e 26 grupos para os Luvisolos com ampla variabilidade morfofisiológica. Todos os isolados dos perfis estudados foram capazes de solubilizar fosfato em meio líquido apresentando diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os isolados e o controle. Finalmente, de acordo com os resultados, as bactérias PL1A, PL1B, PL2L, PL3J, PL6A, PL18E, LU10E e LU13C foram as mais eficientes, sendo as recomendadas para o desenvolvimento de um biofertilizante.

Palavras-chave: Planossolos. Luvisolos. Horizontes pedogenéticos. Micro-organismos do solo. Solubilização de fósforo. Potencial biotecnológico.

BIOPROSPECTION OF PHOSPHATE SOLUBILIZING BACTERIA ISOLATED FROM NORTHEASTERN BRAZILIAN SOILS WITH POTENTIAL USE IN AGRICULTURE

ABSTRACT

Phosphorus (P) is an essential nutrient for crop development. Most tropical soils have low P availability and mineral fertilizer should be applied. In the Northeast region of Brazil, particularly the semiarid, there is an enormous diversity of soils such as Planosols and Luvisols and there can exist an enormous variation in the concentrations and forms of P in these soils. Phosphate solubilizing bacteria (PSB) transform phosphorus into available forms for plants through the production of acids and enzymes. Additionally, PSB may have other mechanisms to promote plant growth. Therefore, the use of phosphate solubilizing bacteria (PSB) is a low-cost and environmentally friendly alternative. In this context, the purpose of this work was to isolate PSB from Luvisols and Planosols from Northeast Brazil and to evaluate its capacity to solubilize calcium phosphate and other mechanisms to promote plant growth, selecting the most promising bacterial strains for the development of a biofertilizer. The PSB were isolated from soil samples of superficial and subsurface horizons of 4 profiles of Planosols and 4 profiles of Luvisols. For the selection of PSB was adopted the parameter of isolation of bacteria grown in solid medium NBRIP and then evaluated the capacity of solubilization in liquid NBRIP medium on the 5th, 7th and 9th day. The count of colony forming units per gram of soil (CFU.g⁻¹) was determined for each plate by recording the number of bacterial colonies with and without halo (total bacteria) as well as the morphophysiological characterization of the bacteria. For each isolate, both colony and halo zone diameter were measured and the solubilization index (SI) was calculated. The mechanisms of zinc solubilization, indole acetic acid (IAA) and exopolysaccharide (EPS) production of the isolates that presented a phosphate solubilization in liquid medium $\geq 160 \text{ mg.L}^{-1}$ without reduction of the solubilizing capacity over time and with different morphophysiological characteristics, according to the similarity dendrogram were evaluated. A total of 170 bacteria were characterized, of which 96 correspond to Planosols profiles and 74 to Luvisols profiles. Isolates that showed the same morphophysiological characteristics were grouped into groups with 70% similarity and evaluated diversity indices. Total bacteria results varied significantly between horizons ($p < 0.05$) for the 8 profiles. The similarity dendrogram revealed the formation of 37 bacterial groups for Planosols and 26 groups for Luvisols with high phenotypic diversity. All isolates of the studied profiles were able to solubilize phosphate in liquid medium, showing significant differences ($p < 0.05$) between the isolates and the uninoculated control. Finally, according to the results, the bacteria PL1A, PL1B, PL2L, PL3J, PL6A, PL18E, LU10E and LU13C were the most efficient, being recommended for the development of a biofertilizer.

Keywords: Planosols. Luvisols. Pedogenetic horizons. Soil microorganisms. Phosphorus solubilizing. Biotechnological potential.

3.1 Introdução

O fósforo (P) é o segundo nutriente mais necessário para o crescimento das plantas, após o nitrogênio (N) (OTEINO et al., 2015). Participa de diversos processos como fotossínteses, divisão celular e desenvolvimento de raízes (HAMIM et al., 2019). Na maioria dos solos brasileiros é um elemento que limita a produtividade das culturas, pela baixa mobilidade e disponibilidade (PAVINATO et al., 2021). A região Nordeste do Brasil, particularmente o semiárido apresenta uma enorme diversidade de solos (OLIVEIRA et al., 2009). Como consequência pode existir uma grande variação nas concentrações e formas de P nesses solos (ARAÚJO et al., 2004; SILVEIRA et al., 2006). No semiárido nordestino predominam solos pouco a moderadamente desenvolvidos como os Planossolos e Luvisolos (OLIVEIRA et al., 2009). De modo geral, os Planossolos, são solos pouco profundos com horizonte superficial de cores claras e textura arenosa ou média, seguido de um horizonte B plânico, de textura média, argilosa ou muito argilosa, pouco permeável, coloração acinzentada, consequente de drenagem imperfeita. Geralmente, apresentam alta capacidade de troca de cátions (CTC) e saturação por bases igual ou maior que 50% (eutrófico). Com relação aos Luvisolos são solos rasos a pouco profundos, pedregosos, com horizonte A fraco, pouco espesso, de cor clara, e um horizonte B textural de cores vivas com argila de alta atividade e eutróficos. (CUNHA et al., 2010; SANTOS et al., 2017; EMBRAPA, 2018).

As fortes pressões ambientais e antropogênicas da região tem provocado o avanço da desertificação dos solos, especialmente dos Luvisolos e Planossolos, afetando sua produtividade (SÁ et al., 2010; OLIVEIRA et al., 2009; GAMA; JESUS, 2020).

Para garantir o rendimento dos cultivos, o P é fornecido na forma de fertilizante mineral o qual é majoritariamente importado (KHAN et al., 2010; WITHERS et al., 2018). Nas últimas décadas, o uso de fertilizantes fosfatados foi aumentando visando atender a demanda de alimentos pelo incremento da população mundial (NIÑO-SABALA et al., 2019). No entanto, devido à redução das reservas de rocha fosfática, elevados custos de produção de fertilizantes e impactos gerados na saúde do solo, o cenário tende a mudar para uma agricultura mais sustentável (GUPTA et al., 2012; OTEINO et al., 2015; PANDE et al., 2017).

O uso de bactérias solubilizadoras de fosfato (BSF) é uma alternativa favorável de baixo custo que beneficia o meio ambiente (CHEN et al., 2006; BHATT; MAHESHWARI, 2020). As BSF são um grupo funcional das bactérias promotoras do crescimento de plantas (BPCPs) (WANG et al., 2021). Várias pesquisas de BPCPs estão dirigidas ao estudo de bactérias solubilizadoras de fosfato (BSF) pela capacidade de disponibilizar P para as plantas (VELLOSO et al., 2020; SOUMARE et al., 2021). Entre os gêneros mais representativos encontram-se *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Rhizobium*, *Agrobacterium*, *Burkholderia*, *Achromobacter*, *Micrococcus*, *Aerobacter*, *Flavobacterium*, *Erwinia*, *Pantoea*, *Acinetobacter*, *Enterococcus*, *Enterobacter* e *Streptomyces* (ANZUAY, et al., 2013; KALAYU, 2019)

No solo, as BSF liberam ácidos orgânicos ou enzimas que transformam o fósforo a formas disponíveis para as plantas (RFAKI et al., 2020; ADNAN et al., 2020). O principal mecanismo de solubilização de fosfatos das BSF é a produção de ácidos orgânicos como glucônico, fórmico, 2-cetoglucônico, cítrico, oxálico, láctico, glicólico e acético, resultando na diminuição do pH do meio (PANDE et al., 2017).

Outros mecanismos que as BSF podem apresentar é a solubilização de zinco, produção de ácido indol-acético (AIA), exopolissacarídeos (EPS) e controle biológico. O zinco (Zn) é um micronutriente necessário para todos os seres vivos, especialmente para a atividade de muitas enzimas (SARAVANAN et al., 2004). Nas plantas, o Zn está envolvido no metabolismo de carboidratos e auxinas (KAMRAN et al., 2017).

Quanto à produção de fitormônios pelas BSF, a auxina AIA é utilizada pelos micro-organismos para interagir com as plantas como estratégia de colonização, incluindo a fitoestimulação e evitando mecanismos de defesa da planta. O AIA estimula o crescimento de raízes, a divisão celular, germinação de sementes, crescimento vegetativo e florescência (SPAEPEN et al., 2007; SOUZA et al., 2015; VURUKONDA et al., 2018; LIU et al., 2019). A biossíntese de AIA pode ser por vias dependentes ou independentes do triptofano. No entanto, o triptofano foi identificado como o principal precursor para a síntese de AIA em bactérias (SPAEPEN et al., 2007; MCCLERKLIN et al., 2018).

A produção de EPS está relacionada com a função de proteção contra pressões ambientais como estresse osmótico, temperatura, pH, exposição à luz ultravioleta, metais pesados, dessecação além de contribuir na aderência celular a superfícies (STAUDT et al., 2012; KUMAR et al., 2020).

O uso de micro-organismos como biofertilizantes (inoculantes) tem sido de enorme importância devido aos efeitos favoráveis no solo e na produtividade das culturas (OTEINO et al., 2015; NUMAN et al., 2018; RAMAKRISHNA et al., 2019; SANTOS et al., 2021). Estudos no Brasil têm demonstrado resultados promissores no uso de BSF em diversas culturas como milho e sorgo (GOMES et al., 2014; OTEINO et al., 2015; MATTOS et al., 2020; VELLOSO et al., 2020; PEREIRA et al., 2020; SOUSA et al., 2020). No entanto, a maioria das pesquisas da região Nordeste estão focados principalmente na busca de BPCPs isoladas de solo rizosférico ou endofíticos (MARTINS et al., 2003; DA SILVA et al., 2018; ANTUNES et al., 2019; SANTANA et al., 2020; NASCIMENTO et al., 2021), existindo poucos estudos de prospecção de BSF ao longo dos horizontes pedogenéticos de solos da região. Compreender como a comunidade microbiana varia ao longo do perfil do solo pode oferecer uma melhor estimativa da biodiversidade global. Estudos têm mostrado que mudanças na abundância microbiana com a profundidade do solo está relacionada com características físicas e químicas do mesmo como conteúdo de matéria orgânica, argila e umidade (EILERS et al., 2012).

Diante o exposto, o presente trabalho teve por objetivo isolar bactérias solubilizadoras de fosfato ao longo dos horizontes superficiais e subsuperficiais de 4 perfis de Planossolos e 4 perfis de Luvisolos do Nordeste Brasileiro. Avaliar sua capacidade de solubilização de fosfato e outros mecanismos de promoção do crescimento vegetal, selecionando as cepas bacterianas mais promissoras para o desenvolvimento de um biofertilizante e futuras avaliações no campo.

3.2 Material e métodos

3.2.1 Descrição da área de estudo

Solos de sete áreas inseridas no semiárido brasileiro e uma área da mata norte do estado de Pernambuco, Brasil, foram utilizadas e distribuídas na seguinte forma: quatro perfis de solos correspondem a Planossolos e quatro a Luvisolos (Figura 1). Os solos foram descritos morfologicamente de acordo com Santos et al. (2015) e classificados segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2018). As amostras de solos foram coletadas de acordo com o Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo (SANTOS et al., 2015)

As áreas selecionadas neste trabalho para o isolamento de BSF foram a partir dos resultados obtidos em pesquisas paralelas que mostraram alta disponibilidade de fósforo ($P > 10 \text{ mg.Kg}^{-1}$) nos horizontes superficiais e subsuperficiais de Planossolos (SANTOS DE SOUSA, 2019) e Luvisolos (SILVA, 2018; SANTOS, 2019). A caracterização química dos solos estudados encontra-se no anexo A.

Os Planossolos estudados pertencem a três áreas inseridas no semiárido brasileiro, Serra Talhada (PL1), Belém de São Francisco (PL2), e Lagoa do Ouro (PL3), e uma área inserida na mata norte de Pernambuco, Camutanga (PL4). As áreas foram escolhidas com máxima preservação da vegetação, sendo o perfil de Belém de São Francisco coletado sob vegetação com aspecto aparente de queimada. A coleta dos solos foi entre outubro 2017 e março 2018 (SANTOS DE SOUSA, 2019). A localização dos perfis de Planossolos, caracterização climática e vegetação do local estão descritas na Tabela 1.



Figura 1. Localização dos pontos da coleta (PL1: Serra Talhada; PL2: Belém de São Francisco; PL3: Lagoa de Ouro; PL4: Camutanga; LU1: Itacuruba; LU2: Itacuruba; LU3: Serra Talhada; LU4: Afogados de Ingazeira) no estado de Pernambuco, Brasil. Fonte: Google Earth.

Tabela 1. Localização dos perfis de Planossolos, precipitação média anual (PMA), temperatura média anual (TMA), clima e vegetação do local. ST: Serra Talhada, BF: Belém de São Francisco, LO: Lagoa de Ouro, CA: Camutanga

Perfil	Coordenadas (GPS)	Sequência de horizontes	PMA (mm)	TMA (oC)	Clima (Köppen-Geiger)	Altitude (m)	Vegetação
PL1 (ST)	07°56'41,2" S/38°22'27,2" W	A-AE-Bt-BCn-Crn/R	565	23	BSh	474	Caatinga hiperxerófila
PL2 (BF)	08°44'30,7" S/38°51'20,2" W	A-E-Btn-Crn	405	25	BSh	313	Caatinga hiperxerófila
PL3 (LO)	09°09'04,2"S/36°29'02,6" W	Ap-A-E1-E2-2Bt-2Btn-2Crn	750	23	BSh	574	Caatinga hipoxerófila
PL4 (CA)	07°25'8,5"S/35°15'33,6" W	Ap1-Ap2-An-Btn1-Btn2-BCn-Crn	949	25	Aw	94	Floresta subcaducifólia

Dados climáticos: APAC (2019), INMET (2019) e CLIMATE-DATA.ORG (2019)

Os Luvisolos avaliados foram coletados entre agosto e outubro de 2017. Foram selecionadas duas áreas no município de Itacuruba (LU1 e LU2), uma área em Serra Talhada (LU3) e uma área em Afogados da Ingazeira (LU4). Os três municípios de Pernambuco estão inseridos na unidade geoambiental da Depressão Sertaneja, que representa uma paisagem típica do semiárido brasileiro (SILVA, 2018; SANTOS, 2019). Grande parte da área LU1 (Itacuruba) tinha o solo exposto sem vegetação, sendo classificada como um área desertificada. A área LU2 (Itacuruba) foi classificada em processo de desertificação, com pouca cobertura vegetal com solo descoberto. As áreas LU3 (Serra Talhada) e LU4 (Afogados de Ingazeira) mostravam vegetação caatinga preservada (SANTOS, 2019; SILVA, 2018). A localização dos perfis de Luvisolos, caracterização climática e vegetação do local estão descritas na Tabela 2.

Para o isolamento de BSF foram utilizadas 41 amostras de solos deformadas de todos os horizontes pedogenéticos de Planossolos e Luvisolos estudados. As amostras deformadas foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneiras com malha de 2 mm para a obtenção de terra fina seca ao ar (TFSA) .

Tabela 2. Localização dos perfis de Luvisolos, precipitação média anual (PMA), temperatura média anual (TMA), clima, altitude e vegetação do local. IT: Itacuruba, ST: Serra Talhada, AI: Afogados de Ingazeira

Perfil	Coordenadas (GPS)	Sequência de horizontes	PMA (mm)	TMA (oC)	Clima (Köppen-Geiger)	Altitude (m)	Vegetação
LU1 (IT)	08°46'43,8" S/38°44' 22,3" W	A-Bt-C-Cr	430	27	Bsh	326	Caatinga hiperxerófila
LU2 (IT)	08°44'48,6" S/38°46' 27,0" W	A-Bt-C-Cr1-Cr2	430	27	Bsh	320	Caatinga hiperxerófila
LU3 (ST)	07°54'56,7" S/38° 14' 10,5" W	A-BA-Bt-BC-Cr	579,3	23,8	Bsh	485	Caatinga hiperxerófila
LU4 (AI)	07°44' 01,1" S/37° 38' 12,9" W	A-BA-Bt-Cr/C-Cr	721,5	22,8	Bsh	556	Caatinga hiperxerófila

Dados climáticos: APAC (2019), INMET (2019) e CLIMATE-DATA.ORG (2019)

3.2.2 Isolamento e caracterização fenotípica de BSF

As BSF foram isoladas a partir de amostras de solos dos horizontes superficiais e subsuperficiais dos oito perfis estudados. Para o isolamento das BSF foi utilizado o meio de cultura sólido *National Botanical Research Institute Phosphate* ou NBRIP (NAUTIYAL, 1999). O meio NBRIP é seletivo para micro-organismos solubilizadores de fosfato e contém fosfato de cálcio como única fonte de fósforo (ANEXO B). A presença de um halo translúcido em torno das colônias no meio sólido NBRIP é indicativo para a seleção de BSF. No entanto, bactérias não formadoras de halo em meio sólido NBRIP, podem apresentar eficiência de solubilização de fosfato no meio líquido (NAUTIYAL, 1999; BASHAN et al., 2013; ABREU et al., 2017).

Por isso, para a seleção de BSF foi adotado o critério de isolamento de bactérias crescidas no meio sólido NBRIP com e sem formação de halo. Adicionalmente, foi avaliado a capacidade de solubilização de todos os isolados em meio líquido NBRIP.

Para cada amostra de solo foi feita uma suspensão de 1g de solo em 9 mL de solução salina estéril de NaCl 0,85% (p/v) e homogeneizada a 150 rpm por 30 minutos. Posteriormente, foram feitas as diluições seriadas 10^{-2} , 10^{-3} e 10^{-4} em solução salina estéril de NaCl 0,85% (p/v), e inoculado 0,1 mL de cada diluição em placas de Petri contendo meio NBRIP, em triplicata, usando-se o método de espalhamento em superfície. As placas foram incubadas em estufa a 30 °C por 7 dias.

A contagem das unidades formadoras de colônia por grama de solo (UFC.g⁻¹) foi determinada para cada placa registrando o número de colônias de bactérias com e sem halo (bactérias totais). O número de UFC por grama de solo foi calculado a partir da média dos valores obtidos mediante a seguinte fórmula:

$$\text{UFC.g}^{-1} = [N \cdot (1/d)] / V$$

N=número de colônias

1/d=inverso da diluição

V=volume plaqueado em mL

As colônias isoladas foram selecionadas aleatoriamente e estriadas em placas de Petri contendo o meio de cultura NBRIP e incubadas a 30 °C por 7 dias visando a

purificação. Após purificação, as colônias bacterianas foram avaliadas fenotipicamente por meio da caracterização morfofisiológica de acordo com: tamanho (diâmetro da colônia); forma da colônia (circular, irregular, puntiforme); cor, elevação (plana, lenticular, convexa, pulvinada, umbonada, umbilicada); borda (inteira, ondulada, lobada, denteada, filamentosa); superfície (lisa, rugosa ou papilada); e presença ou ausência de halo (HUNGRIA; SILVA, 2011). Após a descrição morfofisiológica dos isolados foram estimados os índices de diversidade (Dominância, Simpson, Shannon, Marglef, Equitatividade).

3.2.3 Capacidade de solubilização de fosfato de cálcio dos isolados

A capacidade de solubilização de fosfato de cálcio dos isolados foi determinada em placa e meio líquido NBRIP (NAUTIYAL, 1999; AZZIZ et al., 2012; LIU et al., 2015; ABREU et al., 2017).

A formação de um halo translúcido em torno das colônias isoladas em meio sólido NBRIP indica o potencial de solubilização de fosfato de cálcio. Para cada isolado foi medido o diâmetro da colônia e diâmetro da zona do halo (Figura 2) e calculado o índice de solubilização (IS) de acordo com a equação: $IS (mm) = (\text{diâmetro da zona do halo} + \text{diâmetro da colônia}) / \text{diâmetro da colônia}$ (PAUL; SINHA, 2017; KAUR; KAUR, 2020). Com base nos IS, a capacidade de solubilização dos isolados foi classificada em baixa $IS < 2$ mm, média $2 < IS \leq 4$ e alta $IS > 4$ (BERRAQUERO et al., 1976).

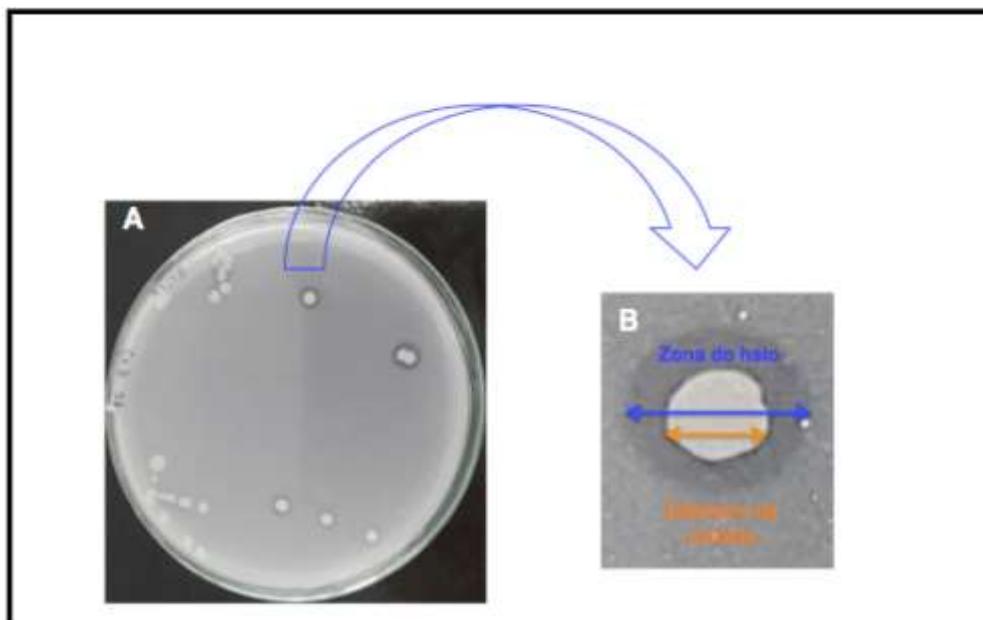


Figura 2. A. Bactérias solubilizadoras de fosfato de cálcio isoladas em meio de cultura NBRIP, a presença de halo em torno da colônia indica a solubilização de fosfato. B. Diâmetro da zona do halo (zeta azul) e diâmetro da colônia (zeta laranja). Foto da autora.

Para a avaliação da capacidade de solubilização de fosfato de cálcio em meio líquido NBRIP, inicialmente, os isolados foram crescidas em tubos com 5 mL de Caldo Tripton Soja (TSB) por 10 dias a 150 rpm (ANEXO C). Após o período de incubação, a densidade bacteriana de cada cultura foi avaliada medindo a densidade ótica (OD) em espectrofotômetro a 620 nm. Para a padronização dos inóculos utilizados nas análises de solubilização *in vitro*, as OD das diferentes culturas foram ajustadas para 0,2 utilizando solução estéril de NaCl a 0,9% (p/v). Por último, foram inoculados 50 μ L de cada estirpe em tubos falcon de 50 mL contendo 25 mL de meio NBRIP líquido por triplicata. Os tubos foram colocados em agitador a 150 rpm por 9 dias. De cada tubo foram retiradas alíquotas de 2 mL aos 5, 7 e 9 dias e o P solúvel de cada amostra foi determinado pelo método colorimétrico vanado-molibdato (BERTRAMSON, 1942).

3.2.3.1 Determinação de P em solução

Para a determinação de P solúvel de cada isolado aos 5, 7 e 9 dias de crescimento, foi preparada a solução de vanado-molibdato da seguinte forma: (i)

solução de vanadato de amônio a 0,09% (p/v): 0,9 g de NH_4VO_3 foram dissolvidos em 500 mL de H_2O destilada fervendo, e quando fria foram adicionados 24 mL de 69% (v/v) de HNO_3 e completado o volume até 1000 ml com H_2O destilada; (ii) solução de molibdato de amônio a 1,9% (p/v): 19 g de $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ foram dissolvidos em H_2O a 50°C , deixados esfriar e diluídos com H_2O destilada até 1000 mL; (iii) ácido nítrico 1,5M: 97 mL de HNO_3 a 69% (v / v) foram diluídos com H_2O destilada até 1000 mL.

As três soluções foram misturadas em partes iguais. Em tubos de vidro de 10 mL foram adicionados 4 mL da solução de vanado-molibdato com 1 mL de amostra centrifugada a 5500 rpm (3082 g) por 15 minutos, misturados e deixados em repouso por uma hora no escuro. Finalmente, a absorbância foi medida a 466 nm.

A curva de calibração foi gerada a partir de uma série de soluções padrões contendo concentrações conhecidas de 0, 20, 40, 60, 80, 100, 200, 300 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de P. Em balões volumétricos de 250 ml foi adicionado 0, 5, 10, 15, 20, 25, 50, 75 mL da solução padrão KH_2PO_4 0,03 M. A cada balão foi adicionado 50 mL de HCl 2M e completou com H_2O destilada até 250 ml. Por último, se colocou 1 mL de solução padrão e 4 mL de solução vanado-modibdato em tubos de vidro. A solução foi misturada e deixada em repouso por 1 hora no escuro e medida a absorbância a 466 nm.

Por ultimo, foram avaliados os mecanismos de solubilização de zinco, produção de AIA e EPS dos isolados que apresentaram uma solubilização de P em meio NBRIP $\geq 160 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, sem redução da capacidade solubilizadora ao longo do tempo e com características morfofisiológicas distintas, segundo o dendrograma de similaridade.

Além disso, foi realizado um ensaio de antibiose com *Fusarium* sp. das bactérias que apresentaram pelo menos um dos mecanismos de promoção de crescimento.

3.2.4 Solubilização de Zinco (Zn)

Usando a técnica de gotejamento, foi inoculado 10 μl de cada isolado crescido previamente em TSB 10 % em placas de Petri com meio Tris Mineral Salts (ANEXO D), em triplicata. As placas foram incubadas por 14 dias a 30°C no escuro. A formação de um halo translúcido ao redor da colônia foi indicativo de solubilização de Zn (FASIM et al, 2002; SULEMAN et al., 2018). Foi medido o diâmetro do halo e da colônia e

calculado o índice de solubilização de Zn (ISZn) segundo a equação: (diâmetro da colônia+ zona do halo)/ diâmetro da colônia) (SULEMAN et al., 2018).

3.2.5 Produção de ácido indol-acético (AIA)

A metodologia colorimétrica usada para avaliar a produção quantitativa de AIA foi descrita por Gordon e Weber (1951), com modificações. Os isolados foram crescidos em TSB 10% suplementado com L-triptofano (5mM), em triplicata, a 30 °C, por 7 dias sob agitação de 150 rpm. Após o período de incubação, uma alíquota de 1 mL de cada amostra foi centrifugada a 12.000 rpm (13398 g) por 5 min. Em seguida, foram adicionados 4 mL de reagente de Salkowski (1ml FeCl₃ 0,5 M, 50 ml H₂O destilada, 30 mL H₂SO₄). A solução resultante foi incubada no escuro por 30 minutos a temperatura ambiente. A produção de AIA foi confirmada ao observar a presença de uma coloração rosa nas amostras (KUSS et al., 2007). A absorbância foi medida a 530 nm das amostras positivas e estimada a concentração de AIA por meio de uma curva padrão com concentrações conhecidas de AIA: 5, 10, 20, 40, 60 e 80 µg/mL, de acordo com a equação $Y=0,0055x+0,0117$ ($R^2=0,9978$).

A produção de AIA foi classificada em baixa < 1 µg/mL ; média 1 - 11 µg/mL; alta 11 - 50 µg/mL e elevada > 50 µg/mL (ARAÚJO et al., 2020).

3.2.6 Produção de exopolissacarídeos (EPS)

Os isolados foram crescidos em meio TSB 10%, a 30 °C, por 7 dias sob agitação de 150 rpm. Posteriormente, 5µl de cada amostra foram inoculados em discos de papel estéril de 5 mm de diâmetro, os quais foram colocados previamente em placas de Petri com meio de cultura modificado com sacarose 10 % (ANEXO E), (KAVAMURA et al., 2013). A produção de EPS foi avaliada mediante a presença de um halo de EPS ao redor do disco de papel inoculado. De acordo com o diâmetro do halo (mm), a produção de EPS foi classificada em: baixa, halo ≤ 10 mm; média, halo de 10-14 mm; alta, ≥ 14mm) (KAVAMURA et al., 2013). A produção de EPS foi confirmada misturando uma alça de platina impregnada com a colônia em 2 mL de álcool etílico. Quando ocorre a precipitação do EPS é confirmada a produção de EPS, entretanto quando o álcool etílico fica turvo indica a não produção de EPS (PAULO et al., 2012).

3.2.7 Ensaio de antagonismo (Controle biológico)

O antagonismo de oito bactérias selecionadas foi avaliado com *Fusarium* sp. pertencente à coleção do Laboratório de Fitopatologia do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA), isolado de plantas de milho com sintomas da doença mediante o confronto direto, de acordo com Dennis e Webster (1971), com adaptações de Montalvão (2017). Os critérios de seleção das bactérias foi baseado em diferenças morfofisiológicas, alta capacidade de solubilização de fosfato de cálcio ($\geq 160 \text{ mg.L}^{-1}$), produção de AIA, EPS e solubilização de Zn. Inicialmente, as bactérias foram crescidas em meio TSB (ANEXO C) por 7 dias sob agitação (150 rpm) a temperatura ambiente. O *Fusarium* sp., foi cultivado por 7 dias em meio BDA e avaliado o número de esporos em câmara de Neubauer para garantir a produção de esporos fúngicos. Discos de BDA de 0,5 cm de diâmetro contendo estrutura fúngica pura foram retirados e depositados na região central das placas com meio BDA. Na mesma placa, 10 μL da estirpe bacteriana foram inoculados em quatro pontos da placa de modo que ficassem equidistantes a 1 cm da borda da placa de Petri aproximadamente, em triplicata. Como controle foram preparadas placas de BDA contendo unicamente o fungo. O crescimento do fungo foi avaliado por 7 dias.

3.2.8 Análises estatísticas

Os resultados obtidos da descrição morfofisiológica dos isolados foram performados na forma de matriz binária e logo agrupados pelo método de Jaccard em um dendrograma de similaridade e estimados os índices de diversidade usando o programa PAST 3.24 (HAMMER et al.; 2001).

Os dados de UFC.g^{-1} , solubilização de fosfato no meio líquido, solubilização de Zn, produção de AIA e EPS foram submetidos a análises de variância (ANOVA) e as médias comparadas usando o teste Scott- Knott a 5% de probabilidade usando o software InfoStat/L (DI RIENZO et al., 2020).

3.3 Resultados

3.3.1 Abundância de bactérias

Os valores máximos e mínimos de bactérias totais (bactérias com e sem halo) nos 4 perfis de Planossolo variaram entre 6,94 (Horizonte Ap do perfil 3) até 4,19 \log_{10} UFC.g⁻¹ (Horizonte Crn/R do perfil 1), respectivamente (Figura 3). A percentagem de bactérias totais que apresentaram halo foi superior a 90% na maioria dos horizontes (Figura 4).

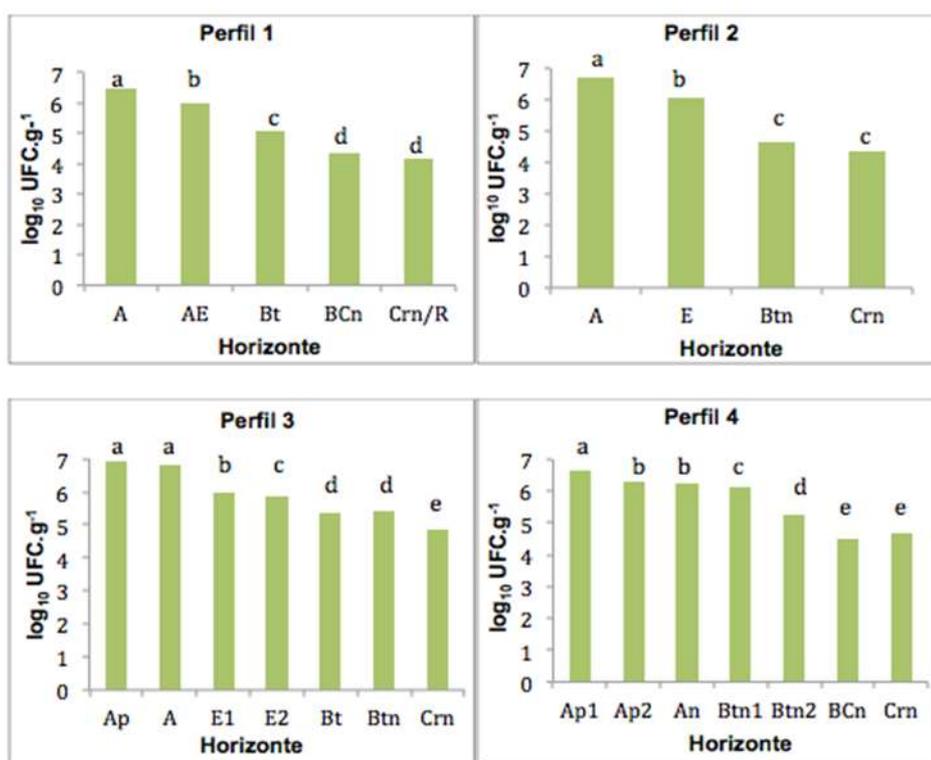


Figura 3. Abundância de bactérias totais (\log_{10} UFC.g⁻¹) de cada horizonte dos 4 perfis de Planossolos. Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.

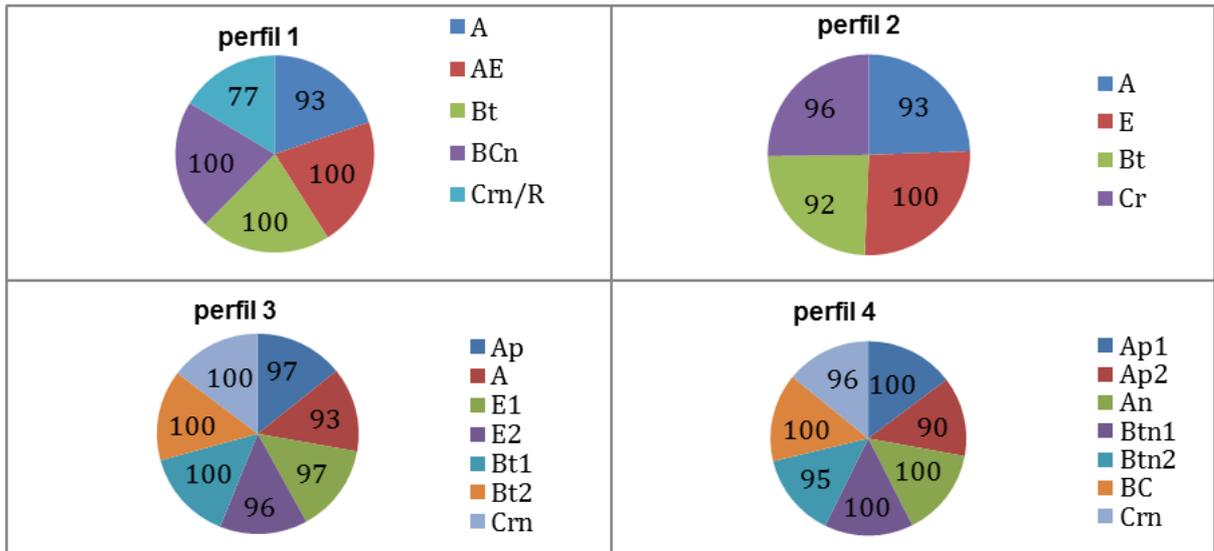


Figura 4. Percentagem de bactérias totais com halo de cada horizonte dos 4 perfis de Planossolos.

Em relação à abundância de bactérias totais dos perfis de Luvisolos, os valores máximos e mínimos variaram entre 6,53 (horizonte A do perfil 3) até 3,90 \log_{10} UFC.g⁻¹ (horizonte Cr do perfil 3), respectivamente (Figura 5). A percentagem de BSF nos Luvisolos diferiram entre os horizontes, com um valor mínimo de 5 % no horizonte A do perfil 4 de Luvisolo (Figura 6).

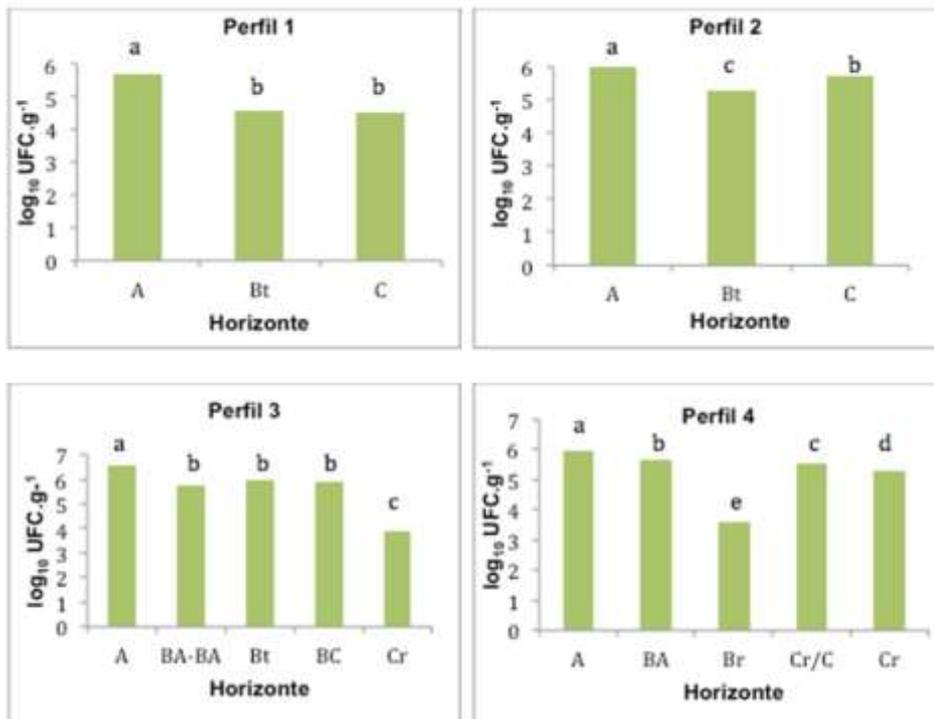


Figura 5. Abundância de bactérias totais (log₁₀ UFC.g⁻¹) de cada horizonte dos 4 perfis de Luvisolos. Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.

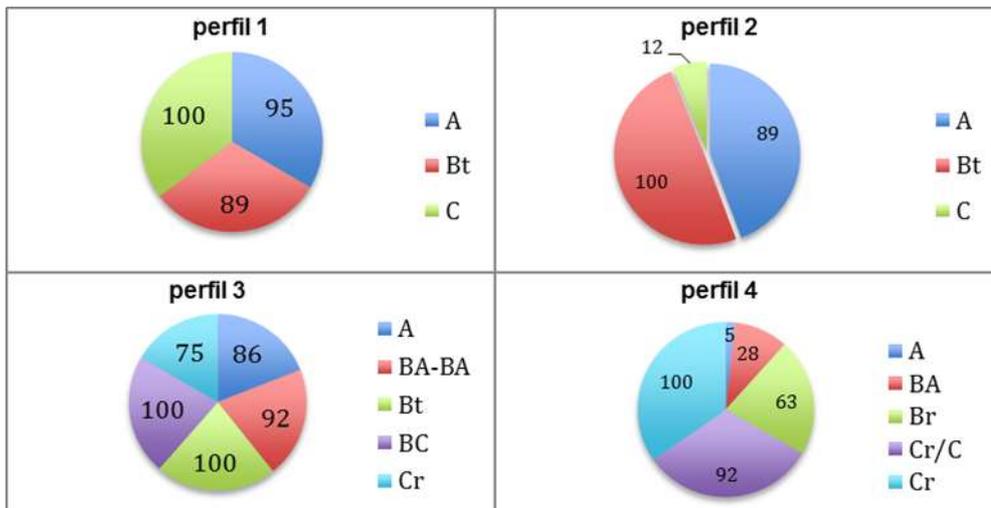


Figura 6. Percentagem de bactérias totais com halo de cada horizonte dos 4 perfis de Luvisolos.

3.3.2 Caracterização fenotípica dos isolados bacterianos e capacidade de solubilização de fosfato de cálcio

Foram caracterizadas um total de 170 bactérias dos solos estudados, das quais 96 correspondem aos Planossolos e 74 aos Luvisolos. Uma grande variabilidade morfofisiológica das bactérias em relação a cor, forma, elevação, borda e superfície foi observada. Cerca de 70 % das colônias bacterianas isoladas apresentaram um aspecto típico de actinobactérias com crescimento micelar, rugosas e muito coloridas (Figura 7).

O dendrograma de similaridade revelou a formação de 37 grupos bacterianos distintos para os perfis de Planossolos e 26 grupos para Luvisolos. Os grupos formados demonstraram alta diversidade fenotípica dos isolados bacterianos de acordo com os índices de diversidade. O índice de Shannon foi 3,426 e 3,057 para Planossolo e Luvisolo, respectivamente. O índice de dominância foi 0,038 para Planossolo e 0,055 para Luvisolo, mostrando baixa dominância entre os isolados. Os índices de equitabilidade (J) e Riqueza (Margalef) foram 0,948 e 7,89 para Planossolo e 0,938 e 5,808 para Luvisolo, demonstrando uma alta uniformidade e riqueza para os perfis dos dois solos (Tabela 3).

A maioria dos isolados apresentaram capacidade de solubilização de fosfato de cálcio pela presença de um halo ao redor da colônia. De acordo com os índices de solubilização (IS) a maioria dos isolados de Planossolos e Luvisolos tem capacidade solubilizadora média (APÊNDICE A).

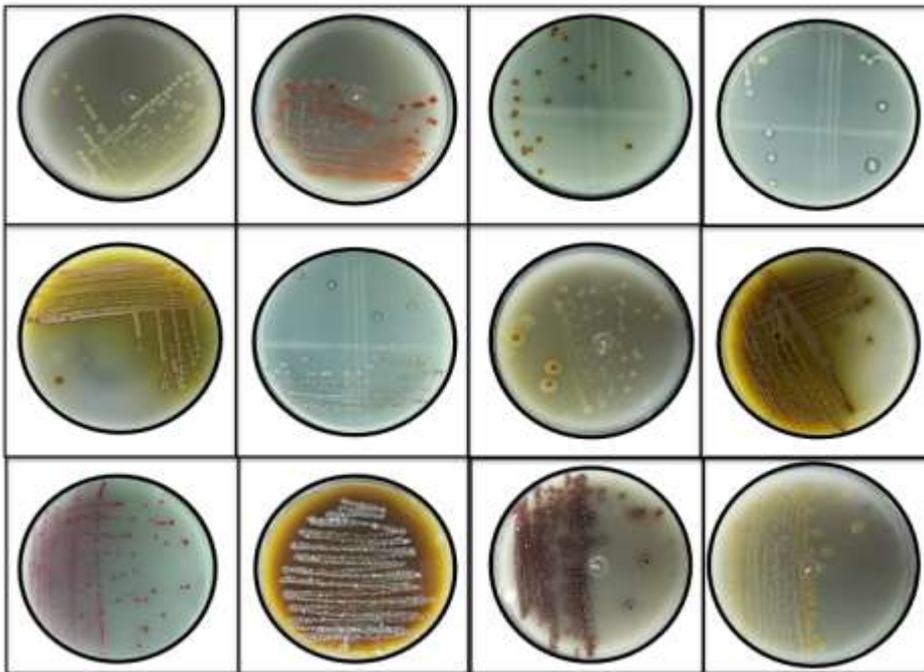


Figura 7. Bactérias solubilizadoras de fosfato isoladas de Planossolos e Luvisolos. Foto da autora.

Tabela 3. Índices de diversidade dos isolados de Planossolos e Luvisolos

	Planossolos	Luvisolos
Nro. total de isolados	96	74
Grupos bacterianos	37	26
Dominância (D)	0,038	0,056
Simpson (1-D)	0,962	0,944
Shannon (H)	3,426	3,057
Riqueza (Margalef)	7,887	5,808
Equitatividade (J)	0,949	0,938

3.3.3 Eficiência de solubilização de fosfato de cálcio em líquido

Todos os isolados dos perfis de Planossolos foram capazes de solubilizar fosfato em meio NBRIP líquido apresentando diferenças significativas ($p < 0,05$) entre

os isolados e o controle sem inoculação. Em geral, a maior taxa de solubilização dos isolados foi no 9º dia após inoculação (Tabelas 4, 5, 6 e 7).

Para as estirpes do perfil 1, o isolado PL1B do horizonte A apresentou maior concentração de P solúvel (228,20 mg.L⁻¹) ao 9º dia, (Tabela 4 e Figura 8). Adicionalmente, foi observada uma diminuição do pH do meio NBRIP onde foram crescidos os isolados em relação ao pH do controle sem inoculação (Tabela 4).

Tabela 4. Potencial de solubilização de fosfato de cálcio em meio líquido NBRIP dos isolados do perfil 1 de Planossolo ao 5º, 7º e 9º dia de incubação e pH do meio ao 9º dia de incubação

Perfil 1 – Planossolo				
Amostra	P (mg.L ⁻¹) 5º dia	P (mg.L ⁻¹) 7º dia	P (mg.L ⁻¹) 9º dia	pH
Controle	16,35 c	9,32 c	12,75 c	6,77 a
PL1A	110,60 a	145,07 a	160,53 a	5,13 a
PL1B	110,18 a	213,72 a	228,20 a	5,23 a
PL1C	84,25 b	115,08 b	116,05 a	5,23 a
PL1E	72,85 b	66,40 b	163,83 a	5,55 a
PL2A	78,52 b	52,48 c	69,16 b	5,63 a
PL2B	77,85 b	42,88 c	129,75 a	4,84 a
PL2C	50,35 b	32,47 c	75,48 b	5,91 a
PL2G	51,52 b	42,88 c	84,23 b	5,06 a
PL2H	61,68 b	46,20 c	53,37 b	5,16 a
PL2L	162,85 a	159,10 a	161,23 a	4,94 a
PL3C	100,85 a	76,70 c	104,83 a	5,34 a
PL3J	84,63 b	177,90 a	187,63 a	5,10 a
PL3K	93,68 a	56,85 c	197,92 a	5,38 a
PL3M	97,85 a	132,27 b	158,43 a	4,78 a
PL3P	135,52 a	150,58 a	112,48 a	4,89 a
PL4C	68,35 b	95,67 b	127,67 a	4,82 a
PL4D	121,35 a	170,80 a	118,18 a	4,86 a
PL4G	52,53 b	118,82 b	135,82 a	4,90 a
PL5B	70,68 b	96,20 b	135,95 a	5,12 a
PL5C	74,85 b	87,82 b	143,03 a	5,54 a
PL5D	68,02 b	61,02 c	78,07 b	5,55 a
PL5F	72,02 b	40,32 c	134,77 a	5,36 a
PL5G	68,52 b	44,10 c	57,27 b	5,71 a

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade

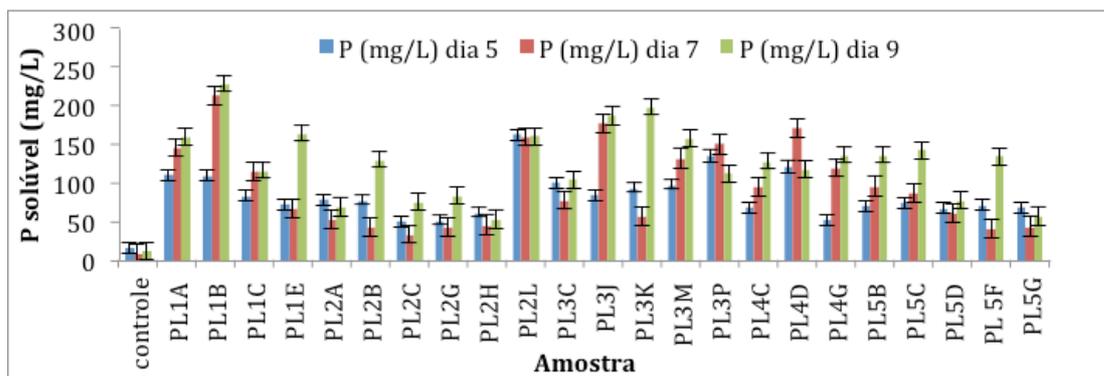


Figura 8. Fósforo solúvel ao 5º, 7º e 9º dia após a inoculação de bactérias isoladas do perfil 1 de Planossolo. Barras verticais representam o desvio padrão das médias n=3

Em relação ao perfil 2, o isolado PL6A do horizonte A mostrou o maior valor de P solúvel ($159,52 \text{ mg.L}^{-1}$) ao 9º dia, (Tabela 5 e Figura 9) e foi observada uma diminuição significativa ($p < 0,05$) entre os valores de pH (Tabela 5).

Tabela 5. Potencial de solubilização de fosfato de cálcio em meio líquido NBRIP dos isolados do perfil 2 de Planossolo ao 5º, 7º e 9º dia de incubação e pH do meio ao 9º dia de incubação

Perfil 2- Planossolo				
Amostra	P (mg.L^{-1}) 5º dia	P (mg.L^{-1}) 7º dia	P (mg.L^{-1}) 9º dia	pH
Controle	16,35 c	9,32 e	12,75 d	6,77 a
PL6A	62,18 b	130,18 a	159,52 a	5,83 b
PL6B	58,52 b	106,02 b	120,68 b	5,61 b
PL6C	21,35 c	73,68 c	72,02 c	5,88 b
PL6E	53,85 b	133,18 a	132,02 a	5,06 c
PL7A	56,02 b	49,02 d	77,68 c	5,19 c
PL7B	40,18 b	48,35 d	57,52 c	5,19 c
PL7D	77,18 a	45,02 d	67,68 c	4,83 c
PL7F	55,68 b	50,85 d	45,02 c	5,29 c
PL8A	54,68 b	119,18 a	114,85 b	5,70 b
PL8B	46,02 b	87,52 b	97,18 b	5,64 b
PL8C	20,68 c	60,02 c	54,52 c	5,22 c
PL8D	15,18 c	74,18 c	61,68 c	4,76 c
PL9A	97,45 a	63,85 c	58,85 c	5,04 c
PL9B	81,9 a	70,18 c	56,85 c	5,19 c
PL9C	92,98 a	70,18 c	61,52 c	4,50 c
PL9D	15,18 c	45,35 d	50,35 c	5,54 b

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade

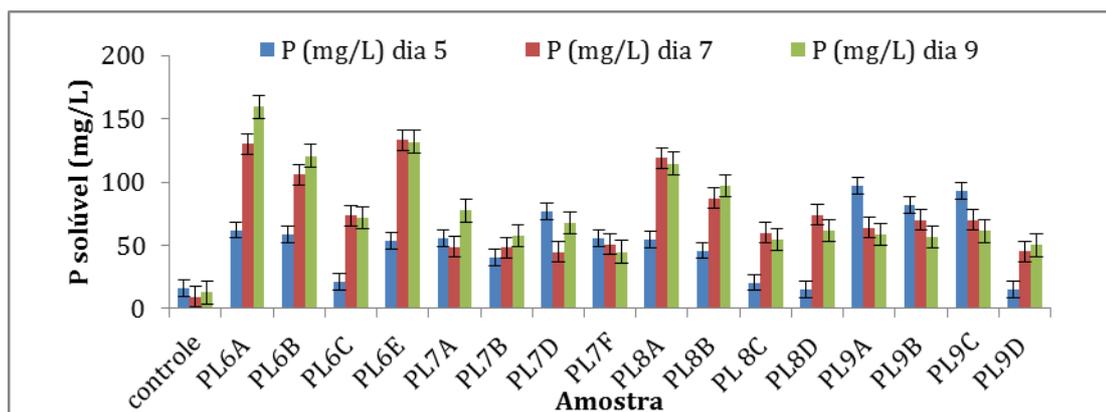


Figura 9. Fósforo solúvel ao 5º, 7º e 9º dia após a inoculação de bactérias isoladas do perfil 2 de Planossolo. Barras verticais representam o desvio padrão das médias $n=3$

Para o perfil 3 o isolado PL13D do horizonte E2 apresentou a maior concentração de P solúvel ($156,90 \text{ mg.L}^{-1}$) ao 9º dia (Tabela 6 e Figura 10). Foi observada uma diminuição significativa ($p < 0,05$) entre os valores de pH (Tabela 6).

Tabela 6. Potencial de solubilização de fosfato de cálcio em meio líquido NBRIP dos isolados do perfil 3 de Planossolo ao 5º, 7º e 9º dia de incubação e pH do meio ao 9º dia de incubação

Perfil 3 –Planossolo				
Amostra	P (mg.L ⁻¹) 5º dia	P (mg.L ⁻¹) 7º dia	P (mg.L ⁻¹) 9º dia	pH
Controle	16,35 d	9,32 b	12,75 c	6,77 a
PL10A	60,53 c	55,23 b	71,02 b	5,51 b
PL10C	104,94 b	93,57 a	105,82 a	5,68 b
PL10D	77,69 b	78,96 a	82,49 a	5,53 b
PL10E	83,67 b	72,49 a	84,16 a	5,66 b
PL11A	82,10 b	106,31 a	136,41 a	4,60 c
PL11B	94,16 b	87,00 a	109,65 a	5,13 c
PL11C	75,14 b	74,06 a	87,10 a	5,45 b
PL11D	105,43 b	99,06 a	101,80 a	5,44 b
PL12B	101,70 b	84,35 a	123,67 a	4,72 c
PL12C	95,04 b	86,12 a	107,10 a	5,16 c
PL12D	63,96 c	26,45 b	26,22 c	5,48 b
PL12E	102,11 b	109,06 a	109,45 a	5,47 b
PL13A	90,43 b	104,55 a	76,31 a	5,40 b
PL13B	95,53 b	137,20 a	154,35 a	4,91 c
PL13C	87,78 b	81,61 a	132,78 a	4,90 c
PL13D	60,53 c	70,23 a	156,90 a	4,92 c
PL14A	102,00 b	109,35 a	128,37 a	4,66 c
PL14B	96,61 b	78,77 a	64,84 b	5,15 c
PL14C	82,00 b	32,04 b	38,18 c	5,16 c
PL14D	102,20 b	100,53 a	110,92 a	4,92 c
PL15A	135,82 a	54,68 b	68,37 b	5,08 c
PL15B	140,04 a	144,55 a	155,23 a	4,76 c
PL15C	78,86 b	65,63 a	85,04 a	5,55 b
PL15F	98,67 b	34,21 b	83,27 a	5,39 b
PL15G	12,78 d	36,42 b	15,04 c	5,23 b
PL16B	50,92 c	87,08 a	56,22 b	5,35 b
PL16C	46,61 c	18,33 b	29,25 c	5,33 b
PL16D	74,74 b	21,34 b	64,84 b	4,90 a

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade

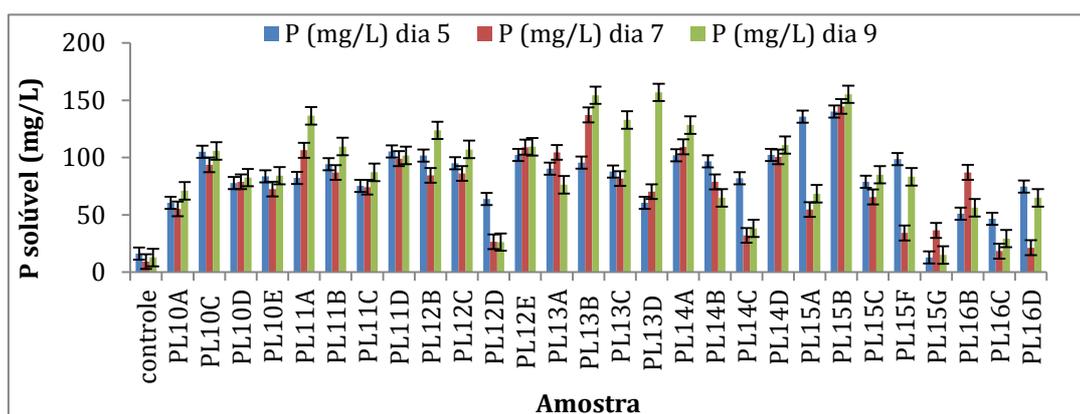


Figura 10. Fósforo solúvel ao 5º, 7º e 9º dia após a inoculação de bactérias isoladas do perfil 3 de Planossolo. Barras verticais representam o desvio padrão das médias n=3

Em relação aos isolados do perfil 4 de Planossolo, a maioria das estirpes alcançou uma maior taxa de solubilização de fosfato ao 5º dia. No entanto, o isolado PL18E do horizonte Ap2, alcançou o valor máximo de P solúvel ($422,68 \text{ mg.L}^{-1}$) ao 9º dia (Tabela 7 e Figura 11). O pH de todos os isolados decresceu significativamente quanto ao controle (Tabela 7).

Tabela 7. Potencial de solubilização de fosfato de cálcio em meio líquido NBRIP dos isolados do perfil 4 de Planossolo ao 5º, 7º e 9º dia de incubação e pH do meio ao 9º dia de incubação

Perfil 4-Planossolo				
Amostra	P (mg.L⁻¹) 5º dia	P (mg.L⁻¹) 7º dia	P (mg.L⁻¹) 9º dia	pH
controle	16,35 f	9,32 d	12,75 d	6,77 a
PL17B	73,02 d	37,73 d	126,02 b	4,69 d
PL17C	122,35 c	111,87 b	81,68 c	5,40 b
PL17D	122,52 c	85,67 c	64,52 c	5,50 b
PL17E	165,35 b	40,12 c	97,18 b	5,02 c
PL17F	150,02 b	133,83 b	108,85 b	5,12 c
PL18A	180,35 b	169,32 a	90,35 b	5,50 b
PL18B	76,18 d	82,68 c	37,02 d	5,02 c
PL18C	145,02 b	107,63 b	97,52 b	5,34 b
PL18D	82,44 d	67,84 c	48,58 c	4,90 c
PL18E	330,02 a	248,26 a	422,68 a	3,96 e
PL18F	208,35 b	101,53 b	136,85 b	5,10 c
PL19A	126,18 c	24,51 d	73,02 c	5,44 b
PL19B	33,85 e	14,40 d	60,02 c	4,85 c
PL19C	105,02 c	77,59 c	50,35 c	5,35 b
PL19D	99,52 c	57,07 c	63,52 c	5,40 b
PL19E	37,35 e	45,96 c	70,68 c	4,92 c
PL19F	414,85 a	239,49 a	314,18 a	3,89 e
PL20A	104,33 c	68,09 c	68,07 c	4,96 c
PL20B	73,20 d	61,70 c	35,38 d	4,98 c
PL20C	68,74 d	50,17 c	43,69 d	5,03 c
PL21A	79,51 d	67,28 c	94,31 b	5,01 c
PL21B	66,41 d	50,96 c	64,94 c	5,20 b
PL21C	86,42 d	73,84 c	69,51 c	4,96 c
PL22A	74,88 d	52,06 c	42,52 d	5,27 b
PL22B	84,95 d	83,18 c	72,82 c	4,42 d
PL23A	99,73 d	111,99 b	92,13 b	4,58 d
PL23B	59,78 d	52,37 c	32,61 d	5,27 b
PL23C	121,43 c	108,81 b	107,14 b	4,49 d

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade

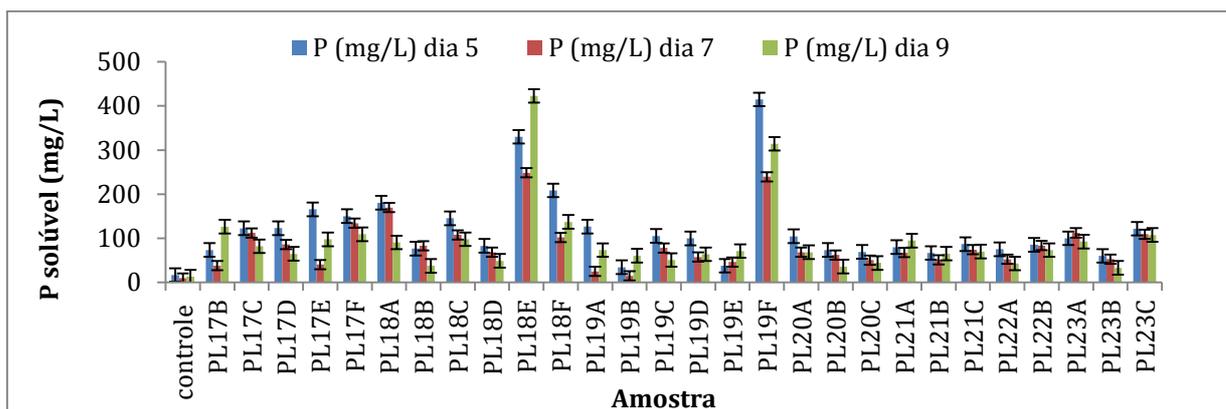


Figura 11. Valores de fósforo solúvel (P) ao 5º, 7º e 9º dia após a inoculação de bactérias isoladas do perfil 4 de Planossolo. Barras verticais representam o desvio padrão das médias n=3

De acordo com os resultados de solubilização de P todos os isolados de Luvisolos foram capazes de solubilizar P em meio NBRIP líquido. Foram observadas diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os isolados e o controle sem inoculação (Tabelas 8, 9, 10, 11 e 12). A maioria dos estirpes apresentaram maior taxa de solubilização ao dia 7º e 9º dia de incubação.

Para o perfil 1 de Luvisolo a maior concentração de P solúvel foi 255,84 mg.L⁻¹ ao 9º dia para o isolado LU2F do horizonte Bt, (Tabela 8 e Figura 12).

Tabela 8. Potencial de solubilização de fosfato de cálcio em meio líquido NBRIP dos isolados do perfil 1 de Luvisolos ao 5º, 7º e 9º dia de incubação e pH do meio ao 9º dia de incubação

Perfil 1-Luvissolo				
Amostra	P (mg.L ⁻¹) 5º dia	P (mg.L ⁻¹) 7º dia	P (mg.L ⁻¹) 9º dia	pH
controle	13,51 b	12,31 c	13,48 d	6,89 a
LU1A	82,11 a	104,82 c	126,13 b	4,02 c
LU1B	93,31 a	128,43 b	103,28 b	3,96 c
LU1C	90,54 a	129,04 b	111,47 b	3,93 c
LU1D	83,14 a	119,71 c	60,23 c	4,83 b
LU1E	88,08 a	84,00 c	55,35 c	5,15 b
LU1G	114,0 a	114,28 c	50,05 c	4,75 b
LU2A	116,64 a	142,97 b	51,43 c	4,71 b
LU2B	44,37 b	51,66 c	26,36 d	5,02 b
LU2C	49,75 b	78,42 a	67,50 c	4,74 b
LU2D	101,91 a	135,86 b	63,89 c	4,81 b
LU2E	104,63 a	68,07 a	140,26 b	4,56 c
LU2F	120,77 a	188,49 a	255,84 a	3,85 c
LU2G	86,90 a	188,34 a	170,78 a	3,86 c
LU3A	91,89 a	95,25 c	34,68 d	5,10 b
LU3B	146,31 a	171,83 a	150,76 b	4,41 c
LU3C	104,71 a	152,97 b	175,88 a	3,92 c
LU3D	113,50 a	202,71 a	209,59 a	3,66 c
LU3E	92,34 a	111,66 c	106,68 b	3,98 c
LU3F	105,32 a	85,86 c	132,15 b	4,94 b

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade

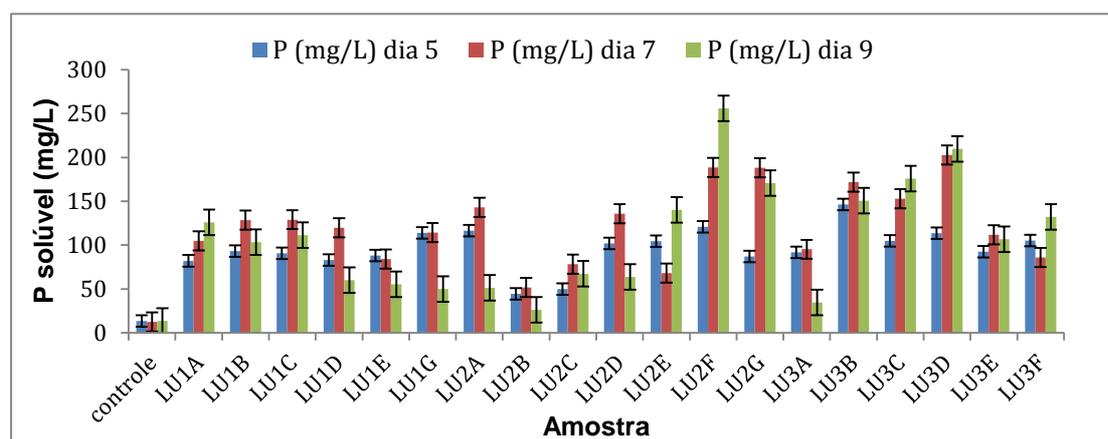


Figura 12. Valores de fósforo solúvel (P) ao 5º, 7º e 9º dia após a inoculação de bactérias isoladas do perfil 1 de Luvisolo. Barras verticais representam o desvio padrão das médias n=3.

Para o perfil 2 de Luvissole o valor máximo de P solúvel foi de 219,44 mg.L⁻¹ ao 7º dia para o isolado LU5D do horizonte A (Tabela 9 e Figura 13).

Tabela 9. Potencial de solubilização de fosfato de cálcio em meio líquido NBRIP dos isolados do perfil 2 de Luvissole ao 5º, 7º e 9º dia de incubação e pH do meio ao 9º dia de incubação

Perfil 2-Luvissole				
Amostra	P (mg.L ⁻¹) 5º dia	P (mg.L ⁻¹) 7º dia	P (mg.L ⁻¹) 9º dia	Ph
controle	13,51 b	12,31 b	13,48 b	6,77 a
LU5A	76,45 b	134,83 a	104,68 a	5,11 a
LU5B	74,5 b	119,46 b	120,04 a	4,79 a
LU5C	131,12 a	111,70 b	206,99 a	4,13 b
LU5D	179,15 a	219,44 a	202,78 a	4,47 b
LU5E	171,94 a	177,67 a	159,45 a	5,00 a
LU6A	59,56 b	88,11 b	74,69 b	5,31 a
LU6B	91,47 b	100,12 b	55,62 b	5,13 a
LU6C	85,68 b	56,16 b	94,23 b	4,52 b
LU6D	110,45 a	93,75 b	75,97 b	4,59 b
LU7A	122,84 a	110,86 b	77,53 b	5,58 a
LU7B	70,35 b	86,03 b	66,18 b	3,72 b
LU7D	79,09 b	146,34 b	95,41 b	4,08 b

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade

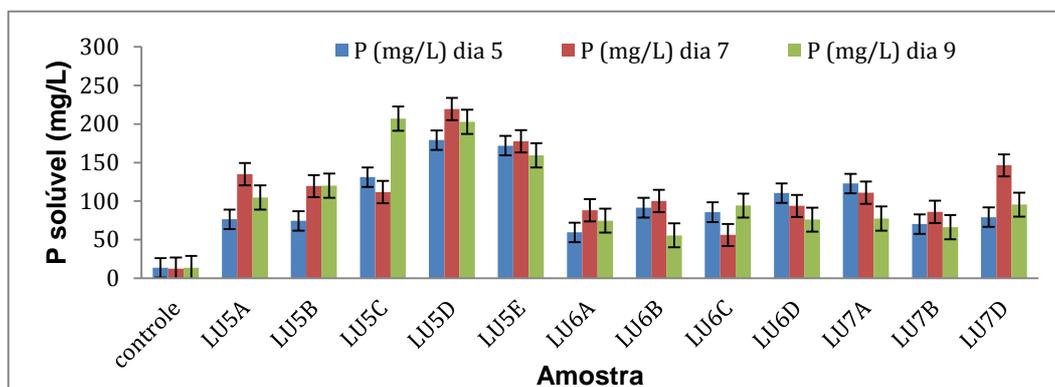


Figura 13. Valores de fósforo solúvel (P) ao 5º, 7º e 9º dia após a inoculação de bactérias isoladas do perfil 2 de Luvissole. Barras verticais representam o desvio padrão das médias n=3

Em relação ao perfil 3 de Luvissole o valor máximo de P solúvel foi de 264,21 mg.L⁻¹ para LU11F do horizonte BC, ao 9º dia (Tabela 10 e Figura 14).

Tabela 10. Potencial de solubilização de fosfato de cálcio em meio líquido NBRIP dos isolados do perfil 3 de Luvissole ao 5º, 7º e 9º dia de incubação e pH do meio ao 9º dia de incubação

Perfil 3- Luvissole				
Amostra	P (mg.L ⁻¹) 5º dia	P (mg.L ⁻¹) 7º dia	P (mg.L ⁻¹) 9º dia	pH
controle	13,51 c	12,31 d	13,48 d	6,77 a
LU8A	76,10 b	117,57 c	124,24 c	4,07 c
LU8B	95,41 b	63,96 c	145,42 b	3,94 c
LU8C	158,33 a	157,67 b	127,06 c	3,75 c
LU8D	78,12 b	134,52 b	99,21 c	4,13 c
LU8E	63,70 b	105,46 c	164,62 b	3,84 c
LU9A	163,79 a	249,09 a	235,61 a	3,92 c
LU9B	9,77 c	26,45 d	52,71 d	5,62 c
LU9C	76,34 b	116,06 c	125,59 c	4,23 b
LU9D	93,32 b	136,90 b	155,23 b	4,30 c
LU9E	77,90 b	156,90 b	207,24 a	3,80 c
LU9F	31,10 c	94,44 c	133,59 c	3,79 c
LU10A	80,10 b	89,81 c	75,05 c	5,44 b
LU10B	135,77 a	226,11 a	213,73 a	4,37 c
LU10C	67,49 b	93,71 c	91,42 c	4,36 c
LU10D	88,80 b	245,61 a	80,69 c	3,68 c
LU10E	174,27 a	245,27 a	239,91 a	3,49 c
LU11A	114,25 a	214,30 a	235,26 a	3,17 c
LU11B	147,22 a	185,07 b	114,86 c	3,86 c
LU11C	71,85 b	53,79 d	119,5 c	3,72 c
LU11D	102,59 b	160,31 b	81,14 c	4,54 c
LU11E	97,99 b	163,47 b	92,86 c	3,76 c
LU11F	141,42 a	247,31 a	264,21 a	3,80 c
LU12E	74,11 b	84,98 c	79,57 c	3,74 c

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.

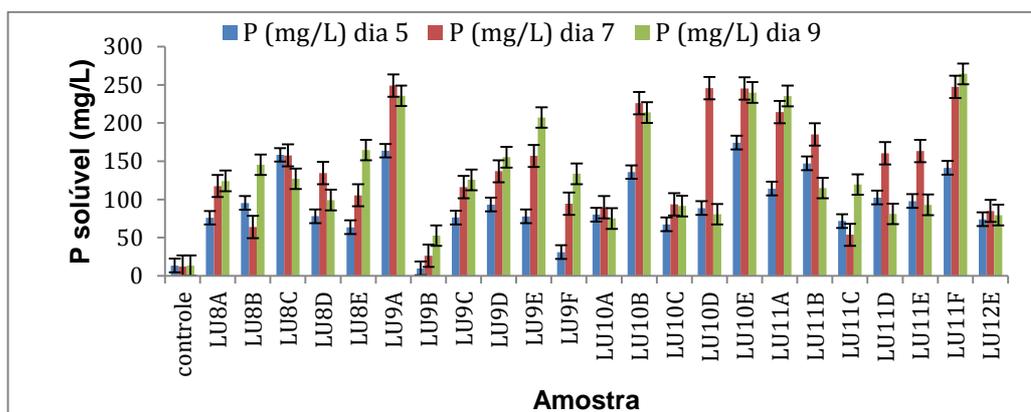


Figura 14. Valores de fósforo solúvel (P) ao 5º, 7º e 9º dia após a inoculação de bactérias isoladas do perfil 3 de Luvissole. Barras verticais representam o desvio padrão das médias n=3

Finalmente, para o perfil 4 de Luvissole o isolado LU17B do horizonte Cr apresentou o valor máximo de P solúvel (204,75 mg.L⁻¹) ao 7º dia, (Tabela 11 e Figura 15).

Todos os isolados apresentaram uma diminuição do pH do meio com diferenças significativas ($p < 0,05$) em relação ao pH do controle sem inocular (Tabelas 8, 9, 10 e 11).

Tabela 11. Potencial de solubilização de fosfato de cálcio em meio líquido NBRIP dos isolados do perfil 4 de Luvissole ao 5º, 7º e 9º dia de incubação e pH do meio ao 9º dia de incubação.

Perfil 4- Luvissole				
Amostra	P (mg.L ⁻¹) 5º dia	P (mg.L ⁻¹) 7º dia	P (mg.L ⁻¹) 9º dia	pH
controle	13,51 b	12,31 b	13,48 b	6,77 a
LU13A	13,50 b	29,01 b	39,19 b	4,86 b
LU13B	189,95 a	188,02 a	127,32 a	4,15 c
LU13C	108,69 a	158,42 a	160,68 a	4,00 c
LU13E	46,47 b	122,37 a	92,16 a	3,60 c
LU14A	106,82 a	157,60 a	158,32 a	3,93 c
LU14C	85,46 a	63,56 b	52,82 b	3,64 c
LU14E	50,71 b	105,90 a	92,28 a	4,78 b
LU15B	11,75 b	39,59 b	39,39 b	4,79 b
LU16A	29,16 b	83,32 a	73,64 b	3,86 c
LU16B	42,31 b	136,25 a	115,21 a	3,73 c
LU16C	11,48 b	49,24 b	54,53 b	4,76 b
LU16E	36,54 b	53,37 b	76,93 b	3,82 c
LU16G	70,60 a	101,38 a	82,78 a	3,76 c
LU17A	95,07 a	113,27 a	51,07 b	5,04 b
LU17B	76,25 a	204,75 a	152,95 a	3,65 c
LU17C	102,02 a	147,20 a	60,22 b	4,30 c
LU17D	110,62 a	138,15 a	142,61 a	3,96 c
LU17E	63,47 b	116,79 a	93,41 a	4,66 b

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.

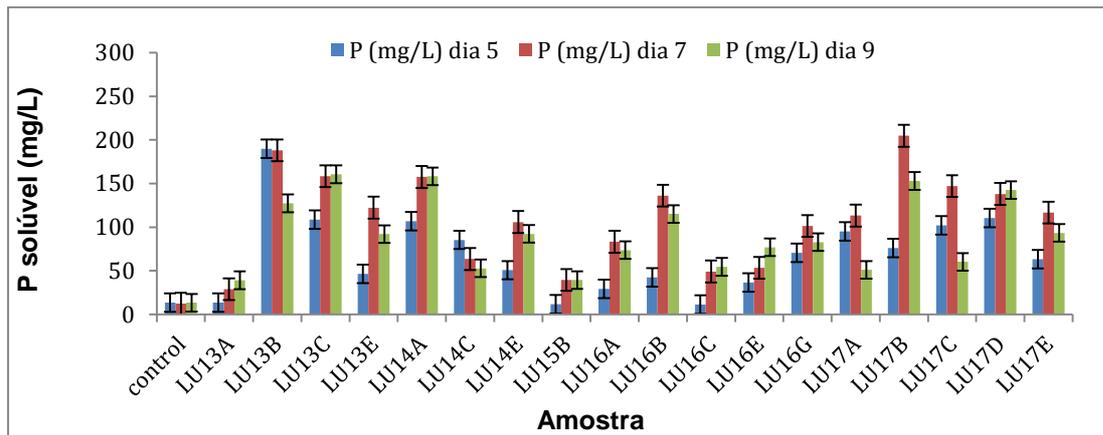


Figura 15. Valores de fósforo solúvel (P) ao 5º, 7º e 9º dia após a inoculação de bactérias isoladas do perfil 4 de Luvissole. Barras verticais representam o desvio padrão das médias n=3

3.3.4 Solubilização de Zn, produção AIA, formação de EPS

Com relação à solubilização de Zn, três isolados foram capazes de solubilizar óxido de Zn apresentando um ISZn de 2,44 para PL3J (horizonte Bt do perfil 1 de Planossolo); 2,63 para PL18E (horizonte Ap2 do perfil 4 de Planossolo) e 3,04 para LU3D (horizonte C do perfil 1 de Luvissole). Na produção de AIA, 6 isolados exibiram uma alta produção de AIA: PL1A (horizonte A do perfil 1 de Planossolo), PL1B (horizonte A do perfil 1 de Planossolo), PL2L (horizonte AE do perfil 1 de Planossolo), PL6A (horizonte A do perfil 2 de Planossolo), LU10E (horizonte Bt do perfil 3 de Luvissole) e LU13C (horizonte A do perfil 4 de Luvissole) e 3 estirpes uma produção média de AIA: LU10B (horizonte Bt do perfil 3 de Luvissole), LU11A e LU11F (isolados do horizonte BC do perfil 3 de Luvissole), significativamente diferentes ($p < 0,05$). Quanto à formação de EPS, 5 isolados apresentaram alta produção de EPS: PL1A, PL3J, PL6A, PL18E, LU10E; LU3D mostrou produção média (horizonte C do perfil 1 de Luvissole) e 3 isolados baixa produção: PL1E, PL2L, LU13C (Figura 16 e Tabela 12).

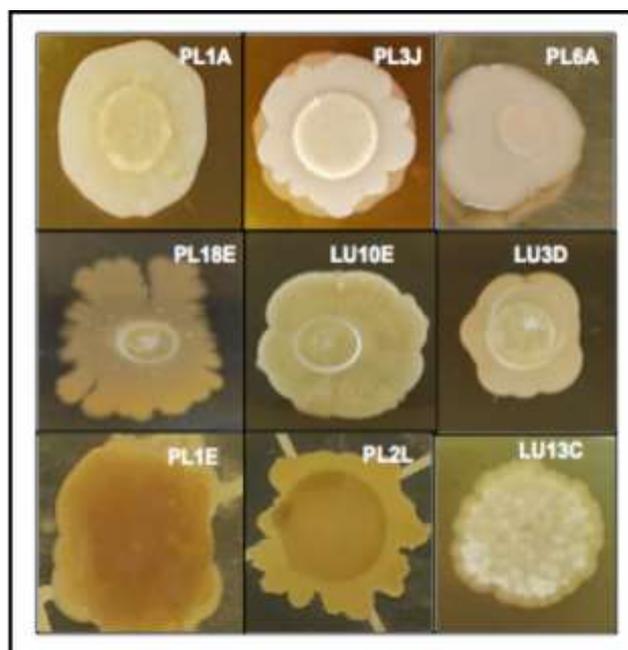


Figura 16. Exopolissacarídeos produzidos pelas bactérias solubilizadoras de fosfato PL1A, PL3J, PL6A, PL18E, LU10E, LU3D, PL1E, PL2L, LU13C, isoladas de Planossolos e Luvisolos

Tabela 12. Índice de solubilização de zinco (ISZn) e produção de AIA e EPS dos isolados que apresentaram uma solubilização de $P \geq 160 \text{ mg.L}^{-1}$

Amostra	P (mg.L^{-1})			ISZn	AIA ($\mu\text{g/ml}$)	Produção de AIA	EPS (mm)	Produção de EPS
	5º dia	7º dia	9º dia					
controle	16,35 d	9,32 c	12,75 c	x	x	x	x	x
PL1A	110,60 c	145,07 b	160,53 b	x	17,93 b	alta	18,50 c	alta
PL1B	110,18 c	213,72 a	228,20 b	x	10,84 d	alta	x	x
PL1E	72,85 c	66,40 c	163,83 b	x	x	x	5,77 h	baixa
PL2L	162,85 b	159,10 b	161,23 b	x	11,33 d	alta	9,67 f	baixa
PL3K	93,68 c	56,85 c	197,92 b	x	x	x	x	x
PL3J	84,63 c	177,90 b	187,63 b	2,44 a	x	x	14,87 d	alta
PL3M	97,85 c	132,27 b	169,60 b	x	x	x	x	x
PL6A	62,18 c	130,18 b	160,00 b	x	34,71 a	alta	16,30 c	alta
PL18E	330,02 a	248,26 a	422,68 a	2,63 a	x	x	39,67 a	alta
LU2F	120,77 c	188,49 b	255,84 b	x	x	x	x	x
LU3D	113,50 c	202,71 a	209,59 b	3,03 a	x	x	12,77 e	média
LU9A	163,79 b	249,09 a	235,61 b	x	x	x	x	x
LU9E	77,90 c	156,90 b	207,24 b	x	x	x	x	x
LU10B	135,77 b	226,11 a	213,73 b	x	5,03 f	média	x	x
LU10E	174,27 b	245,27 a	239,91 b	x	14,48 c	alta	24,00 b	alta
LU11A	114,25 c	214,30 a	235,26 b	x	5,39 f	média	x	x
LU11F	141,42 b	247,31 a	264,21 b	x	9,57 e	média	x	x
LU13C	108,68 c	158,42 b	160,68 b	x	37,47 a	alta	6,66 g	baixa

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.

3.3.5 Ensaio de antagonismo (controle biológico)

No ensaio de antagonismo foi evidenciado que as BSF PL1A, PL1B e PL2L não inibiram o crescimento do fungo. Para as bactérias PL3J, PL6A, PL18E, LU10E e LU13C foi observado uma leve inibição, estatisticamente diferente ($p < 0,05$), do crescimento do *Fusarium sp.*, a partir do quinto dia em relação ao controle (Tabela 13). No entanto, a bactéria PL3J foi a única que impediu o crescimento micelar por cima da colônia bacteriana, observando-se um antagonismo diferente das outras bactérias (Figura 17).

Tabela 13. Crescimento micelar do *Fusarium sp.* inoculado com as bactérias PL1A, PL1B, PL2L, PL3J, PL6A, PL18E, LU10E e LU13C, isoladas de Planossolos e Luvisolos durante 7 dias de crescimento

Tempo	dia 1	dia 2	dia 3	dia 4	dia 5	dia 6	dia 7
Tratamento	Diâmetro (cm)						
Controle	1,03 a	2,42 a	3,03 a	3,90 a	5,60 a	6,67 a	7,80 a
<i>Fusarium sp.</i> / PL1A	1,00 a	2,47 a	3,28 a	4,08 a	5,10 b	5,97 a	7,50 a
<i>Fusarium sp.</i> / PL1B	0,93 a	2,40 a	3,30 a	4,32 a	5,25 a	6,13 a	7,77 a
<i>Fusarium sp.</i> / PL2L	1,05 a	2,47 a	3,38 a	4,22 a	5,50 a	6,37 a	7,45 a
<i>Fusarium sp.</i> / PL3J	9,85 a	2,35 a	3,3 a	4,05 a	4,73 b	5,03 b	6,10 b
<i>Fusarium sp.</i> / PL6A	0,83 a	2,23 a	3,07 a	3,97 a	4,80 b	5,40 b	6,53 b
<i>Fusarium sp.</i> / PL18E	1,03 a	2,30 a	3,05 a	3,90 a	4,80 b	5,73 b	6,73 b
<i>Fusarium sp.</i> / LU10E	0,97 a	2,40 a	3,13 a	3,98 a	4,67 b	5,48 b	6,60 b
<i>Fusarium sp.</i> / LU13C	0,82 a	2,30 a	3,03 a	4,08 a	4,93 b	5,63 b	6,60 b

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade

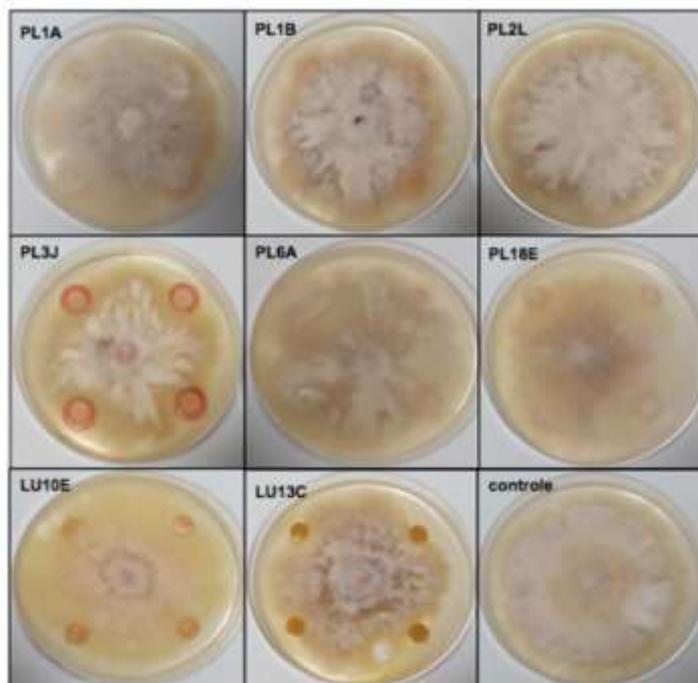


Figura 17. Ensaio de antagonismo: confronto de *Fusarium sp.* (centro da placa) e as bactérias PL1A, PL1B, PL2L, PL3J, PL6A, PL18E, LU10E e LU13C, isoladas de Planossolos e Luvisolos inoculadas em 4 pontos equidistantes

3.4 Discussão

3.4.1 Abundância de bactérias solubilizadoras de fósforo

Os resultados deste trabalho forneceram conhecimentos da abundância de BSF ao longo dos horizontes pedogenéticos de 4 perfis de Planossolos e 4 perfis de Luvisolos,. Estes resultados podem ser atribuídos à fertilidade natural dos solos estudados, com elevados valores de saturação por bases, e de minerais primários facilmente intemperizáveis, conferindo uma grande capacidade de fornecer nutrientes às plantas (COELHO et al., 2010). Marschner e colaboradores (2004) afirmaram que as características físicas e químicas dos solos como textura, conteúdo de nutrientes, matéria orgânica e pH, bem como, fatores ambientais como o clima e vegetação condicionam a diversidade e abundância dos micro-organismos edáficos. No trabalho, foi encontrado uma alta diversidade morfofisiológica dos isolados de Planossolos e Luvisolos, com maior predominância de actinobactérias (>70%). As actinobactérias são bactérias Gram-positivo que apresentam uma parede celular rígida de

peptidoglicano que confere uma maior capacidade de sobreviver a condições ambientais extremas como altas temperaturas e longos períodos de estiagem característico do semiárido brasileiro (ALVAREZ et al., 2017; NAFIS et al., 2019).

Para os 4 perfis de Planossolos foi observado um menor número de bactérias na maior profundidade do solo. Vários estudos têm relatado que o decréscimo de microorganismos está relacionada com os atributos físicos e químicos do solo como menor conteúdo de matéria orgânica, nutrientes e aeração nos horizontes mais profundos (BHATTARAI et al., 2015; WELDMICHAEL et al., 2020). Os Planossolos, apresentam um horizonte superficial de textura mais leve, que contrasta abruptamente com o horizonte B plânico, adensado, de acentuada concentração de argila, permeabilidade lenta ou muito lenta, gerando um horizonte pã que forma um lençol d'água sobreposto, de existência periódica (EMBRAPA, 2018). Estas características podem ter influenciado na concentração de bactérias ao longo dos horizontes.

Com relação aos Luvisolos, foi observado que a maioria dos perfis apresentaram pouca variação na concentração de bactérias ao longo dos horizontes pedogenéticos. Para o perfil 1 (desertificado) e 2 (em desertificação) de Luvisolo foi evidenciado uma diminuição da abundância de bactérias nos horizontes superficiais com relação aos horizontes dos perfis 3 e 4 com vegetação preservada. Este resultado pode indicar uma alteração na estrutura das comunidades microbianas como consequência de práticas agrícolas não sustentáveis como foi reportado por LI et al. 2014. Provavelmente, a vegetação das áreas estudadas e atributos dos Luvisolos como um horizonte B textural com argila de alta atividade que confere uma alta fertilidade natural (eutróficos), este influenciando na abundância de bactérias (EMBRAPA, 2018).

O trabalho contribui no acervo científico da região Nordeste do Brasil quanto ao conhecimento da abundância de BSF ao longo dos perfis de Luvisolos e Planossolos visto que a maioria dos trabalhos estão dirigidos ao isolamento de bactérias endofíticas ou do solo rizosférico a uma profundidade de 0-20 cm (FERNANDES-JÚNIOR et al. 2015; OLIVEIRA et al., 2016; RIBEIRO et al., 2018; DA SILVA et al., 2018).

3.4.2 Capacidade de solubilização de fosfato de cálcio

As BSF podem ser isoladas em meios de cultura específicos como o NBRIP (NAUITIYAL, 1999). A formação de um halo translúcido ao redor da colônia bacteriana

é indicativo de solubilização de fosfato. No entanto, este critério não deve ser considerado o único para o isolamento já que existem estirpes que não formam halo no meio sólido, mas tem a capacidade de solubilizar no meio líquido (NAUITIYAL, 1999, SHARMA et al., 2013). No isolamento de BSF no meio sólido foi demonstrado que as bactérias não formadoras de halo foram capazes de solubilizar fosfato de cálcio em meio líquido.. A partir destes resultados, pode-se afirmar que a formação de halo não é um bom critério para a seleção de BSF, sendo necessário determinar a solubilização de fósforo no meio líquido de todas as bactérias (com e sem halo) para garantir melhores resultados (NAUITIYAL, 1999; ANZUAY et al., 2013; LIU et al., 2015; ABREU et al., 2017).

No ensaio de solubilização de fosfato em meio líquido foi evidenciado diferenças na solubilização de fosfato ao quinto, sétimo e nono dia, provavelmente devido a diferenças na cinética bacteriana e a capacidade de solubilização de fosfato de cálcio. Uma possível explicação é a saturação do meio de cultura com diferentes espécies químicas provenientes do metabolismo bacteriano e do próprio mineral reagido, com formação de espécies intermediárias de fosfato conhecidos como cristais de brushita (ANZUAY et al., 2013; DELVASTO et al., 2006).

Os micro-organismos podem solubilizar o fósforo mediante a liberação de ácidos orgânicos como o glucônico, 2-cetoglucônico, cítrico, málico, oxálico, succínico, láctico, tartárico e glicólico (XU et al., 2019 BRUCKER et al., 2020).. Neste trabalho foi observada uma diminuição do pH do meio de cultura NBRIP inoculado. Este resultado sugere a acidificação do meio devido à produção de ácidos orgânicos pelas bactérias para a solubilização de fósforo sendo evidenciado em vários estudos (ABREU et al., 2017; JOE et al., 2018; BRUCKER et al., 2020).

3.4.3 Solubilização de Zn, produção AIA, formação de EPS e controle biológico

O presente trabalho forneceu conhecimento de três BSF eficientes na solubilização de fósforo capazes de solubilizar óxido de zinco (PL3J, PL18E e LU3D). Embora a maioria das BSF não apresentaram solubilização de ZnO, as mesmas, podem ter capacidade de solubilizar outras formas de Zn como carbonato ou sulfato de zinco, sendo necessários futuros ensaios (MUMTAZ et al., 2019; BHATT; MAHESHWARI, 2020). O zinco (Zn) é um micronutriente necessário para o

crescimento das plantas. As plantas podem absorver o Zn como cátion bivalente, no entanto, uma pequena porção do Zn total está presente na solução do solo na forma solúvel. Nas plantas, está envolvido no metabolismo de carboidratos e nitrogênio, síntese de auxinas e proteínas, manutenção da membrana celular e de enzimas (GOTIA-MISHRA et al., 2017; KAMRAN et al., 2017). O uso de bactérias solubilizadoras de Zn (BSZn) é uma alternativa potencial na agricultura para transformar o Zn inorgânico a formas disponíveis. As bactérias solubilizadoras de zinco (BSZn) podem solubilizar o Zn mediante a acidificação do meio liberando ácidos orgânicos (KRITHIKA; BALACHANDAR, 2016; VIDYASHREE et al., 2018). Algumas BPCPs dos gêneros *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Rhizobium*, *Enterobacter*, entre outras, foram reportadas como possíveis candidatas para a solubilização de óxido de zinco (ZnO), carbonato de zinco (ZnCO₃) e fosfato de zinco (Zn₃(PO₄)₂) (KAMRAN et al., 2017; HUSSAIN et al., 2020).

Quanto aos dados obtidos no ensaio de AIA foi demonstrado que nove dos isolados avaliados (PL1A, PL1B, PL2L, PL6A, LU10B, LU10E, LU11A, LU11F, LU13C) tinham capacidade de produção. Algumas pesquisas relatam que existem fatores que podem afetar a síntese de AIA, como a concentração de triptofano, pH, temperatura, fontes de carbono e nitrogênio (MOLINA et al., 2018; LIU et al., 2019). No caso das actinobactérias, sua capacidade de sintetizar produtos bioativos pode variar segundo os nutrientes e condições do cultivo (MYO et al., 2019). Uma característica comum das BPCPs é a capacidade de sintetizar AIA. Este hormônio estimula o desenvolvimento das raízes primárias e laterais melhorando a absorção de água e nutrientes das plantas (MENDOZA-HERNÁNDEZ et al., 2018; GILBERT et al., 2018). No entanto, altas concentrações de AIA pode inibir o crescimento da raiz. O AIA é uma molécula de sinalização que atua na interação planta- micro-organismo, mantendo a relação simbiótica que tem evoluído entre as plantas hospedeiras e as BPCPs (DUCA et al., 2014). Em bactérias, o triptofano é o principal precursor para a biossíntese de AIA, mas algumas cepas como *Azospirillum brasilense* podem apresentar uma via independente do triptofano (PRINSEN et al., 1996; SPAEPEN et al., 2007).

Outro mecanismo avaliado foi a produção de exopolissacarídeos (EPS). No trabalho, foi possível identificar vários estirpes produtores de EPS (PL1A, PL1E, PL2L, PL3J, PL6A, PL18E, LU3D, LU10E, LU13C). Os resultados concordam com outros estudos da região semiárida do nordeste brasileiro, onde isolaram de solos varias

bactérias capazes de produzir de EPS (ARAÚJO et al., 2020). Os EPS que participam como moléculas de sinalização no processo de interação com plantas, na proteção de fatores bióticos ou abióticos mediante a formação de biofilme e na manutenção da estabilidade dos agregados do solo. O uso de bactérias produtoras de EPS tem importância na formulação de biofertilizantes, assegurando a sobrevivência e manutenção da comunidade microbiana no hábitat (GAURI et al., 2012; FERNANDES-JÚNIOR et al., 2010; ARFARITA et al., 2016; NASEEM et al., 2018). Chang e colaboradores (2007), evidenciaram que os EPS liberados por *Pseudomonas putida* são essenciais para manter a hidratação celular e a formação de biofilme sob condições de seca.

Outra habilidade identificada em algumas BPCPs, como *Bacillus*, *Pseudomonas* e *Streptomyces*, é a capacidade de atuar como agentes de controle biológico de fungos patogênicos. Vários fungos como *Fusarium*, *Rhizoctonia*, *Sclerotonia*, *Phytophthora* e *Aspergillus* apresentam propriedades fitopatogênicas e toxigênicas que afetam diversas culturas (FAHEEM et al., 2015; OLDENBURG et al., 2017; KHAN et al., 2018). Na presente pesquisa, apenas uma bactéria (PL3J) foi a mais promissora para o controle do *Fusarium* sp. Apesar dos resultados, as BSF podem apresentar inibição a outros fungos fitopatogênicos como foi reportado por Khan et al. (2018). Porém, são necessários mais estudos de antibiose das BSF selecionadas com outros fungos patogênicos.

3.5 Conclusões

Os resultados do presente trabalho forneceram conhecimento da abundância das BSF ao longo dos perfis de Planossolos e Luvisolos do Nordeste Brasileiro, sendo um estudo pioneiro na pesquisa do Brasil. Foi observada uma grande variabilidade morfofisiológica, principalmente de actinobactérias nos horizontes superficiais e subsuperficiais dos solos estudados. De acordo com os resultados e critérios de seleção escolhidos pode-se concluir que as bactérias PL1A, PL1B, PL2L, PL3J, PL6A, PL18E, LU10E e LU13C foram as mais eficientes, sendo as recomendadas para o desenvolvimento de um biofertilizante. A avaliação da aplicação das BSF em planta proporcionará dados necessários e complementares para a formulação de um bioinsumo.

Referências Bibliográficas

- ABREU, C. S. de; FIGUEIREDO, J. E. F.; OLIVEIRA, C. A.; SANTOS, V. L. dos; GOMES, E. A.; RIBEIRO, V. P.; BARROS, B. de A.; LANA, U. G. de P.; MARRIEL, I. E. 2017. Maize endophytic bacteria as mineral phosphate solubilizers. **Genetics and Molecular Research**, v. 16, n. 1, p. 1-13. [https://doi: 10.4238/gmr16019294](https://doi.org/10.4238/gmr16019294)
- ADNAN, M.; FAHAD, S.; ZAMIN, M.; SHAH, S.; MIAN, I.A.; DANISH, S.; ZAFAR-UL-HYE, M.; BATTAGLIA, M.L.; NAZ, R.M.M.; SAEED, B.; SAUD, S. AHMAD, I. YUE, Z., BRTNICKY, M., HOLATKO, J.; DATTA, R. Coupling Phosphate-Solubilizing Bacteria with Phosphorus Supplements Improve Maize Phosphorus Acquisition and Growth under Lime Induced Salinity Stress. **Plants**, v. 9, n. 7: 900, p. 1-19, 2020. <https://doi.org/10.3390/plants9070900>
- ARAÚJO, M. S. B.; SCHAEFER, C. E. R.; SAMPAIO, E. V. S. B. Soil phosphorus fractions from toposequences of semi-arid Latosols and Luvisols in northeastern Brazil. **Geoderma**, v. 119, n. 3–4, p. 309-321, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2003.07.002>
- ARAÚJO, V. L. V. P.; LIRA, J. M. A.; SOUZA, J. V. S.; COELHO, A. F. J.; FRACETTO, F.J.C.; DINI, F. A.; ARAUJO P. A. P.; MENDES JÚNIOR, J.P.; MARTINS DO RÊGO, B. F.; FRACETTO, G.G.M. Bacteria from tropical semiarid temporary ponds promote maize growth under hydric stress. **Microbiological Research**, v. 240, n. 126564, p. 1-10, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2020.126564>
- ARFARITA, N.; HIDAYATI, N.; ROSYIDAH, A.; MACHFUDZ, M.; HIGUCHI, T. Exploration of indigenous soil bacteria producing-exopolysaccharides for stabilizing of aggregates land potential as biofertilizer. **Journal of Degraded and Mining Lands Management**, v. 4, n. 1, p. 697-702, 2016. DOI:10.15243/jdmlm.2016.041.697
- AMAYA-GÓMEZ, C. V.; PORCEL, M.; MESA-GARRIGA, L.; GÓMEZ-ÁLVAREZ M. I. A Framework for the Selection of Plant Growth-Promoting Rhizobacteria Based on Bacterial Competence Mechanisms. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 86, n. 14, p. 1-13, 2020. <https://doi.org/10.1128/AEM.00760-20>
- ANZUAY, M.S.; FROLA, O.; ANGELINI, J.G.; LUDUEÑA, L, M; FABRA, A.; TAURIAN, T. Genetic diversity of phosphate-solubilizing peanut (*Arachis hypogaea* L.) associated bacteria and mechanisms involved in this ability. **Symbiosis**, v, 60, p. 143–154, 2013. <https://doi.org/10.1007/s13199-013-0250-2>
- ALVAREZ, A.; SAEZ, J. M.; COSTA, J. S. D.; COLIN, V. L. ; FUENTES, M.S.; CUOZZO, S. A.; BENIMELI, C. S.; POLTI, M. A.; AMOROSO, M. J. Actinobacteria: Current research and perspectives for bioremediation of pesticides and heavy metals. **Chemosphere**, v. 166, p. 41- 62, 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.09.070>

AQUINO, J. P. A.; MACEDO JUNIOR, F. B.; ANTUNES, J. E. L.; FIGUEIREDO, M. V. B.; ALCÂNTARA N. F.; ARAUJO, A. S. F. Plant growth-promoting endophytic bacteria on maize and sorghum. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. Goiânia , v. 49, n. 56241, p. 1-9, 2019 . <https://doi.org/10.1590/1983-40632019v4956241>

AZZIZ, G.; BAJSA, N.; HAGHJOU, T.; TAULÉ, C.; VALVERDE, A.; IGUAL, J.; MARIANO, J.; ARIAS, A. Abundance, diversity and prospecting of culturable phosphate solubilizing bacteria on soils under crop–pasture rotations in a no-tillage regime in Uruguay. **Applied Soil Ecology**, v. 61, p. 320–326, 2012. <https://doi: 10.1016/j.apsoil.2011.10.004>

BASHAN, Y.; KAMNEV, A. A.; DE-BASHAN, L.E. A proposal for isolating and testing phosphate-solubilizing bacteria that enhance plant growth. **Biology and Fertility of Soils**, v. 49, n. 1, p.1–2, 2013. <https://doi.org/10.1007/s00374-012-0756-4>

BHATT K.; MAHESHWARI, D. K. Bacillus megaterium Strain CDK25, a Novel Plant Growth Promoting Bacterium Enhances Proximate Chemical and Nutritional Composition of Capsicum annum L. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, n.1147, p. 1-10, 2020. <https://doi: 10.3389/fpls.2020.01147>

BERTRAMSON, B.R.1942. Phosphorus analysis of plant material. **Plant Physiology**, v. 17, n. 4, p. 447–454, 1942. <https://doi: 10.1104/pp.17.3.447>

BERRAQUERO, F. R.; BAYA, A. M.; CORMENZANA, A. R. Establishment of indices for the study of phosphate solubilization by soil bacteria. **Ars. Farmacéutica**, v. 17, n. 4, p. 399-406, 1976.

BRUCKER, E.; KERNCHEN, S.; SPHON, M. Release of phosphorus and silicon from minerals by soil microorganisms depends on the availability of organic carbón. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 143, n.107737, p. 1-10, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2020.107737>

CHANG, W. S.; VAN DE MORTEL, M.; NIELSEN, L.; NINO DE GUZMAN, G.; LI, X.; HALVERSON, L. J. Alginate production by *Pseudomonas putida* creates a hydrated microenvironment and contributes to biofilm architecture and stress tolerance under water-limiting conditions. **Journal of Bacteriology**, v. 189, n. 22, p. 8290-8299, 2007. doi: 10.1128/JB.00727-07

CHEN, Y.P.; REKHA, P.D.; ARUN, A.B.; SHEN, F.T.; LAI, W. A.; YOUNG, C.C. Phosphate solubilizing bacteria from subtropical soil and their tricalcium phosphate solubilizing abilities, **Applied Soil Ecology**, v. 34, n. 1, p. 33-41, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2005.12.002>

CUNHA, T. J. F.; PETRERE, V. G.; SILVA, D. J.; MENDES, A. M. S.; MELO, R. F. de; OLIVEIRA NETO, M. B. de; SILVA, M. S. L. da; ALVAREZ, I. A. Principais solos do semiárido tropical brasileiro: caracterização, potencialidades, limitações, fertilidade e manejo. EMBRAPA Semiárido. 2010. cap 2, p. 50-87.

DA SILVA, J.F., DA SILVA, T.R., COSTA, E.I.E.; RESENDE, F. A.C.; MORAES DOS SANTOS, J. W.; RIBEIRO, N.T.; RODRIGUES, S.J.M. WINDSOR, P. S. J. FREIRE, M. R.; SIGNOR, D.; FERNANDES-JÚNIOR, P.I. **Screening of plant growth promotion ability among bacteria isolated from field-grown sorghum under different managements in Brazilian drylands. World Journal Microbiology Biotechnology**, v. 34, n. 186, p. 1-10, 2018. <https://doi.org/10.1007/s11274-018-2568-7>

DELVASTO, P.; VALVERDE, A.; BALLESTER, A.; IGUAL, J.M.; MUÑOZ, J.A.; GONZÁLEZ, F.; BLÁZQUEZ, M.L.; GARCÍA, C. Characterization of brushite as a re-crystallization product formed during bacterial solubilization of hydroxyapatite in batch cultures. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 38, n. 9, p. 2645-2654, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2006.03.020>.

DENNIS, C.; WEBSTER, J. Antagonistic properties of species-groups of *Trichoderma*: I. Production of non-volatile antibiotics. **Transactions of the British Mycological Society**, v. 57, n. 1, p. 25-39, 1971. [https://doi.org/10.1016/S0007-1536\(71\)80077-3](https://doi.org/10.1016/S0007-1536(71)80077-3)

DUCA, D.; LORV, J.; PATTEN, C.L.; ROSE, D.; GLICK, B.R. Indole-3-acetic acid in plant-microbe interactions. **Antonie van Leeuwenhoek**, v. 106, n. 1, p. 85–125, 2014. DOI: 10.1007/s10482-013-0095-y

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solos**. 3. ed. Brasília, DF, 2017. 575p.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5a Edição rev. e ampl. Brasília, DF, 2018. 590 p.

EILERS, K.G.; DEBENPORT, S.; ANDERSON, S.; FIERER, N. Digging deeper to find unique microbial communities: The strong effect of depth on the structure of bacterial and archaeal communities in soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 50, p. 58-65. 2012. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2012.03.011>

FAHEEM, M.; RAZA, W.; ZHONG, W.; NAN, Z.; SHEN, Q.; XU, Y. Evaluation of the biocontrol potential of *Streptomyces goshikiensis* YCXU against *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum*. **Biological Control**, v. 81, p. 101-110, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2014.11.012>

FASIM, F.; AHMED, N.; PARSONS, R.; GADD, G.M. Solubilization of zinc salts by a bacterium isolated from the air environment of a tannery. **FEMS Microbiology Letters**, v. 213, n.1, p.1-6, 2002. <https://doi.org/10.1111/j.15746968.2002.tb11277.x>

FERNANDES-JÚNIOR, PAULO IVAN, AIDAR, SAULO DE TARSO, MORGANTE, CAROLINA VIANNA, GAVA, CARLOS ALBERTO TUÃO, ZILLI, JERRI ÉDSON, SOUZA, LAYANE SILVA BARBOSA DE, MARINHO, RITA DE CÁSSIA NUNES, NÓBREGA, RAFAELA SIMÃO ABRAHÃO, BRASIL, MARIVAINÉ DA SILVA, SEIDO, SIRANDO LIMA, & MARTINS, LINDETE MÍRIA VIEIRA. The resurrection plant *tripogon spicatus* (poaceae) harbors a diversity of plant growth promoting bacteria in northeastern brazilian caatinga. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n.4, p. 993-1002, 2015. <https://doi.org/10.1590/01000683rbcS20140646>

FERNANDES- JÚNIOR, P. I.; ALMEIDA, J. P. S. ; PASSOS, S. R.; OLIVEIRO, P. J. R; GOUVÊA, N.; XAVIER, G. R. Produção e comportamento reológico de exopolissacarídeos sintetizados por rizóbios isolados de guandu. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 12, p. 1465-1471, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2010001200018>

GAMA, D. C.; JESUS, J. B. PRINCIPAIS SOLOS DA REGIÃO SEMIÁRIDA DO BRASIL FAVORÁVEIS AO CULTIVO DO *Eucalyptus* L' Heritier. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 5, n. 2, p. 214-221, 2020. DOI: [dx.doi.org/10.5380/biofix.v5i2.70968](https://doi.org/10.5380/biofix.v5i2.70968)

GAURI, S.S.; MANDAL, S.M; PATI, B.R. Impact of *Azotobacter* exopolysaccharides on sustainable agriculture. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 95, p. 331–338, 2012. <https://doi.org/10.1007/s00253-012-4159-0>

GILBERT, S.; XU, J.; ACOSTA, K.; POULEV, A.; LEBEIS, S.; LAM, E. Bacterial Production of Indole Related Compounds Reveals Their Role in Association Between Duckweeds and Endophytes. **Frontiers in Chemistry**, v. 6, n. 265., p. 1-14, 2018. <https://doi.org/10.3389/fchem.2018.00265>

GOMES, E.A.; SILVA, U.C.; MARRIEL, I.E.; OLIVEIRA, C. A.; LANA, U.G.P. Rock phosphate solubilizing microorganisms isolated from maize rhizosphere soil. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 13, n.1, p. 69-81, 2014. <http://dx.doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v13n1p69-81>

GUPTA, M.; KIRAN, S.; GULATI, A.; SINGH, B.; TEWARI, R. Isolation and identification of phosphate solubilizing bacteria able to enhance the growth and aloin-A biosynthesis of *Aloe barbadensis* Miller. **Microbiological Research**, v. 167, n. 6, p. 358-363, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2012.02.004>

HAMMER, O.; HARPER, D.; RYAN, P. **PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis**. *Palaeontologia Electronica*. 4. 1-9, 2001.

HAMIM, A.; BOUKESKASSE, A.; OUHDOUCH, Y.; FARROUKI, A., BARRIJAL, S.; MICHÉ, L.; M'RABET, R.; DUPONNOIS, R.; HAFIDI, M. 2019. Phosphate solubilizing and PGR activities of ericaceous shrubs microorganisms isolated from Mediterranean forest soil. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 19, n. 101128. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101128>

HUNGRIA, M.; SILVA, K. DA. **Manual de Curadores de Germoplasma – Microorganismos: Rizóbios e Bactérias Promotoras do Crescimento Vegetal**. Brasília. EMBRAPA. 2011. 21p.

HUSSAIN, A.; ZAHIR, Z. A.; DITTA, A.; TAHIR, M. U.; AHMAD, M.; MUMTAZ, M. Z.; HAYAT, K.; HUSSAIN, S. Production and Implication of Bio-Activated Organic Fertilizer Enriched with Zinc-Solubilizing Bacteria to Boost up Maize (*Zea mays* L.) Production and Biofortification under Two Cropping Seasons. **Agronomy**, v. 10, no. 1: 39, p., 2020. <https://doi.org/10.3390/agronomy10010039>

JOE, M.M.; DEIVARAJ, S.; BENSON, A.; HENRY, A. J.; NARENDRAKUMAR, G. Soil extract calcium phosphate media for screening of phosphate-solubilizing bacteria. **Agriculture and Natural Resources**, v. 52, n. 3, p. 305-308, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.anres.2018.09.014>

KAMRAN, S.; SHAHID I.; BAIG D. N.; RIZWAN, M.; MALIK K. A.; MEHNAZ, S. Contribution of Zinc Solubilizing Bacteria in Growth Promotion and Zinc Content of Wheat. **Frontiers in Microbiology**, v. 8, n. 2593, p. 1-14, 2017. <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fmicb.2017.02593>

KALAYU, G. Phosphate Solubilizing Microorganisms: Promising Approach as Biofertilizers, **International Journal of Agronomy**, v. 2019, n. 4917256, p. 1-7, 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/4917256>

KHAN, N.; MARTÍNEZ-HIDALGO, P.; ICE, T. A.; MAYMON, M.; HUMM, E. A.; NEJAT, N.; SANDERS, E. R.; KAPLAN, D.; HIRSCH, A. M. Antifungal Activity of *Bacillus* Species Against *Fusarium* and Analysis of the Potential Mechanisms Used in Biocontrol. **Frontiers in Microbiology**, v. 9, n. 2363, p. 1-12, 2018. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02363>

KAUR, R.; KAUR S. Variation in the Phosphate Solubilizing Bacteria from Virgin and the Agricultural Soil of Punjab. **Current Microbiology**, v. 77, p. 2118-2127, 2020. <https://doi.org/10.1007/s00284-020-02080-6>

KAVAMURA, V.N.; SANTOS, S.N.; SILVA, J.L.; PARMA, M.M.; ÁVILA, L.A.; VISCONTI, A.; ZUCCHI, T.D.; TAKETANI, R.G.; ANDREOTE, F.D.; MELO, I.S. Screening of Brazilian cacti rhizobacteria for plant growth promotion under drought. **Microbiological Research**, v. 168, n. 4, p. 183–191, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2012.12.002>

KRITHIKA, S. BALACHANDAR, D. Expression of zinc transporter genes in rice as influenced by zinc-solubilizing enterobacter cloacae strain zsb14. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, n. 446, p. 1-9, 2016. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00446>

KUMAR, A.; SINGH, S.; GAURAV, A. K.; SRIVASTAVA, S.; VERMA, J. P. Plant Growth-Promoting Bacteria: Biological Tools for the Mitigation of Salinity Stress in Plants. **Frontiers in Microbiology**, v. 11, n. 1216, p. 1-15, 2020. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.01216>

KUSS, A. V.; KUSS, V. V.; LOVATO, T.; FLÔRES, M. L. Fixação de nitrogênio e produção de ácido indolacético in vitro por bactérias diazotróficas endofíticas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 10, p. 1459-1465, 2007. <https://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2007001000013>

LIU, Z., LI, Y., ZHANG, S., FU, Y., FAN, X., PATEL, J., ZHANG, M. 2015. Characterization of phosphate-solubilizing bacteria isolated from calcareous soils. **Applied Soil Ecology**, v. 96, p. 217-224, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2015.08.003>

LIU, W.H.; CHEN, F.F.; WANG, C.E.; FU, H.H.; FANG, X.Q.; YE, J.R.; SHI, J.Y. Indole-3-Acetic Acid in Burkholderia pyrrocinia JK-SH007: Enzymatic Identification of the Indole-3-Acetamide Synthesis Pathway. **Frontiers in Microbiology**, v. 10, n. 2559, p. 1-12, 2019. <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fmicb.2019.02559>

MARIANO, R. L. R. Manual de Práticas em Fitobacteriologia. In: MARIANO, R. L. R.; ASSIS, S. M.P.; SILVEIRA, E. B.; GOMES, A. M.A. **Mecanismos de Ação de Bactérias promotoras de Crescimento**. UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO, Recife-PE, 2000, p. 139-140.

MARTÍNEZ-SIMÓN, S. M.; PÉREZ-OSORIO, G. Assessing the effects of heavy metals in ACC deaminase and IAA production on plant growth-promoting bacteria. **Microbiological Research**, v. 188–189, p. 53-61, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2016.05.001>

MARSCHNER, P.; CROWLEY, D.; HONG, Y. C. Development of Specific Rhizosphere Bacterial Communities in Relation to Plant Species, Nutrition and Soil Type. **Plant and Soil**, v. 261, n. 1:2, p. 199-208, 2004. <https://www.jstor.org/stable/24124296>

MCCLERKLIN, S.A.; LEE, S.G.; HARPER, C.P.; NWUMEH, R.; JEZ, J.M.; KUNKEL, B.N. Indole-3-acetaldehyde dehydrogenase-dependent auxin synthesis contributes to virulence of *Pseudomonas syringae* strain DC3000. **PLoS Pathogens**, v. 14, n. 1, p. 1-24, 2018. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1006811>

MONTALVÃO, S. C. L. **Uso de Bacillus spp. para o controle de Fusarium oxysporum f. sp. vasinfectum e Meloidogyne incognita no algodoeiro (Gossypium hirsutum)**. 2016.170 f. Tese (Doutorado em Fitopatologia)—Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

MOLINA, R.; RIVERA, D.; MORA, V.; LÓPEZ, G.; ROSAS, S.; SPAEPEN, S., VANDERLEYDEN, J.; CASSÁN, F. Regulation of IAA biosynthesis in *Azospirillum brasilense* under environmental stress conditions. **Current Microbiology**, v. 75, n. 10 p. 1408–1418, 2018. <https://doi.org/10.1007/s00284-018-1537-6>

MUMTAZ, M. Z.; BARRY, K.M.; BAKER, A.L.; NICHOLS, D.S.; AHMAD, M.; ZAHIR, Z.A.; BRITZ, M.L. Production of lactic and acetic acids by Bacillus sp. ZM20 and Bacillus cereus following exposure to zinc oxide: A possible mechanism for Zn solubilization. **Rhizosphere**, v. 12, n. 100170, p. 1-10, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2019.100170>

MYO, E.M., GE, B., MA, J.; CUI, H.; LIU, B.; , SHI, L.; JIANG, M.; ZHANG, K. Indole-3-acetic acid production by *Streptomyces fradiae* NKZ-259 and its formulation to enhance plant growth. **BMC Microbiology**, v.19, n. 155, p. 1-14, 2019. <https://doi.org/10.1186/s12866-019-1528-1>

NAFIS, A.; RAKLAMI, A.; BECHTAOUI, N.; EL KHALLOUFI, F.; EL ALAOUI, A.; GLICK, B.R.; HAFIDI, M.; KOUISNI, L.; OUHDOUCH, Y.; HASSANI, L. Actinobacteria from Extreme Niches in Morocco and Their Plant Growth-Promoting Potentials. **Diversity**, v. 11, n. 139, p. 1-15, 2019. <https://doi.org/10.3390/d11080139>

NASEEM, H.; AHSAN, M.; SHAHID, M. A.; KHAN, N. Exopolysaccharides producing rhizobacteria and their role in plant growth and drought tolerance. **Journal of Basic Microbiology**, v. 58, n. 12, p. 1009-1022, 2018. <https://doi.org/10.1002/jobm.201800309>

NAUTIYAL, C.S. 1999. An efficient microbiological growth medium for screening phosphate solubilizing microorganisms. *FEMS Microbiology Letters*, v. 170, n. 1, p. 265–270, 1999. <https://doi: 10.1111/j.1574-6968.1999.tb13383.x>

NIÑO-SAVALA, A. G.; ZHUANG, Z.; MA, X.; FANGMEIER, A.; LI, H. ; TANG, A.; LIU, X. Cadmium pollution from phosphate fertilizers in arable soils and crops: an overview. **Frontiers in Agricultural of Science and Engineering**, v. 6, n. 4, p. 419-430, 2019. <https://doi.org/10.15302/J-FASE-2019273>

NUMAN, M.; BASHIR, S.; KHAN, Y.; MUMTAZ, R.; SHINWARI, Z. K.; KHAN, A. L.; KHAN, A.; AL-HARRASI, A. Plant growth promoting bacteria as an alternative strategy for salt tolerance in plants: A review. **Microbiological Research**, v. 209, p. 21-32, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2018.02.003>

OLDENBURG, E.; HÖPPNER, F.; ELLNER, F.; WEINERT, J. *Fusarium* diseases of maize associated with mycotoxin contamination of agricultural products intended to be used for food and feed. **Mycotoxin Research**, v. 33, p. 167–182, 2017. <https://doi.org/10.1007/s12550-017-0277-y>

OLIVEIRA, L. B.; FONTES, M. P. F.; RIBEIRO, M. R.; KER, J. C. Morfologia e classificação de luvisolos e planossolos desenvolvidos de rochas metamórficas no semiárido do nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 5, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000500026>

OLIVEIRA, S.M.; FREIRE, F.J.; KUKLINSKY-SOBRAL, J.; ALMEIDA DE OLIVEIRA, E.C.; GALVÃO DOS SANTOS FREIRE, M. B.; XAVIER DE OLIVEIRA APOLINÁRIO, V. Bacteria associated with sugarcane in Northeastern Brazil. **African Journal of Microbiology Research**, vol. 10, n.37, p. 1586-1594, 2016. <https://doi: 10.5897/AJMR2016.8241>

OTEINO, N.; LALLY R.; KIWANUKA S.; LLOYD A.; RYAN D, GERMAINE, K.; DOWLING, D. Plant growth promotion induced by phosphate solubilizing endophytic *Pseudomonas* isolates. **Frontiers in Microbiology**, v. 6, n. 745, p. 1-9, 2015. <https://ET al.frontiersin.org/article/10.3389/fmicb.2015.00745>

PANDE, A.; PANDEY, P.; MEHRA, S.; SINGH, M., KAUSHIK, S. Phenotypic and genotypic characterization of phosphate solubilizing bacteria and their efficiency on the growth of maize. **Journal of Genetic Engineering and Biotechnology**, v. 15, n. 2. p. 379-391, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jgeb.2017.06.005>

PAULO, E.M.; VASCONCELOS, M.P.; OLIVEIRA, I.S.; AFFE, H.M.J.; NASCIMENTO, R.; MELO, I.S.; ROQUE, M.R.A.; ASSIS, S.A. An alternative method for screening lactic acid bacteria for the production of exopolysaccharides with rapid confirmation. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 32, n. 4, p. 710–714, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612012005000094>

PAUL, D.; SINHA, S. N. Isolation and characterization of phosphate solubilizing bacterium *Pseudomonas aeruginosa* KUPSB12 with antibacterial potential from river Ganga, India. **Annals of Agrarian Science**, v. 15, n. 1, p. 130-136, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.aasci.2016.10.001>

PAVINATO, P. S.; ROCHA, C. G.; CHERUBIN, M. R.; HARRIS, I.; JONES, D. L.; WITHERS, P. J. A. Map of total phosphorus content in native soils of Brazil. **Scientia Agricola**, v. 78, n. 6, 2021. <https://doi.org/10.1590/1678-992X-2020-0077>

PEREIRA, N.C.M.; GALINDO, F.S.; GAZOLA, R.P.D.; DUPAS, E. ROSA, P.A.L.; MORTINHO, E.S.; TEIXEIRA FILHO, M.C.M. Corn Yield and Phosphorus Use Efficiency Response to Phosphorus Rates Associated With Plant Growth Promoting Bacteria. **Frontiers in Environmental Science**, v. 8, n. 40, p. 1-12, 2020. <https://doi: 10.3389/fenvs.2020.0004>

PRINSEN, E.; COSTACURTA, A.; MICHIELS, K.; VANDERLEYDEN, J.; VAN ONCKELEN, H. Azospirillum brasilense indole-3-acetic acid biosynthesis: evidence for a non-tryptophan dependent pathway. **Molecular Plant-Microbe Interactions**, v. 6, n. 5, p. 609-615, 1993. DOI: 10.1094/mpmi-6-609.

RAMAKRISHNA, W.; YADAV, R.; LI, K. 2019. Plant growth promoting bacteria in agriculture: Two sides of a coin. **Applied Soil Ecology**, v. 138, p. 10-18, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.02.019>

RFAKI, A.; ZENNOUHI, O.; ALIYAT, F. Z.; NASSIRI, L.; IBIJBIJEN, J. Isolation, Selection and Characterization of Root-Associated Rock Phosphate Solubilizing Bacteria in Moroccan Wheat (*Triticum aestivum* L.). **Geomicrobiology Journal**, v. 37, n. 3, p. 230-241, 2020. <https://doi: 10.1080/01490451.2019.1694106>

RIBEIRO, R.D.; FERREIRA DA SILVA, A.; PESSOA C. M. I.; COSTA E. I. E.; RESENDE F. A. C.; ALMEIDA R. P. R.; ALVES F. N. R.; SANTIAGO DE FREITAS, A. D.; FERNANDES-JÚNIOR, P. I. Phenotypic, genetic and symbiotic characterization of *Erythrina velutina* rhizobia from Caatinga dry forest. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 49, n. 3, p. 503-512, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.bjm.2017.09.007>

SÁ, I. B.; CUNHA, T. J. F.; TEIXEIRA, A. H. de C.; ANGELOTTI, F.; DRUMOND, M. A. Processos de desertificação no Semiárido brasileiro. EMBRAPA Semiárido. 2010. cap. 4, p. 126- 158.

SANTOS, C. M. Cadernos do Semiárido: riquezas & oportunidades / Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Pernambuco. Recife: EDUFPRPE. 2017. v. 10, n. 10 (mar./abr. 2017). , 2017.

SANTOS, R. D.; LEMOS, R. C.; SANTOS, H. G.; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C.; SHIMIZU, S. H. **Manual de descrição e coleta de solos no campo**. 6. ed. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, 2015. 100p.

SANTOS, T.O. **Comunidades microbianas e estoques de carbono e nitrogênio em luvisolo crômico sob diferentes níveis de degradação no semiárido do Brasil**. 2019. 116 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo)- Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2019.

SANTOS DE SOUSA, J. E. **Pedogênese e sequestro de carbono em planossolos ao longo de um gradiente pluviométrico na província borborema, Brasil**. 2019. 135 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo)- Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2019.

SARAVANAN, V. S.; SUBRAMONIAM, S. R.; RAJ, S. A. Assessing in vitro solubilization potential of different zinc solubilizing bacterial (zsb) isolates. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 35, n. 1-2, p. 121-125, 2004. <https://doi.org/10.1590/S1517-83822004000100020>

SILVA, V. R. F. **Gênese de luvisolos ao longo de uma climossequência sobre anfibolito no semiárido de Pernambuco**. 2018. 94 p. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo)-Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2018.

SILVEIRA, M. M. L.; ARAÚJO, M. S. B.; SAMPAIO, E. V. S. B. Distribuição de fósforo em diferentes ordens de solo do semi-árido da Paraíba e de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 281-291, n. 2006. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832006000200009>

SOUMARE, A.; BOUBEKRI, K.; LYAMLOULI, K.; HAFIDI, M.; OUHDOUCH, Y.; KOUISNI, L. Efficacy of phosphate solubilizing Actinobacteria to improve rock phosphate agronomic effectiveness and plant growth promotion. **Rhizosphere**, v.17, n. 100284, p. 1-7, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2020.100284>

SOUSA, S. M.; DE OLIVEIRA, C. A.; ANDRADE, D. L.; DE CARVALHO, C. G.; RIBEIRO, V. P.; PASTINA, M. M.; MARRIEL, I. E.; UBIRACI, G. P. L.; GOMES, E. A. Tropical Bacillus Strains Inoculation Enhances Maize Root Surface Area, Dry Weight, Nutrient Uptake and Grain Yield. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 40, p. 867–877, 2020. <https://doi.org/10.1007/s00344-020-10146-9>

SOUZA, R. de; AMBROSINI, A.; PASSAGLIA, LUCIANE. M.P. Plant growth-promoting bacteria as inoculants in agricultural soils. **Genetics and Molecular Biology**, Ribeirão Preto, v. 38, n. 4, p. 401-419, 2015. <https://doi.org/10.1590/S1415-475738420150053>.

SPAEPEN, S.; VANDERLEYDEN, J.; REMANS, R. Indole-3-acetic acid in microbial and microorganism-plant signaling. **FEMS microbiology reviews**, v. 31, n. 4, 425-448, 2007. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6976.2007.00072.x>

STAUDT, A. K.; WOLFE, L. G.; SHROUT, J. D. Variations in exopolysaccharide production by *Rhizobium tropici*. **Archives of microbiology**, v. 194, n. 3, p. 197–206, 2012. <https://doi.org/10.1007/s00203-011-0742-5>

SULEMAN M, YASMIN S, RASUL M, YAHYA M, ATTA BM, MIRZA MS. Phosphate solubilizing bacteria with glucose dehydrogenase gene for phosphorus uptake and beneficial effects on wheat. **PLoS ONE**, v. 13, n. 9, p. 1-28 ,2018. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0204408>

VELLOSO, C.C.V.; ABREU DE OLIVEIRA, C. GOMES, E.A.; DE PAULA L.U.G.; DE CARVALHO, C.G.; GUIMARÃES, L.J.M.; PASTINA, M. M.; DE SOUSA, S.M. Genome-guided insights of tropical *Bacillus* strains efficient in maize growth promotion. **FEMS Microbiology Ecology**, v. 96, n. 9, p. 1-16, 2020. <https://doi.org/10.1093/femsec/fiaa157>

VIDYASHREE, D.N.; RAMAIAH, M.; PANNEERSELVAM, P.; MITRA, D. Organic Acids Production by Zinc Solubilizing Bacterial Isolates. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v. 7, p. 626-633, 2018. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.710.070>

VURUKONDA, S.S.K.P.; GIOVANARDI, D.; STEFANI, E. Plant Growth Promoting and Biocontrol Activity of *Streptomyces* spp. as Endophytes. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 19, n. 952, p. 1-26, 2018 <https://doi.org/10.3390/ijms19040952>

WANG, Y.; PENG, S.; P.; HUA, Q.; H.; QIU, C.; Q.; WU, P.; LIU, X.; L.; LIN, X. The Long-Term Effects of Using Phosphate-Solubilizing Bacteria and Photosynthetic Bacteria as Biofertilizers on Peanut Yield and Soil Bacteria Community. **Frontiers in Microbiology**, v. 12, n. 693535, p. 1-14, 2021. <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fmicb.2021.693535>

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.; ROSOLEM C. A.; ANDREOTE, F.D.; OLIVEIRA Jr. A.; COUTINHO, E.L.M.; PAVINATO, P. S. Transitions to sustainable management of phosphorus in Brazilian agriculture. **Scientific Reports**, v. 8, n. 2537, p 1-13, 2018. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-20887-z>

XU, J.C.; HUANG, L.M.; CHEN, C.; WANG, J.; LONG, X.X. Effective lead immobilization by phosphate rock solubilization mediated by phosphate rock amendment and phosphate solubilizing bacteria. **Chemosphere**, v. 237, n. 124540, p. 1-8, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124540>

CAPÍTULO III

4. INOCULAÇÃO DE BACTÉRIAS SOLUBILIZADORAS DE FOSFATO PROVENIENTES DE PLANOSSOLOS E LUVISSOLOS PROMOVEM CRESCIMENTO EM MILHO (*Zea mays*)

RESUMO

No Brasil, a expansão da superfície semeada com milho (*Zea mays*) levou a um aumento do uso de fertilizantes fosfatados, o que torna a agricultura brasileira vulnerável à futura escassez de reservas de rocha fosfática e às constantes variações no custo da importação. Além disso, o uso excessivo de fertilizantes pode causar eutrofização de corpos de água, acumulação de metais pesados no solo e afetar a estrutura e funcionamento da comunidade microbiana dos solos alterando a fertilidade e conseqüentemente o rendimento do cultivo. A inoculação de bactérias solubilizadoras de fosfato (BSF) pode ser adotada como uma alternativa sustentável para aumentar a disponibilidade do fósforo à planta. O objetivo do trabalho foi avaliar a capacidade de BSF isoladas de Planossolos e Luvisolos do Nordeste brasileiro em promover o crescimento do milho (*Zea mays*) usando distintas fontes de fósforo. Sementes de milho foram inoculadas separadamente com 8 isolados de BSF (PL1A, PL1B, PL2L, PL3J, PL6A, PL18E, LU10E, LU13C) e um controle sem inoculação. Logo, foram semeadas em um solo com baixo teor de fósforo, com os tratamentos: P- (sem fósforo), superfosfato simples (SFS); fosfato natural reativo (FNR) e a combinação SFS+FNR. O experimento foi em esquema factorial (4x9) e conduzido em casa de vegetação por 40 dias e avaliado o fósforo disponível no solo, biomassa seca de raiz e parte aérea e nutrientes da parte aérea (N, P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn). De modo geral, os resultados de fósforo disponível no solo, biomassa seca e teor de nutrientes foram superiores para os tratamentos inoculados em relação aos não inoculados. O valor máximo de P disponível no solo foi obtido para o tratamento FNR inoculado com LU10E (78,70 mg.dm⁻³). Em relação ao conteúdo da biomassa seca da raiz os valores máximos foram para o tratamento FNR inoculado com PL1A (3,00 g.planta⁻¹) e PL1B (2,44 g.planta⁻¹) com relação aos tratamentos P(-), SFS e SFS+FNR. Para a biomassa seca da parte aérea o tratamento SFS inoculado com LU13C e PL1B mostraram valores máximos de 9,46 e 9,01 g.planta⁻¹, respectivamente, em relação aos tratamentos sem inoculação. Os resultados de teor de nutrientes não evidenciaram diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos inoculados e sem inoculação. Finalmente, pode-se concluir que as cepas bacterianas selecionadas apresentaram um efeito favorável no crescimento e desenvolvimento do milho. No entanto, são necessários estudos no campo para uma melhor avaliação e seleção das cepas para o desenvolvimento de um biofertilizante fosfatado.

Palavras-chave: Micro-organismos solubilizadores de fósforo. Crescimento vegetal. Fertilização fosfatada. Biofertilizante.

INOCULATION OF PHOSPHATE SOLUBILIZING BACTERIA FROM PLANOSOLS AND LUVISOLS PROMOTE GROWTH OF MAIZE (*Zea mays*)

ABSTRACT

In Brazil, the expansion of the cultivated corn (*Zea mays*) area has led to an increase in the use of phosphate fertilizers, making Brazilian agriculture vulnerable to future shortages of phosphate rock reserves and constant variations in the cost of importation. Furthermore, the excessive use of fertilizers can cause eutrophication of water bodies, accumulation of heavy metals in soil and affect the structure and functioning of the microbial community in soils, altering fertility and consequently the crop yield. The inoculation of phosphate solubilizing bacteria (PSB) can be adopted as a sustainable alternative to increase the availability of phosphorus to the plant. The objective of this work was to evaluate the capacity of PSB isolated from Planosols and Luvisols from Northeast Brazil to promote the growth of corn using different sources of phosphorus. Corn seeds were inoculated separately with 8 PSB (PL1A, PL1B, PL2L, PL3J, PL6A, PL18E, LU10E, LU13C) and cultivated in a low phosphorus soil with different treatments: P- (no phosphorus), simple superphosphate (SSP), reactive rock phosphate (RP) and the SSP+RP combination. The experiment was carried out under greenhouse conditions for 40 days and evaluated soil available phosphorus, root and shoot dry biomass and shoot nutrients (N, P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn and Zn). The results suggest that the inoculation response depends on the source of phosphorus and the bacterial strain. In general, an increase in soil available phosphorus was evidenced. The maximum value was for the treatment RP inoculated with LU10E (78.70 mg.dm⁻³). For the root dry biomass content, the maximum values were for the treatment RP inoculated with PL1A (3.00 g.plant⁻¹) and PL1B (2.44 g.plant⁻¹) in relation to the treatments P (-), SSP and SSP + RP. For shoot dry biomass, the treatment SSP inoculated with LU13C and PL1B had the maximum values 9.46 and 9.01 g.plant⁻¹ compared to treatments without inoculation. The results of nutrient content do not show statistically significant differences between the inoculated and no inoculated treatments. Finally, it can be concluded that the selected bacterial strains show a favorable effect in the growth and development of corn, being the PSB with greater potential for development a phosphate biofertilizer. However, field studies are needed for a better evaluation and selection of strains.

Keywords: Phosphorus solubilizing microorganism. Plant growth. Phosphorus fertilization. Biofertilizer.

4.1 Introdução

O fósforo (P) é um macronutriente fundamental para o desenvolvimento das plantas, rendimento e formação de grãos (KAUR; REDDY, 2015). Na maioria dos solos do mundo é um dos elementos químicos que mais limita a produtividade das culturas, tornando-se necessário o uso de fertilizantes minerais (KHAN et al., 2010; OTIENO et al., 2015; ANZUAY et al., 2017). No entanto, 80 % dos fertilizantes fosfatados fica indisponível para as plantas devido a imobilização por precipitação com cátions como Ca, Mg, Fe e Al e adsorção aos minerais de argila (YANG et al., 2011; DE SOUZA et al., 2021).

Nas próximas décadas, a agricultura devera enfrentar o crescimento exponencial da população mundial, sendo necessário aumentar a produção de alimento de uma forma sustentável (PEREIRA; CASTRO, 2014). A alta demanda de fertilizantes fosfatados importados torna a agricultura brasileira vulnerável à futura escassez de reservas de rocha fosfática e às constantes variações no custo dos mesmos (WHITERS et al., 2018). Os fertilizantes fosfatados são produzidos a partir da rocha fosfática, que é tratada quimicamente com ácido sulfúrico a alta temperatura, sendo um processo custoso que provoca danos no ambiente (HAMDALI et al., 2008; DO CARMO et al., 2019). Além disso, o uso excessivo de fertilizantes pode causar eutrofização de corpos de água, acumulação de metais pesados no solo e afetar a estrutura e funcionamento da comunidade microbiana dos solos alterando a fertilidade e conseqüentemente o rendimento do cultivo (LAZCANO et al., 2013; ALORI et al., 2017; IBARRA-GALENA et al., 2017).

A perda da fertilidade do solo e impacto ambiental causados pelo uso desmedido de fertilizantes químicos levou ao desenvolvimento de novas ferramentas biotecnológicas, ambientalmente amigáveis (GYANESHWAR et al., 2002). A inoculação de bactérias solubilizadores de fosfato (BSF) pode ser empregada como uma opção favorável para aumentar a disponibilidade do nutriente para a planta, contribuindo assim, na saúde do solo (KHAN et al., 2007; VALETTI et al., 2018; JANATI et al., 2021). A aplicação de BSF, além de diminuir o uso de fertilizantes fosfatados, pode mobilizar parte do fertilizante aplicado que ficou retido no solo e torná-lo disponível para as plantas (KAUR; REDDY, 2015). Ao mesmo tempo, vários pesquisadores têm estudado a aplicação de rocha fosfática de baixa solubilidade e a inoculação de BSF como uma alternativa sustentável à fertilização fosfatada

(HAMDALI et al., 2008; GOMES et al., 2014; RIBEIRO et al., 2018; MATTOS et al., 2020).

As BSF podem solubilizar o P mineral mediante a produção de ácidos orgânicos (acético, fórmico, propiônico, láctico, glicólico, fumárico e succinico) e inorgânicos (sulfúrico, nítrico e carbônico) e mineralizar o P orgânico mediante a produção de enzimas como fitases e fosfatases ácidas e alcalinas (CHUNGOPAST et al., 2021; ESTRADA- BONILLA et al., 2021). Adicionalmente as BSF podem apresentar outros mecanismos de promoção do crescimento vegetal, como produção de hormônios e inibição do crescimento de fitopatógenos (JI et al., 2019; LOBO et al., 2019; ALORI et al., 2017).

Vários estudos têm demonstrado que bactérias dos gêneros *Azospirillum*, *Bacillus*, *Burkholderia*, *Pseudomonas*, *Pantoea* e *Serratia* apresentaram bons resultados na promoção do crescimento de diversas culturas como milho e feijão, com um aumento significativo no conteúdo do P e rendimento de grãos (ANZUAY et al., 2017; DE SOUZA et al., 2021; SILVA et al., 2021; WANG et al., 2021).

Nas regiões áridas e semiáridas (como o Nordeste Brasileiro) existe uma enorme diversidade de bactérias promotoras do crescimento de plantas (BPCPs) com enorme potencial biotecnológico devido a sua alta plasticidade fenotípica (LOBO et al., 2019). O grupo das Actinobacterias tem chamado a atenção de muitos pesquisadores pelo crescimento micelar e formação de esporos que permite tolerar o estresse ambiental (SOUMARE et al., 2021; BOUBEKRI et al., 2021). Vários estudos de solos de ambientes extremos isolaram Actinobacterias com alta capacidade de solubilização de fósforo sendo potenciais candidatos para a produção de biofertilizantes altamente versáteis (RADHA et al., 2017; NAFIS et al., 2019).

O Nordeste do Brasil, apresenta uma ampla variedade de ambientes e solos constituindo uma região de grande diversidade biológica (MARQUES et al., 2014; ARAÚJO et al., 2020). No entanto, ainda são necessários trabalhos de bioprospecção de BSF com alto potencial biotecnológico em solos da região.

Porém, devido a heterogeneidade de solos são indispensáveis estudos de seleção de BSF *in vitro* e *in vivo* para o desenvolvimento de biofertilizantes funcionais e confiáveis como ferramenta para apoiar a agricultura sustentável (ALORI et al., 2017; LOBO et al., 2019).

O milho (*Zea mays*) é uma das culturas de cereais mais importantes do mundo, usada principalmente como alimento, sendo uma fonte de renda para vários países

em desenvolvimento (NGOUME; MUTENGWA, 2020). No milho, o P é necessário no início da germinação até os 35-40 dias, na floração e enchimento de grãos, sendo as últimas etapas as mais dependentes do nutriente (SILVA et al., 2021).

O Brasil é o terceiro produtor mundial de milho, com um área cultivada estimada de 18,5 milhões de ha na safra 2019/2020, correspondendo a uma produção de 100 milhões de toneladas (CONAB, 2020). A expansão da área cultivada para uma maior produção levou ao aumento do uso de fertilizantes em particular os fosfatados (WHITERS et al., 2018). Estratégias alternativas de manejo para reduzir o uso de fertilizantes fosfatados são cada vez mais valorizadas visando a sustentabilidade dos sistemas agrícolas e a saúde do solo (KHAN et al., 2007; DO CARMO et al., 2019; SOUMARE et al., 2020).

Diante o exposto, o objetivo do trabalho foi avaliar a capacidade de bactérias solubilizadoras de fosfato isoladas de Planossolos e Luvisolos do Nordeste Brasileiro em promover o crescimento do milho (*Zea mays*) usando distintas fontes de fósforo em condições controladas para o desenvolvimento de um biofertilizante.

4.2 Material e métodos

4.2.1 Seleção das BSF

Foram selecionadas oito BSF a partir de uma coleção de 170 BSF isoladas de Planossolos e Luvisolos. Os critérios de seleção das bactérias foram os seguintes: a) apresentar diferenças nas características morfofisiológicas das bactérias de acordo com cor, forma, elevação, borda, superfície, formação de halo; a) apresentar solubilização de fosfato de cálcio no meio líquido NBRIP $\geq 160 \text{ mg.L}^{-1}$; b) mostrar uma eficiência de solubilização de fosfato de cálcio sem redução significativa da capacidade de solubilização ao longo do tempo; c) apresentar pelo menos um mecanismo de promoção do crescimento vegetal como alta produção de AIA, EPS, ou solubilização Zn e antagonismo com *Fusarium sp.*

Tendo em vista estes parâmetros, as bactérias selecionadas foram PL1A, PL1B, PL2L, PL3J, PL6A, PL18E, LU10E, LU13C (Tabela 1).

Tabela 1. Características das bactérias solubilizadoras de fosfato de cálcio selecionadas de Planossolos e Luvisolos. A seleção das bactérias foi baseada em diferenças morfofisiológicas, solubilização de fosfato de cálcio $\geq 160 \text{ mg.L}^{-1}$ sem redução significativa da capacidade de solubilização ao longo do tempo e apresentar pelo menos um mecanismo de promoção do crescimento vegetal como alta produção de AIA, EPS, ou ISZn e antagonismo com *Fusarium* sp.

Isolado	origem do isolado	P (mg/L) 5º dia	P (mg/L) 7º dia	P (mg/L) 9º dia	pH	ISZn	AIA ($\mu\text{g/ml}$)	Prod. AIA	EPS (mm)	Prod. EPS	F. sp.
PL1A	Horizonte A perfil 1 Planossolo	110,6 b	145,1 b	160,5 b	5,1 c	x	17,9 c	alta	18,5 c	alta	x
PL1B	Horizonte. A perfil 1 Planossolo	110,2 b	213,7 a	228,2 b	5,2 c	x	10,8 e	alta	x	x	x
PL2L	Horizonte. AE perfil 1 Planossolo	162,8 b	159,1 b	161,2 b	4,9 c	x	11,3 e	alta	9,7 g	baixa	x
PL3J	Horizonte Bt perfil 1 Planossolo	84,6 b	177,9 b	187,6 b	5,1 c	2,4 a	x	x	14,9 e	alta	sim
PL6A	Horizonte A perfil 2 Planossolo	62,2 b	130,2 b	160,0 b	5,8 b	x	34,7 b	alta	16,3 d	alta	x
PL18E	Horizonte Ap2 perfil 4 Planossolo	330,2 a	248,6 a	422,7 a	3,9 d	2,6 a	x	x	39,7 a	alta	x
LU10E	Horizonte Bt perfil 3 Luvisolo	174,3 b	245,3 a	239,9 b	3,5 d	x	14,5 d	alta	24,0 b	alta	x
LU13C	Horizonte A perfil 4 Luvisolo	108,7 b	158,4 b	160,7 b	4,0 d	x	37,5 a	alta	6,7 h	baixa	x
Controle	x	16,4 b	9,3 c	12,7 c	6,8 a	x	x	x	x	x	x

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade

4.2.2 Preparo e aplicação do inóculo bacteriano

As BSF foram cultivadas previamente em meio TSA (Agar Triptona de Soja) e transferidas para meio TSB (Caldo Triptona Soja) por 4 dias a 30 ° C e 150 rpm. Os inóculos foram ajustados para uma absorbância igual a 1 (10^8 UFC.mL^{-1}) com solução

salina estéril (NaCl 0,85%), em comprimento de onda igual a 550 nm segundo a metodologia proposta por Ribeiro et al. (2018) com modificações.

Sementes de milho (*Zea mays*) da variedade São Jose (BR 5026) foram desinfestadas superficialmente, por meio da imersão em álcool 70% por 3 minutos, hipoclorito de sódio 2% por 7 minutos, álcool 70% por 1 minuto, seguido de 8 lavagens sucessivas com água destilada estéril. Foram realizadas 4 covas por vaso de 3 kilos e colocadas 3 sementes por cova a uma profundidade de 2 cm. Sobre a superfície das sementes foram aplicados 5 mL do inóculo bacteriano por cova (Figura 1).



Figura 1. Aplicação dos inoculantes bacterianos sobre a superfície das sementes de milho previamente desinfetadas

4.2.3 Instalação do experimento em casa de vegetação

O solo utilizado no experimento foi um Argissolo Amarelo com baixa disponibilidade de P coletado a uma profundidade de 0- 20 cm de uma área rural no município de Moreno, PE (08°07'07" S e 35°05'32"). As características físicas e químicas do solo determinadas pela metodologia da EMBRAPA (2017) foram as seguintes: areia 420 g.Kg⁻¹, silte 345 g.kg⁻¹, argila 235 g.Kg⁻¹, pH H₂O =5,3; Al= 0,3 cmol_cdm⁻³; Ca= 2,5 cmol_cdm⁻³; Mg=1,15 cmol_cdm⁻³; K=0,08 cmol_cdm⁻³, NT= 1,18 g.Kg⁻¹; CO= 23,33 g.kg⁻¹, P=1,56 mg.dm⁻³, H+Al= 5,53 cmol_c.dm⁻³.

O solo foi peneirado em malha de 5 mm e acondicionado em vasos. A calagem foi feita 20 dias antes do montagem do experimento com carbonato de cálcio e de magnésio na proporção 3:1, elevando o pH a 6,4 pelo método de incubação.

Foram avaliado 4 tratamentos: sem P (P-); superfosfato simples (SFS) com 18% de P_2O_5 ; fosfato natural reativo de fosforita (FNR) com 12,56% de P_2O_5 total e 3,6% de solubilidade em ácido cítrico e a combinação $\frac{1}{2}$ dose de FNR + $\frac{1}{2}$ dose de SFS (SFS+FNR) (Tabela 2). A dose de fósforo aplicada foi definida com base na recomendação para a cultura de milho da variedade São José para o estado de Pernambuco, que é 60 Kg.ha^{-1} de P_2O_5 (IPA, 2008). Um dia antes da inoculação bacteriana foi adicionada em todos os tratamentos solução nutritiva sem P (DA SILVA et al., 2017).

O experimento foi instalado em esquema fatorial (4x9) de 4 tratamentos (fontes de fósforo), 8 bactérias e um controle sem inocular, inteiramente casualizado com 4 repetições, totalizando 144 unidades experimentais..As plantas de milho foram crescidas sob condições ambientais controladas por 40 dias e regadas regularmente com água destilada (Figura 2). Aos dez dias após a semeadura, efetuou-se o desbaste, deixando-se 2 plantas por vaso.



Figura 2. Plantas de milho aos 40 dias de inoculação com BSF e diferentes fontes de fósforo

4.2.4 Fósforo disponível no solo

Após a coleta das plantas, para cada tratamento foi determinado o P disponível no solo com a solução Mehlich-1, segundo a metodologia proposta por Teixeira et al. (2017). Foram adicionados 100 ml de solução extratora Mehlich-1 ($\text{HCl } 0,05 \text{ mol.L}^{-1}$ e $\text{H}_2\text{SO}_4 \text{ } 0,0125 \text{ mol.L}^{-1}$) em 10 g de solo (TFSA) e agitado durante 5 minutos a temperatura ambiente. Foi pipeteado 5 ml do extrato e adicionado 10 ml de solução ácida de molibdato de amônio diluída e 30 mg de ácido ascórbico em pó. A solução foi misturada e deixada em repouso por 1 hora e medida a absorvância a 660 nm. A partir de uma solução estoque padrão de 1, 2, 3, 4, 5 mg.L^{-1} de P foi determinada a concentração de P presente em cada amostra.

4.2.5 Crescimento vegetal

Após a coleta da parte aérea (folha e caule) e raízes das plantas (Figura 2) foi realizado a secagem do material em estufa com circulação forçada de ar, sob temperatura de 65 °C até atingir massa constante.

As amostras da parte aérea foram moídas em moinho tipo Willye TE-650 para a determinação dos teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, cobre, ferro, manganês e zinco. Para a obtenção dos teores totais de N, as amostras da parte aérea foram digeridas de acordo com o método de Kjeldahl, e por digestão nitroperclórica para os teores totais de K, P, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn (EMBRAPA, 2009). Os teores totais de N foram obtidos por destilação, K por fotometria de chama, e P, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn por espectrometria de emissão ótica com plasma acoplado indutivamente (ICP OES Perkin Elmer 7000 DV).

4.2.6 Análises estatísticas

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste Scott-Knott a 5 % de probabilidade, por meio do programa InfoStat/L (DI RIENZO et al., 2020).

4.3 Resultados

4.3.1 Fósforo disponível no solo

De forma geral, os resultados obtidos para o teor de fósforo disponível no solo foram maiores nos tratamentos com fosfato natural reativo (FNR) e superfosfato simples (SFS) em relação aos tratamentos sem fósforo (P-) e SFS+FNR.

O valor máximo de P disponível foi para o tratamento FNR inoculado com LU10E (78,70 mg.dm⁻³), em comparação com os demais tratamentos, apresentando diferenças significativas ($p < 0,05$) em relação ao tratamento sem fósforo controle (P-sem inocular) (Figura 3, Tabela 2).

Para o tratamento SFS, o inóculo LU13C apresentou o maior resultado de P disponível (69,89 mg.dm⁻³) com diferenças significativas ($p < 0,05$) em relação ao tratamento P(-) controle (Figura 4, Tabela 2).

Para o tratamento SFS+FNR os inóculos LU13C e PL1B, mostraram os valores máximos de $49,50 \text{ mg.dm}^{-3}$ e $47,07 \text{ mg.dm}^{-3}$, respectivamente (Figuras 5 e 6), sem diferenças significativas em relação ao tratamento P(-) controle (Tabela 2).

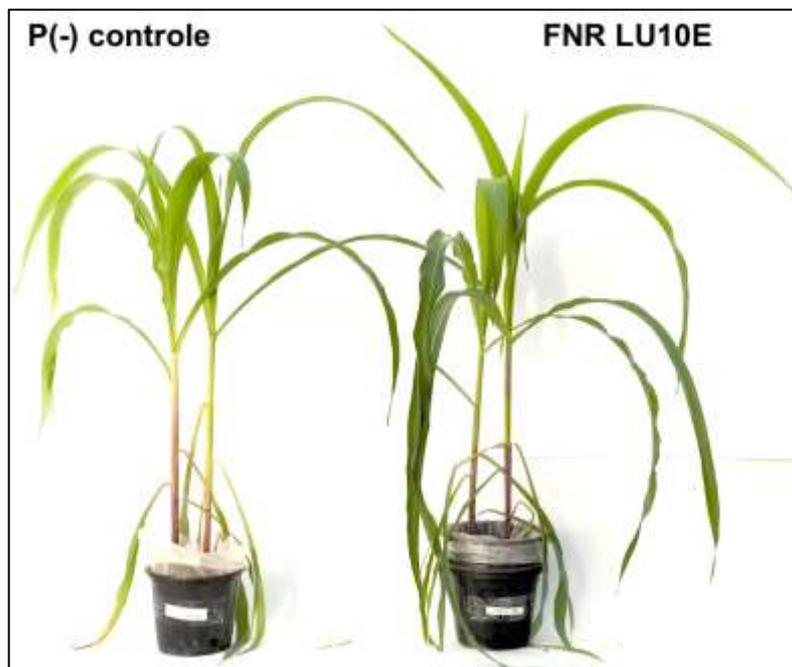


Figura 3. Plantas de milho em resposta aos tratamentos P(-) controle (esquerda) e FNR inoculado com LU10E (direita), aos 40 dias de inoculação

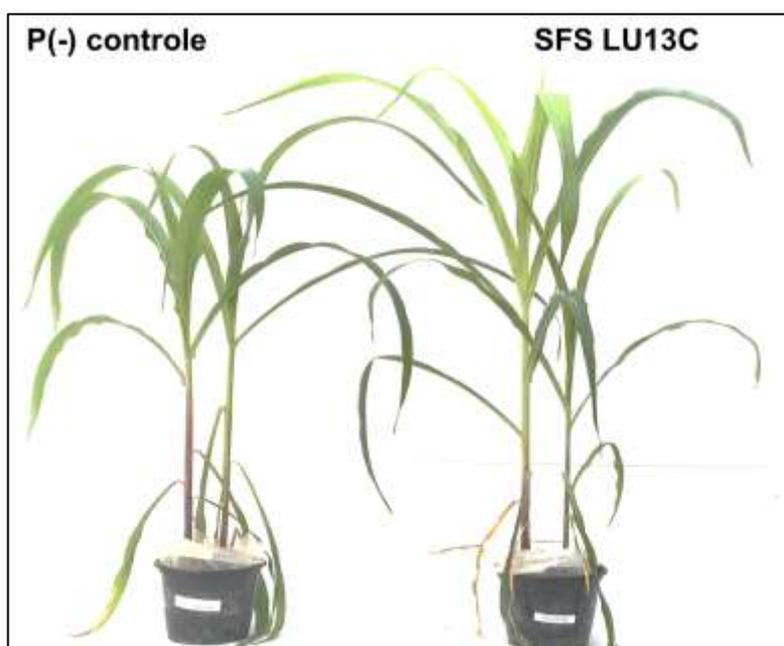


Figura 4. Plantas de milho em resposta aos tratamentos P(-) controle (esquerda) e SFS inoculado com LU13C (direita), aos 40 dias de inoculação

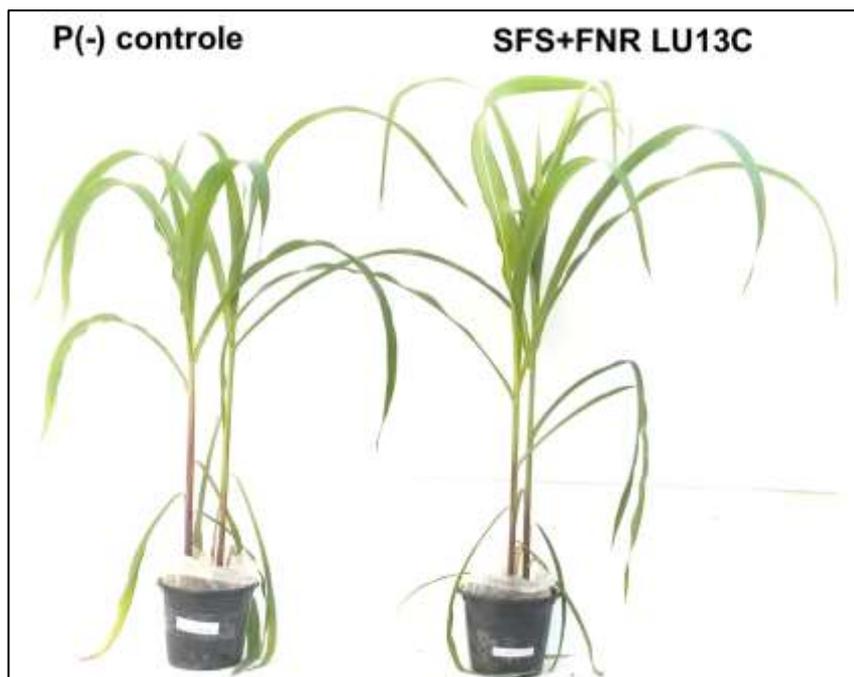


Figura 5. Plantas de milho em resposta aos tratamentos P(-) controle (esquerda) e SFS+FNR inoculado com LU13C (direita), aos 40 dias de inoculação

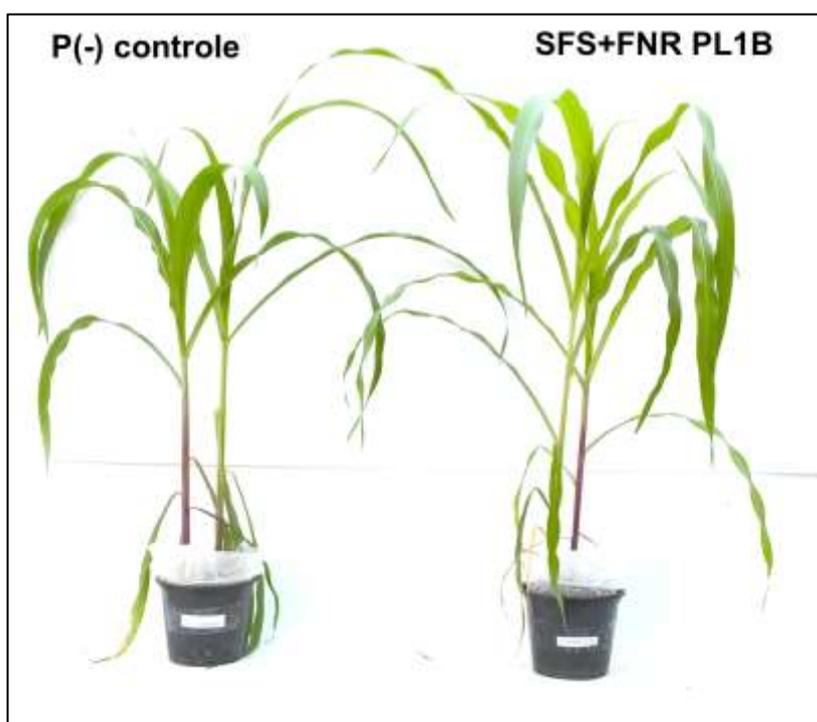


Figura 6. Plantas de milho em resposta aos tratamentos P(-) controle (esquerda) e SFS+FNR inoculado com PL1B (direita), aos 40 dias de inoculação

Tabela 2. Fósforo disponível no solo dos tratamentos sem P (P-), superfosfato simples (SFS), fosfato natural reativo (FNR) e SFS+FNR, inoculados com PL1A, PL1B, PL2L, PL3J, PL6A, PL18E, LU10E, LU13C e controle (sem inocular)

Inóculo	P disponível no solo (mg.dm ⁻³)			
	P(-)	SFS	FNR	SFS+FNR
PL1A	24,31 Cc	36,16 Cc	28,91 Cc	35,45 Cc
PL1B	32,19 Cc	58,83 Bb	38,36 Cc	47,09 Cc
PL2L	33,31 Cc	35,43 Cc	37,64 Cc	39,65 Cc
PL3J	35,27 Cc	37,38 Cc	39,28 Cc	34,90 Cc
PL6A	41,95 Cc	40,12 Cc	41,09 Cc	41,31 Cc
PL18E	32,52 Cc	42,42 Cc	45,43 Cc	39,11 Cc
LU10E	41,83 Cc	44,55 Cc	78,70 Aa	38,01 Cc
LU13C	40,39 Cc	69,89 Aa	38,55 Cc	49,50 Cc
Controle	33,35 Cc	73,30 Aa	53,99 Bb	36,71 Cc

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna e mesma letra minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade

4.3.2 Crescimento vegetal

De modo geral, os resultados de massa seca de raiz (MSR) foram superiores para os tratamentos inoculados em relação aos não inoculados (Tabela 3).

O tratamento FNR apresentou os valores máximos de MSR com relação aos tratamentos P(-), SFS e SFS+FNR. Os resultados foram 3,00 e 2,44 g.planta⁻¹ para os inóculos PL1A e PL1B, respectivamente (Figuras 7 e 8). Além disso, foi evidenciado que a inoculação dos estirpes PL1A e PL1B favoreceu o desenvolvimento da raiz de milho sem aplicação de fósforo, com resultados iguais a 2,37 e 2,31 g.planta⁻¹, respectivamente (Tabela 3). No entanto, os resultados não mostraram diferenças significativas ($p < 0,05$).



Figura 7. Raízes das plantas de milho em resposta aos tratamentos P(-) controle, P(-) PL1A, SFS PL1A, FNR PL1A, SFS+FNR PL1A (de esquerda a direita), aos 40 dias de inoculação



Figura 8. Raízes das plantas de milho em resposta aos tratamentos P(-) controle, P(-) PL1B, SFS PL1B, FNR PL1B, SFS+FNR PL1B (de esquerda a direita), aos 40 dias de inoculação

Tabela 3. Massa seca de raiz (MSR) das plantas de milho para os tratamentos sem P (P-), superfosfato simples (SFS), fosfato natural reativo (FNR) e SFS + FNR, inoculados com PL1A, PL1B, PL2L, PL3J, PL6A, PL18E, LU10E, LU13C e controle (sem inocular)

Inóculo	MSR (g.planta ⁻¹)			
	Tratamento			
	P(-)	SFS	FNR	SFS+FNR
PL1A	2,37 Aa	2,00 Aa	3,00 Aa	1,87 Aa
PL1B	2,31 Aa	1,93 Aa	2,44 Aa	2,11 Aa
PL2L	2,08 Aa	2,23 Aa	2,00 Aa	2,03 Aa
PL3J	1,98 Aa	1,60 Aa	1,91 Aa	1,87 Aa
PL6A	1,45 Aa	2,13 Aa	2,10 Aa	1,76 Aa
PL18E	1,97 Aa	1,72 Aa	1,89 Aa	1,73 Aa
LU10E	1,46 Aa	2,17 Aa	2,05 Aa	1,73 Aa
LU13C	2,01 Aa	1,78 Aa	2,10 Aa	2,10 Aa
controle	2,06 Aa	1,78 Aa	2,39 Aa	1,99 Aa

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna e da mesma letra minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade

Para os resultados de massa seca da parte aérea (MSPA) foi observado que alguns tratamentos inoculados apresentaram valores superiores em comparação aos tratamentos sem inocular. Apesar de ter observado um maior desenvolvimento da parte aérea das plantas de milho tratadas com SFS LU13C e PL1B (Figura 4 e 9) com resultados iguais a 9,46 e 9,01 g.planta⁻¹ e para o tratamento FNR PL1B e PL6A (Figuras 10 e 11) com resultados iguais a 8,60 e 8,21 g.planta⁻¹, não foram evidenciadas diferenças estatísticas com relação aos tratamentos controle (Tabela 4).

Tabela 4. Massa seca da parte aérea (MSPA) das plantas de milho para os tratamentos sem P (P-), superfosfato simples (SFS), fosfato natural reativo (FNR) e mistura SFS + FNR, inoculados com PL1A, PL1B, PL2L, PL3J, PL6A, PL18E, LU10E, LU13C e controle (sem inocular)

Inóculo	MSPA (g.planta ⁻¹)			
	Tratamento			
	P(-)	SFS	FNR	SFS+FNR
PL1A	7,49 Aa	8,13 Aa	7,49 Aa	8,03 Aa
PL1B	7,34 Aa	9,01 Aa	8,60 Aa	8,08 Aa
PL2L	6,85 Aa	7,87 Aa	6,87 Aa	8,04 Aa
PL3J	8,25 Aa	8,52 Aa	6,82 Aa	7,02 Aa
PL6A	7,22 Aa	8,63 Aa	8,21 Aa	8,71 Aa
PL18E	8,10 Aa	8,36 Aa	7,75 Aa	7,37 Aa
LU10E	7,68 Aa	8,35 Aa	7,90 Aa	7,99 Aa
LU13C	7,92 Aa	9,46 Aa	8,20 Aa	7,87 Aa
controle	7,76 Aa	7,21 Aa	7,19 Aa	8,72 Aa

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna e da mesma letra minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade

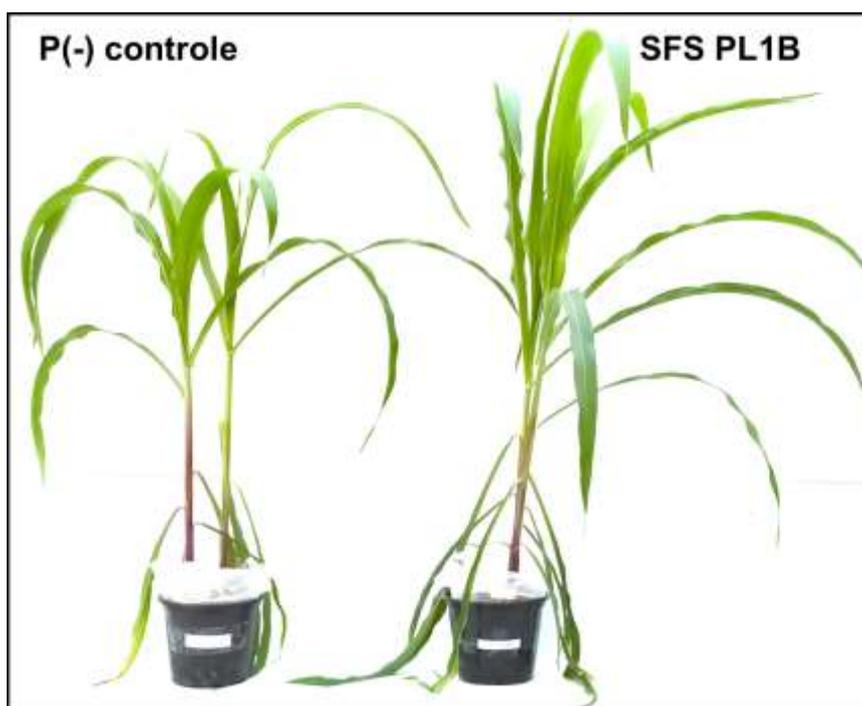


Figura 9. Plantas de milho em resposta aos tratamentos P(-) controle (esquerda) e SFS inoculado com PL1B (direita), aos 40 dias de inoculação

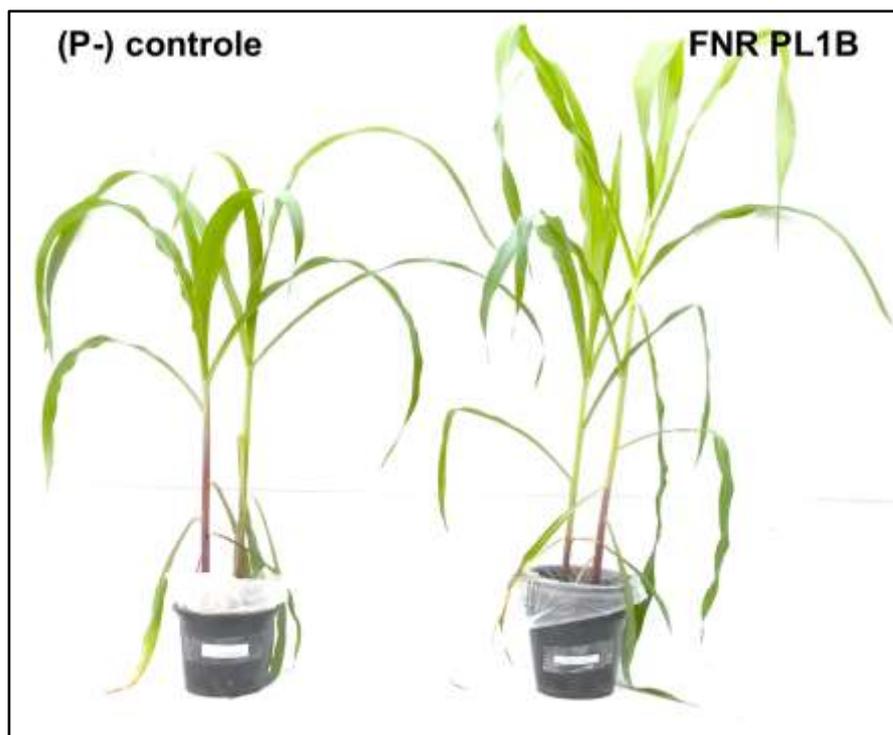


Figura 10. Plantas de milho em resposta aos tratamentos P(-) controle (esquerda) e FNR inoculado com PL1B (direita), aos 40 dias de inoculação

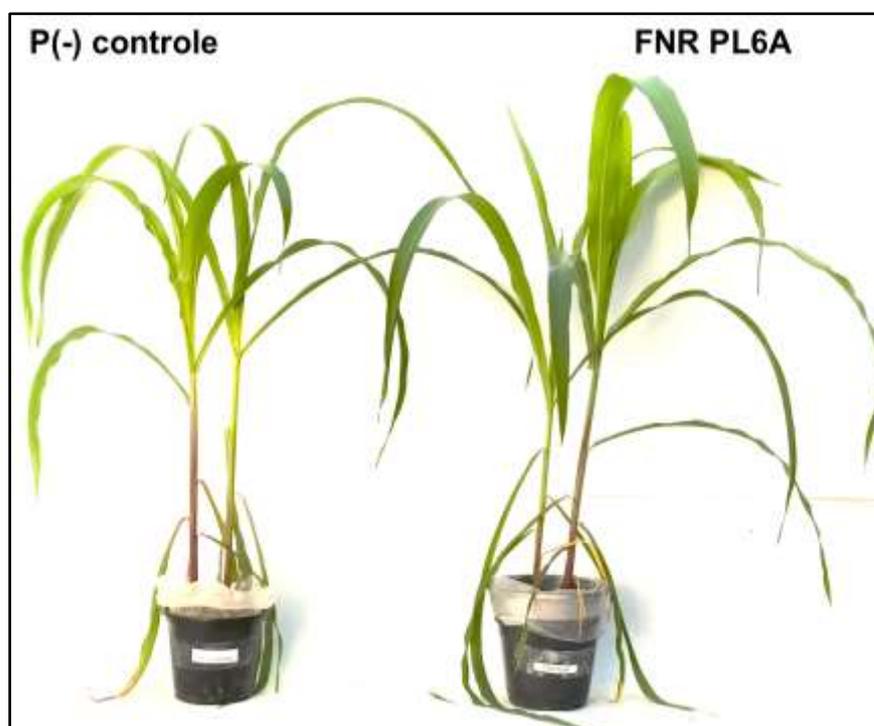


Figura 11. Plantas de milho em resposta aos tratamentos P(-) controle (esquerda) e FNR inoculado com PL6A (direita), aos 40 dias de inoculação

4.3.3 Nutrientes em plantas de milho

Os resultados de teores de macronutrientes N, P, K, Ca e Mg em plantas de milho, não mostraram diferenças significativas entre os tratamentos inoculados e controle. Para os teores de N, o tratamento P(-) PL6A mostrou o maior valor (42,35 g.Kg⁻¹), sem diferenças estatísticas com o tratamento controle. Em relação aos teores de P, entre os tratamentos inoculados, o tratamento SFS PL2L (2,81 g.Kg⁻¹) e SFS+FNR LU13C (2,73 g.Kg⁻¹) apresentaram os maiores valores, sem diferenças significativas com relação ao tratamento controle. Para os teores de K, os tratamentos P(-) inoculado com PL1A (0,41 g.Kg⁻¹) e PL2L (0,45 g.Kg⁻¹) e FNR inoculado com PL6A (0,42 g.Kg⁻¹) e PL3J (0,40 g.Kg⁻¹) revelaram os maiores valores, sem diferenças significativas com o tratamento controle. Em relação aos teores de Ca, o tratamento P(-) inoculado com PL6A (5,99 g.Kg⁻¹) apresentou o máximo valor e para o Mg foi o tratamento SFS PL3J (10,86 g.Kg⁻¹), no entanto, não houveram diferenças significativas com os tratamentos controle (Tabela 5).

Tabela 5. Teor de N, P, K, Ca e Mg da parte aérea de milho para os tratamentos sem P (P-), superfosfato simples (SFS), fosfato natural reativo (FNR) e mistura SFS + FNR inoculado com BSF PL1A, PL1B, PL2L, PL3J, PL6A, PL18E, LU10E, LU13C e controle (sem inocular)

Nutriente	Inóculo	Tratamento			
		P(-)	SFS	FNR	SFS+FNR
N (g.Kg ⁻¹)	PL1A	24,57 Aa	30,42 Aa	38,92 Aa	33,32 Aa
	PL1B	31,99 Aa	34,90 Aa	32,94 Aa	34,27 Aa
	PL2L	34,02 Aa	35,56 Aa	35,25 Aa	36,40 Aa
	PL3J	33,74 Aa	39,41 Aa	34,56 Aa	38,78 Aa
	PL6A	42,35 Aa	39,41 Aa	32,97 Aa	39,27 Aa
	PL18E	35,07 Aa	33,95 Aa	32,59 Aa	37,21 Aa
	LU10E	33,18 Aa	35,32 Aa	32,06 Aa	40,32 Aa
	LU13C	34,58 Aa	29,16 Aa	31,57 Aa	38,47 Aa
	controle	30,21 Aa	43,30 Aa	33,11 Aa	35,14 Aa
P (g.Kg ⁻¹)	PL1A	2,05 Bb	2,50 Aa	2,18 Bb	2,22 Bb
	PL1B	2,22 Bb	2,32 Aa	2,24 Bb	1,93 Bb
	PL2L	2,60 Aa	2,81 Aa	2,65 Aa	1,67 Bb
	PL3J	1,89 Bb	2,40 Aa	2,59 Aa	2,39 Aa
	PL6A	2,14 Bb	1,89 Bb	2,34 Aa	2,17 Bb
	PL18E	2,17 Bb	2,15 Bb	1,94 Bb	2,15 Bb
	LU10E	1,94 Bb	2,24 Bb	2,02 Bb	2,00 Bb
	LU13C	1,98 Bb	2,02 Bb	1,92 Bb	2,73 Aa
	controle	2,57 Aa	3,39 Aa	2,94 Aa	2,55 Aa
K (g.Kg ⁻¹)	PL1A	0,41 Aa	0,39 Aa	0,39 Aa	0,35 Aa
	PL1B	0,36 Aa	0,37 Aa	0,33 Aa	0,34 Aa
	PL2L	0,45 Aa	0,35 Aa	0,29 Aa	0,21 Aa
	PL3J	0,35 Aa	0,37 Aa	0,40 Aa	0,32 Aa
	PL6A	0,36 Aa	0,36 Aa	0,42 Aa	0,32 Aa
	PL18E	0,37 Aa	0,36 Aa	0,38 Aa	0,35 Aa
	LU10E	0,29 Aa	0,35 Aa	0,35 Aa	0,28 Aa
	LU13C	0,38 Aa	0,39 Aa	0,36 Aa	0,35 Aa
	controle	0,36 Aa	0,39 Aa	0,33 Aa	0,26 Aa
Ca (g.kg ⁻¹)	PL1A	4,60 Aa	4,78 Aa	4,53 Aa	4,57 Aa
	PL1B	4,56 Aa	5,28 Aa	5,16Aa	5,23 Aa
	PL2L	5,12 Aa	4,91 Aa	4,55 Aa	5,10 Aa
	PL3J	4,86 Aa	5,43 Aa	4,49 Aa	5,09 Aa
	PL6A	5,99 Aa	4,79 Aa	4,21 Bb	3,77 Bb
	PL18E	3,86 Bb	3,74 Bb	3,37 Bb	3,87 Bb
	LU10E	3,44 Bb	4,13,Bb	3,69 Bb	3,48 Bb
	LU13C	3,57 Bb	3,69 Bb	3,46 Bb	4,32 Bb
	controle	4,72 ab	5,22 Aa	4,58 ab	4,18 Bb
Mg (g.kg ⁻¹)	PL1A	7,42 Aa	9,91 Aa	8,49 Aa	8,02 Aa
	PL1B	9,11 Aa	8,75 Aa	7,89 Aa	9,02 Aa
	PL2L	9,30 Aa	8,89 Aa	7,47 Aa	8,58 Aa
	PL3J	6,44 Aa	10,86 Aa	5,25 Aa	7,21 Aa
	PL6A	10,18 Aa	7,89 Aa	9,02 Aa	8,39 Aa
	PL18E	7,52 Aa	7,88 Aa	5,99 Aa	8,11 Aa
	LU10E	8,49 Aa	9,62 Aa	8,41 Aa	7,83 Aa
	LU13C	8,04 Aa	8,17 Aa	7,30 Aa	8,33 Aa
	controle	9,32Aa	10,10 Aa	9,23 Aa	7,29 Aa

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna e da mesma letra minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade

Os resultados dos teores de micronutrientes Cu, Fe, e Zn não apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos inoculados e sem inocular (Tabela 6). Para os teores de Cu o maior valor foi obtido para o tratamento P(-) LU10E (6,13 mg.Kg⁻¹); para o Fe foi P(-) PL3J (97,23 mg.Kg⁻¹); para o Mn foi P(-)

) PL6A (40,18 mg.Kg⁻¹) e para o Zn foi o tratamento P(-) PL6A (32,90 mg.Kg⁻¹), no entanto, não houveram diferenças significativas em relação aos tratamentos controle (Tabela 6).

Tabela 6. Teor de Cu, Fe, Mn e Zn da parte aérea de milho para os tratamentos P(-), SFS, FNR e SFS+FNR inoculado com BSF PL1A, PL1B, PL2L, PL3J, PL6A, PL18E, LU10E, LU13C e controle (sem inocular)

Nutriente	Inóculo	Tratamento			
		P(-)	SFS	FNR	SFS+FNR
Cu (mg.kg ⁻¹)	PL1A	5,21 Aa	3,94 Aa	4,90 Aa	4,44 Aa
	PL1B	4,93 Aa	3,94 Aa	5,38 Aa	4,86 Aa
	PL2L	5,83 Aa	4,21 Aa	5,00 Aa	4,85 Aa
	PL3J	3,94 Aa	5,35 Aa	5,65 Aa	5,24 Aa
	PL6A	6,03 Aa	4,45 Aa	5,18 Aa	5,23 Aa
	PL18E	5,56 Aa	4,16 Aa	4,88 Aa	5,41 Aa
	LU10E	6,13 Aa	5,06 Aa	5,75 Aa	4,90 Aa
	LU13C	5,34 Aa	4,15 Aa	4,91 Aa	4,36 Aa
	Controle	5,04 Aa	4,10 Aa	4,36 Aa	3,78 Aa
Fe (mg.kg ⁻¹)	PL1A	55,56 Aa	59,76 Aa	62,26 a	57,96 Aa
	PL1B	67,58 Aa	61,60 Aa	83,14 Aa	63,63 Aa
	PL2L	76,68 Aa	50,89 Aa	89,40 Aa	63,69 Aa
	PL3J	97,23 Aa	73,64 Aa	60,95 Aa	79,41 Aa
	PL6A	58,94 Aa	66,05 Aa	59,57 Aa	65,01 Aa
	PL18E	61,49 Aa	59,19 Aa	85,39 Aa	69,98 Aa
	LU10E	59,34 Aa	83,16 Aa	55,26 Aa	64,19 Aa
	LU13C	60,26 Aa	56,59 Aa	78,34 Aa	61,66 Aa
	Controle	55,88 Aa	68,00 Aa	50,34 Aa	47,20 Aa
Mn (mg.kg ⁻¹)	PL1A	28,06 Aa	34,95 Aa	30,76 Aa	32,99 Aa
	PL1B	26,43 Aa	34,51 Aa	32,63 Aa	34,79 Aa
	PL2L	34,43 Aa	34,16 Aa	30,60 Aa	34,99 Aa
	PL3J	26,50 Aa	37,50 Aa	30,45 Aa	33,01 Aa
	PL6A	46,18 Aa	31,84 Aa	27,25 Aa	32,00 Aa
	PL18E	34,59 Aa	38,86 Aa	32,23 Aa	35,18 Aa
	LU10E	29,21 Aa	36,38 Aa	27,25 Aa	26,96 Aa
	LU13C	33,56 Aa	38,48 Aa	28,88 Aa	32,10 Aa
	Controle	25,19 Aa	31,20 Aa	24,44 Aa	21,64 Aa
Zn (mg.kg ⁻¹)	PL1A	31,71 Aa	26,46 Aa	26,31 Aa	25,90 Aa
	PL1B	25,74 Aa	23,68 Aa	30,15 Aa	30,68 Aa
	PL2L	30,41 Aa	25,03 Aa	24,99 Aa	26,81 Aa
	PL3J	25,90 Aa	30,93 Aa	28,14 Aa	33,71 Aa
	PL6A	32,90 Aa	26,31 Aa	27,23 Aa	25,48 Aa
	PL18E	30,68 Aa	29,04 Aa	24,83 Aa	26,74 Aa
	LU10E	29,88 Aa	27,54 Aa	28,16 Aa	25,30 Aa
	LU13C	27,83 Aa	24,13 Aa	21,84 Aa	25,24 Aa
	Controle	27,09 Aa	25,56 Aa	23,95 Aa	19,81 Aa

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna e da mesma letra minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade

4.4 Discussão

Neste trabalho, foi avaliado o efeito da inoculação de BSF, provenientes de Planossolos e Luvisolos, em milho com diferentes fontes de fósforo. Com relação aos resultados de P disponível no solo, apenas o tratamento com rocha fosfática (FNR) inoculado com LU10E e SFS inoculado com LU13C apresentaram um aumento significativo dos níveis de fósforo no solo em comparação com o tratamento sem fósforo controle. Para os resultados de MSR, MSPA e teores de nutrientes, não foram evidenciadas diferenças significativas entre os tratamentos inoculados e controle, provavelmente pelo curto prazo do experimento em casa de vegetação. Ribeiro et al. (2019), destacam que os experimentos a longo prazo demonstram com maior clareza a biosolubilização da rocha fosfática, principalmente na acumulação de fósforo na biomassa e nos grãos de milho. Hameeda et al. (2008), observaram um aumento significativo na parte aérea e rendimento de grãos em milho, inoculado com bactérias solubilizadoras de fósforo dos gêneros *Pseudomonas* e *Serratia*, com diferentes fontes de fósforo em um experimento conduzido em casa de vegetação e campo por um período de 96 dias. Em outros trabalhos semelhantes, a BSF do gênero *Bacillus* foi inoculada em diversas culturas como milho (GOMES et al., 2014) e sorgo (MATTOS et al., 2020), com adição de rocha fosfática, observando um aumento na biomassa de raízes, parte aérea e conteúdo de nutrientes como N e P aos 50 dias. Por tanto, futuras avaliações das BSF em campo são necessárias para a seleção das bactérias mais eficientes para o desenvolvimento de um biofertilizante.

Assim mesmo, foi observado um comportamento diferente das bactérias com distintas fontes de fósforo, principalmente para os dados de P disponível e biomassa seca. Vários estudos tem relatado que o potencial dos micro-organismos de solubilizar o fósforo é variável e depende dos mecanismos de solubilização e sua habilidade de liberar o fósforo no solo, assim como a genética dos estirpes e o tipo de rocha fosfática (GOMES et al., 2014; BILLAH et al., 2019; SILVA et al., 2021). As BSF selecionadas apresentavam uma alta capacidade de solubilização de fosfato de cálcio e, pelo menos, algum outro mecanismo de promoção do crescimento de plantas como produção de ácido indol- acético (AIA), exopolisacáridos (EPS) ou solubilização de zinco, os quais podem interferir na eficiência dos micro-organismos selecionados como inoculantes. Outros fatores que influenciam na aptidão das cepas bacterianas é a habilidade de colonizar as raízes das plantas, os exsudados radiculares liberados,

a competência microbiana, sobrevivência no solo e a expressão de genes para a comunicação celular via *quorum sensing* (SOUZA et al., 2015).

Outro resultado interessante foi observado no tratamento sem fósforo, no qual algumas cepas bacterianas incrementaram o P disponível no solo e biomassa seca de raiz e parte aérea em comparação com o tratamento P(-) controle. Resultados semelhantes foram encontrados por Ribeiro e colaboradores (2018), em que cepas de *Bacillus* mostraram um aumento significativo no peso seco de raiz e parte aérea, N e P em plantas de milho sem adição de fósforo no solo, devido aos diferentes mecanismos de solubilização dos estirpes.

Futuros estudos como a identificação genética das bactérias e análises de ácidos orgânicos produzidos podem ajudar a compreender o comportamento das bactérias na solubilização do fósforo

4.5 Conclusões

As bactérias solubilizadoras de fosfato selecionadas apresentaram um efeito favorável no crescimento e desenvolvimento do milho. O tratamento FNR inoculado com estas BSF mostrou resultados positivos, principalmente para a disponibilidade de fósforo no solo e biomassa seca de raiz e parte aérea. Finalmente, pode-se concluir que as cepas PL1A, PL1B, PL2L, PL3J, PL6A, PL18E, LU10E e LU13C apresentam potencial para o desenvolvimento de um biofertilizante fosfatado, sendo necessária sua avaliação em campo, seja separadas ou em consórcio.

Referências Bibliográficas

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, n. 971, p. 1-8, 2017.

<https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00971>

ANZUAY, M. S.; CIANCIO, M.; LUDUEÑA, L. M.; ANGELINI, J. G.; BARROS, G.; PASTOR, N.; TAURIAN, T. Growth promotion of peanut (*Arachis hypogaea* L.) and maize (*Zea mays* L.) plants by single and mixed cultures of efficient phosphate solubilizing bacteria that are tolerant to abiotic stress and pesticides. **Microbiological research**, v. 199, p. 98–109, 2017.

<https://doi.org/10.1016/j.micres.2017.03.006>

BILLAH, M.; KHAN, M.; BANO, A.; HASSAN, T.U.; MUNIR, A.; GURMANI, A.R. Phosphorus and phosphate solubilizing bacteria: Keys for sustainable agriculture, **Geomicrobiology Journal**, v. 36, n. 10, p. 904-916, 2019. <https://doi.org/10.1080/01490451.2019.1654043>

BOUBEKRI, K.; SOUMARE, K.; MARDAD, I.; LYAMLOULI, K.; HAFIDI, M.; OUHDOUCH, ET AL.; KOUISNI, L. The Screening of Potassium- and Phosphate-Solubilizing Actinobacteria and the Assessment of Their Ability to Promote Wheat Growth Parameters. **Microorganisms**, v. 9, no. 3: 470, p. 1-16, 2021. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9030470>

CHUNGOPAST, S.; THONGJOO, C.; ISLAM, A.K.M.M.; YEASMIN, S. Efficiency of phosphate-solubilizing bacteria to address phosphorus fixation in Takhli soil series: a case of sugarcane cultivation, Thailand. *Plant Soil*, v. 460, p. 347–357, 2021. <https://doi.org/10.1007/s11104-020-04812-ET al>

CONAB. Companhia Nacional De Abastecimento. ACOMPANHAMENTO DA SAFRA BRASILEIRA. GRÃOS. V7. SAFRA 2019/2020. N.9. Nono levantamento, 2020, 65 p. Disponível em: <https://ET al.conab.gov.br/info-agro/safra/graos>

DA SILVA, ET AL. R.; DA SILVA, F.B V.; ARAÚJO, P.R.M.; DO NASCIMENTO, C.ET AL.A. Assessing human health risks and strategies for phytoremediation in soils contaminated with As, Cd, Pb, and Zn by slag disposal. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v.144, p. 522-530, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.06.068>

DE SOUZA, S. M.; DE OLIVEIRA, C. A; ANDRADE, D.L.; DE CARVALHO, C.G.; RIBEIRO, V. P.; PASTINA, M.M.; MARRIEL, I, E.; GOMES DE PAULA, U. L.; GOMES, E. A.; **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 40, n. 2, p.867- 877, 2021. <https://doi.org/10.1007/s00344-020-10146-9>

DI RIENZO, J.A., CASANOVES, F., BALZARINI, M.G., GONZALEZ, L., TABLADA, M., ROBLEDO, C.ET AL., 2020. InfoStat. Centro de transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

DO CARMO, T.S.; MOREIRA, F. S.; CABRAL, B.V.; DANTAS, R.C.C; RESENDE, M.M.; CARDOSO, V.L.; RIBEIRO, E.J. Phosphorus Recovery from Phosphate Rocks Using Phosphate-Solubilizing Bacteria. **Geomicrobiology Journal**, v. 36, n. 3, p. 195-203, 2019. <https://doi.org/10.1080/01490451.2018.1534901>

EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2da ed. 627 p, 2009.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise do solo**. 3 ed. revista e ampliada, 574 p, 2017.

ESTRADA-BONILLA, G. A.; DURRER, A.; CARDOSO, E, J. B.N. Use of compost and phosphate-solubilizing bacteria affect sugarcane mineral nutrition, phosphorus availability, and the soil bacterial community. **Applied Soil Ecology**, v. 157, n. 103760, p. 1-9, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2020.103760>

GOMES, E.A.; SILVA, U.C.; MARRIEL, I.E.; OLIVEIRA, C. A.; LANA, U.G.P. Rock phosphate solubilizing microorganisms isolated from maize rhizosphere soil. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 13, n.1, p. 69-81, 2014. <http://dx.doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v13n1p69-81>

GYANESHWAR, P.; NARESH KUMAR, G.; PAREKH, L.J. POOLE, P.S Role of soil microorganisms in improving P nutrition of plants. **Plant and Soil**, v. 245, p 83–93, 2002. <https://doi.org/10.1023/A:1020663916259>

HAMDALI, ET AL.; BOUIZGARNE, B.; HAFIDI, M.; LEBRIHI, A.; VIROLLE, M. J.; OUHDOUCH, ET AL. Screening for rock phosphate solubilizing Actinomycetes from Moroccan phosphate mines. *Applied Soil Ecology*, v. 38, n. 1, p. 12-19, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2007.08.007>

IBARRA-GALEANA, J.A.; CASTRO-MARTÍNEZ, C.; FIERRO-CORONADO, R.A. ARMENTA-BOJÓRQUEZ, A.D.; MALDONADO-MENDOZA, I.E. Characterization of phosphate-solubilizing bacteria exhibiting the potential for growth promotion and phosphorus nutrition improvement in maize (*Zea mays* L.) in calcareous soils of Sinaloa, Mexico. **Annals of Microbiology**, v. 67, p. 801–811, 2017. <https://doi.org/10.1007/s13213-017-1308-9>

IPA- Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária. **Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco**. 2a ed. Recife, p. 198, 2008.

JANATI, ET AL.; BENMRID B.; ELHAISSOUFI ET AL.; ZEROUAL ET AL.; NASIELSKI, J.; BARGAZ, A. Will Phosphate Bio-Solubilization Stimulate Biological Nitrogen Fixation in Grain Legumes? **Frontiers in Agronomy**, v. 3, n. 637196, p. 1-12, 2021. <https://ET.al.frontiersin.org/article/10.3389/fagro.2021.637196>

JI, S.ET AL.; KIM, J,S.; LEE, C.ET AL.; SEO, ET AL.S.; CHUN, S.C.; OH, J.; CHOI, E.ET AL.; PARK, G. Enhancement of vitality and activity of a plant growth-promoting bacteria (PGPB) by atmospheric pressure non-thermal plasma. *Scientific Reports*, v 9, n. 1044, p. 1-16. 2019. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-38026-z>

KAUR, G.; REDDY, M. S. Effects of Phosphate-Solubilizing Bacteria, Rock Phosphate and Chemical Fertilizers on Maize-Wheat Cropping Cycle and Economics. **Pedosphere**, v. 25, n. 3, p. 428-437. 2015. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(15\)30010-2](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(15)30010-2)

KHAN, M.S.; ZAIDI, A.; WANI, P.A. Role of phosphate-solubilizing microorganisms in sustainable agriculture — A review. **Agronomy for Sustainable Development**. v. 27, p. 29-43, 2007. <https://doi.org/10.1051/agro:2006011>

KHAN, M.S.; ZAIDI, A.; AHMAD, M.; OVES, M.; WANI, P.A. Plant growth promotion by phosphate solubilizing fungi – current perspective. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 56, n. 1, p. 73-98, 2010. <https://doi.org/10.1080/03650340902806469>

LAZCANO, C., GÓMEZ-BRANDÓN, M., REVILLA, P. DOMÍNGUEZ. J. Short-term effects of organic and inorganic fertilizers on soil microbial community structure and function. **Biology and Fertility of Soils**, v. 49, p. 723–733, 2013. <https://doi.org/10.1007/s00374-012-0761-7>

LOBO, C. B.; JUÁREZ T.; VIRUEL, E. M.S; FERRERO, M. A.; LUCCA, M. E. Development of low-cost formulations of plant growth-promoting bacteria to be used as inoculants in beneficial agricultural technologies. *Microbiological Research*, v. 219, n. 2, p.12-25, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2018.10.012>

NAUTIYAL, C.S. 1999. An efficient microbiological growth medium for screening phosphate solubilizing microorganisms. *FEMS Microbiology Letters*, v. 170, n. 1, p. 265–270, 1999. <https://doi: 10.1111/j.1574-6968.1999.tb13383.x>

NAFIS, A.; RAKLAMI, A.; BECHTAOUI, N.; EL KHALLOUFI, F.; EL ALAOUI, A.; GLICK, B.R.; HAFIDI, M.; KOUISNI, L.; OUHDOUCH, ET AL.; HASSANI, L. Actinobacteria from Extreme Niches in Morocco and Their Plant Growth-Promoting Potentials. **Diversity**, v. 11, n. 139, p. 1-15, 2019. <https://doi.org/10.3390/d11080139>

NGOUNE, T. L.; MUTENGWA, C. S. Estimation of Maize (*Zea mays* L.) Yield Per Harvest Area: Appropriate Methods. **Agronomy**, v. 10, n. 1:29, p. 1-18, 2020. <https://doi.org/10.3390/agronomy10010029>

OTIENO, N.; LALLY R.; KIWANUKA S.; LLOYD A.; RYAN D, GERMAINE, K.; DOWLING, D. Plant growth promotion induced by phosphate solubilizing endophytic *Pseudomonas* isolates. **Frontiers in Microbiology**, v. 6, n. 745, p. 1-9, 2015. <https://ET.al.frontiersin.org/article/10.3389/fmicb.2015.00745>

PEREIRA, S.I.A.; CASTRO, P.M.L. Phosphate-solubilizing rhizobacteria enhance *Zea mays* growth in agricultural P-deficient soils. *Ecological Engineering*, v. 73, p. 526-535, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.09.060>

RADHA, T.K.; DESIRAJU, R.; SREERAMULU, K.R. 2017. Actinobacteria of Arid and Semi-arid Soils: Antagonism to Fungal Pathogens and Plant Growth Promoting Potential. **Journal of Pure and Applied Microbiology**, v.11, n. 2, p.1045-1052, 2017. <http://dx.doi.org/10.22207/JPAM.11.2.47>

RIBEIRO, P. V.; MARRIEL, I. E.; MORAIS, S.S., UBIRACI, G. P. L., MATTOS, B. B.; OLIVEIRA, A. C. Endophytic *Bacillus* strains enhance pearl millet growth and nutrient uptake under low-P. **Brazilian Journal of Microbiology**. v. 49, n. 1, p. 40-46, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.bjm.2018.06.005>

SILVA, U. C.; CUADROS-ORELLANA, S.; SILVA D. R. C.; FREITAS-JÚNIOR, L. F.; FERNANDES A. C.; LEITE L. R., OLIVEIRA C. A.; DOS SANTOS V. L. Genomic and Phenotypic Insights Into the Potential of Rock Phosphate Solubilizing Bacteria to Promote Millet Growth in vivo. **Frontiers in Microbiology**, v. 11, n. 574550, p. 1-17, 2021. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.574550>

SOUMARE, A.; BOUBEKRI, K.; LYAMLOULI, K.; HAFIDI, M.; OUHDOUCH ET AL.; KOUISNI L. From Isolation of Phosphate Solubilizing Microbes to Their Formulation and Use as Biofertilizers: Status and Needs. **Frontiers in Bioengineering and Biotechnology**, v. 7, n. 425. p. 1-13, 2020. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2019.00425>

SOUMARE, A.; BOUBEKRI, K.; LYAMLOULI, K.; HAFIDI, M.; OUHDOUCH, ET AL.; KOUISNI, L. Efficacy of phosphate solubilizing Actinobacteria to improve rock phosphate agronomic effectiveness and plant growth promotion. **Rhizosphere**, v. 17, n. 100284, p. 1-17, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2020.100284>

SOUZA, R. D.; AMBROSINI, A.; PASSAGLIA, L. M. Plant growth-promoting bacteria as inoculants in agricultural soils. *Genetics and molecular biology*, v. 38, n. 4, p. 401-419, 2015. <https://doi.org/10.1590/S1415-475738420150053>

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, ET AL. G. **Manual de métodos de análise do solo**. 3 ed. revista e ampliada. Brasília: EMBRAPA, 2017. 574 p.

VALETTI, L.; IRIARTE, L.; FABRA, A. Growth promotion of rapeseed (*Brassica napus*) associated with the inoculation of phosphate solubilizing bacteria. **Applied Soil Ecology**, v. 132, p. 1-10, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2018.08.017>

WANG, ET AL.; PENG, S.; HUA, Q.; QIU, C.; WU, P.; LIU, X.; LIN, X. The Long-Term Effects of Using Phosphate-Solubilizing Bacteria and Photosynthetic Bacteria as Biofertilizers on Peanut Yield and Soil Bacteria Community. **Frontiers in Microbiology**, v. 12, n. 693535, p 1-14, 2021. <https://ET.al.frontiersin.org/article/10.3389/fmicb.2021.693535>

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.; ROSOLEM C. A.; ANDREOTE, F.D.; OLIVEIRA Jr. A.; COUTINHO, E.L.M.; PAVINATO, P. S. Transitions to sustainable management of phosphorus in Brazilian agriculture. **Scientific Reports**, v. 8, n. 2537, p 1-13, 2018. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-20887-z>

YANG, M.; DING, G.; SHI, L.; XU, F.; MENG, J. Detection of QTL for phosphorus efficiency at vegetative stage in *Brassica napus* . **Plant Soil**, v. 339, n. 1, p. 97–111, 2011. <https://doi.org/10.1007/s11104-010-0516-x>

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como manejo inadequado do solo e as mudanças climáticas justificam o desenvolvimento de novas tecnologias sustentáveis, visando suportar a demanda de alimentos como consequência do aumento da população mundial. Frente a esse cenário, os biofertilizantes são uma alternativa econômica e ambientalmente favorável. O Brasil é o maior produtor de milho da região e o terceiro no mundo, no entanto, o aumento da área cultivada levou a um incremento no uso de fertilizantes, importados em sua maioria.

Apesar do avanço científico na busca de ferramentas biotecnológicas para uma agricultura sustentável ainda são necessários estudos de prospecção de micro-organismos devido à variabilidade de ambientes e solos que apresenta o Brasil. O presente trabalho forneceu conhecimento da diversidade de BSF ao longo dos perfis de Planossolos e Luvisolos do Nordeste Brasileiro elaborando a primeira bacterioteca com mais de 170 estirpes de alto potencial biotecnológico. Além disso, foram avaliados outros mecanismos de promoção do crescimento vegetal das melhores estirpes e provadas na cultura de milho obtendo resultados promissores para o desenvolvimento de um biofertilizante fosfatado

A partir dos resultados obtidos no trabalho as etapas a seguir são :

- a) Identificar geneticamente as BSF selecionadas (PL1A, PL1B, PL2L, PL3J, PL6A, PL18E, LU10E e LU13C);
- b) Avaliar em campo o efeito da inoculação das BSF com diferentes fontes de fósforo em milho e outras culturas como soja e sorgo;
- c) Avaliar a eficiência das BSF em solubilizar outras fontes de fosfato como fosfato de alumínio e ferro;
- d) Determinar os ácidos orgânicos produzidos pelos estirpes avaliados;
- e) Analisar as capacidade das BSF de mineralizar fósforo orgânico mediante a produção de enzimas como fosfatases e fitases;
- f) Avaliar o efeito da inoculação de BSF na formação de micorrizas em plantas de milho.

ANEXOS

ANEXO A Características químicas dos Planossolos e Luvisolos

Tabela 1. Características químicas dos Planossolos

Perfil	Horizonte	Profundidade (cm)	pH (H ₂ O)	P	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	SB	H+Al	T	V	C
				(mg.kg ⁻¹)			(cmolc.dm ⁻³)				(%)	(g.Kg ⁻¹)	
PL1	A	0-10	5,35	10,03	0,46	7,24	7,05	0,1	14,85	4,59	19,44	76	16,61
	AE	10-21	5,65	4,31	0,16	4,17	5,57	0,08	9,98	2,95	12,93	77	6,95
	Bt	21-48	5,95	1,95	0,07	9,28	17,33	1,61	28,29	3,1	31,39	90	5,93
	BCn	48-80	6,5	1,79	0,07	10,4	18,64	2	31,11	2,24	33,35	93	3,99
	Crn/R	80-110+	7,35	3,23	0,08	13,37	23,93	2,75	40,13	2,53	42,66	94	1,85
PL2	A	0-8	6,75	23,96	0,29	4,22	2,4	0,17	7,08	2,3	9,38	75	11,45
	E	10-25	6,7	3,2	0,23	2,92	2,56	0,1	5,81	1,86	7,64	76	4,01
	Btn	26-67	7,25	6,17	0,03	6,55	8,69	3,93	19,2	2,02	21,22	90	2,06
	Crn	67-97+	8,95	76,07	0,06	4,43	5,65	5,34	15,48	1,27	16,75	92	1,34
PL3	Ap	0-10	5,8	174,33	0,29	2,6	0,85	0,05	3,79	2,83	6,62	57	7,38
	A	10-25	5,5	147,32	0,17	3,16	0,72	0,05	4,1	2,57	6,67	61	4,44
	E1	25-39	5,95	162,48	0,16	3,12	1,35	0,07	4,7	2,04	6,74	70	2,8
	E2	39-48	6,35	144,42	0,17	3,11	1,98	0,16	5,42	2,31	7,73	70	2,64
	2Bt	48-65	6,25	140,71	0,42	7,76	9,84	0,98	19	3,46	22,46	85	3,42
	2Btn	65-90	6,45	144,5	0,31	9,7	15,68	1,85	27,54	2,87	30,41	91	3,76
	2Crn	90-115+	6,8	497,11	0,11	6,85	10,85	1,72	19,53	2,53	22,06	89	1,88
PL4	Ap1	0-10	7,3	145,02	0,16	1,22	15,13	0,28	20,65	6,57	27,22	76	11
	Ap2	10-22	7,8	136,09	0,09	0,39	17,63	0,65	24,32	5,14	29,46	83	8,54
	An	22-48	8,3	99,39	0,04	0,63	18,77	2,44	27,26	2,08	29,34	93	7,12
	2Btn1	48-72	8,3	5,6	0,02	0,69	23,92	7,51	37,24	0,18	37,42	100	3,49
	2Btn2	72-105	8,4	4,28	0,04	0,31	24,51	6,72	36,36	0,46	36,82	99	1,84
	2BCn	105-135	8,3	20,19	0,04	0,18	8,21	5,78	20,17	0,36	20,53	98	1,25
	2Crn	135-150+	7,7	287,76	0,05	0,18	20,77	3,08	28,86	0,81	29,67	97	0,65

SB=soma de bases, T= capacidade de troca catiônica potencial, V= saturação por bases. Dados compilados de SANTOS DE SOUSA (2019).

Tabela 2. Características químicas dos Luvissois

Perfil	Horizonte	Prof. (cm)	pH (H ₂ O)	P	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	SB	Al ⁺³	H+Al	T	V	C
				(mg.kg ⁻¹)	(cmolc.dm ⁻³)						%	(g.Kg ⁻¹)		
LU1	A	0-8	6,30	6,50	0,32	7,25	3,55	0,32	11,44	-	2,75	14,19	81	4,75
	Bt	8-30	5,90	2,50	0,13	14,85	10,10	4,36	29,44	-	2,58	32,02	92	4,80
	C	30-42	7,00	6,50	0,12	13,05	9,00	4,25	26,42	-	1,90	28,32	93	4,93
LU2	A	0-9	6,90	18,60	0,52	9,1	5,04	0,11	14,77	-	1,73	16,5	90	22,73
	Bt	9-40	7,20	0,53	0,08	10,07	13,64	1,34	25,13	-	1,49	26,62	94	8,50
	C	40-53	7,20	2,33	0,09	10,59	19,27	2,31	32,26	-	0,91	33,17	97	6,07
LU3	A	0-12	6,20	10,77	0,5	8,99	3,67	0,02	13,18	-	5,78	18,96	70	27,3
	BA	12-25	6,30	1,19	0,13	10,06	8,99	0,19	19,37	-	4,54	23,91	81	9,72
	Bt	25-48	6,50	0,10	0,11	15,33	19,39	0,42	35,25	-	4,62	39,87	88	5,6
	BC	48-70	6,90	47,90	0,08	18,23	21,13	0,73	40,17	-	2,97	43,14	93	4,61
LU4	A	0-10	6,90	29,47	0,84	11,49	3,49	0,04	15,86	-	3,3	19,16	83	27,5
	BA	10-23	7,40	8,74	0,21	12,36	4,37	0,05	16,99	-	3,71	20,7	82	10,5
	Bt	23-47	7,60	1,15	0,1	16,06	3,2	0,09	19,45	-	3,22	22,67	86	5,56
	Cr/C	47-73	7,90	0,58	0,09	19,44	11,44	0,13	31,1	-	2,64	33,74	92	2,21

SB=soma de bases, T= capacidade de troca catiônica potencial, V= saturação por bases. Dados compilados de SILVA (2018) e SANTOS (2019).

ANEXO B

Tabela 3. MEIO NBRIP (Nautiyal, 1999)

Reagente	Quantidade
Glicose	10 g
Ca ₃ (PO ₄) ₂	5 g
MgCl ₂ .6H ₂ O	5 g
MgSO ₄ .7H ₂ O	0,25 g
KCl	0,20 g
(NH ₄) ₂ SO ₄	0,10 g
Ágar	18 g
H ₂ O destilada	1 L
pH=7,0	

ANEXO C

Tabela 4. Caldo de Triptona de Soja (TSB)

Reagente	Quantidade
Triptona	17,0 g
Digestão de soja	3,0 g
Glicose	2,5 g
NaCl	5,0 g
K ₂ HPO ₄	2,5 g
H ₂ O destilada	1 L
pH=7,3 ± 0,2	

ANEXO D

Tabela 5. Tris Mineral Salt (Suleman et al., 2018)

Reagente	Quantidade
Dextrosa	10 g
(NH ₄) ₂ SO ₄	1,0 g
KCl	0,2 g
K ₂ HPO ₄	0,1 g
MgSO ₄	0,2 g
ZnO	14 mM
Ágar	18 g
H ₂ O destilada	1 L
pH=7,0	

ANEXO E**Tabela 6.** Meio para avaliar produção de exopolissacarídeos (GUIMARÃES et al., 1999 com modificações)

Reagente	Quantidade
Extrato de levadura	20 g
K ₂ HPO ₄	15 g
MgSO ₄	0,2 g
MnSO ₄	0,015 g
FeSO ₄	0,015 g
CaCl ₂	0,03 g
NaCl	0,015 g/L
Ágar	15 g

Adicionado 10% sacarose. pH=7,5

APÊNDICE A Características morfofisiológicas e dendrograma de similaridade das bactérias isoladas

Tabela 1. Características morfofisiológicas das bactérias isoladas do perfil 1 de Planossolo, segundo, cor, forma, elevação, borda, superfície, halo, índice de solubilização (IS) e capacidade solubilizadora (CA)

Perfil 1-Planossolo (Serra Talhada, PE)										
Horizonte	Prof.	Isolado	Cor	Forma	Elevação	Borda	Superfície	Halo	IS (mm)	CA
A	0-10 cm	PL1A	Bege	circular	plana	Inteira	lisa	sim	3,50	média
		PL1B	Bege	irregular	lenticular	lobada	lisa	sim	2,20	média
		PL1C	marrom claro	circular	plana	dentada	rugosa	sim	2,20	média
		PL1E	amarelo claro	irregular	lenticular	dentada	rugosa	sim	2,10	média
AE	10-21 cm	PL2A	amarelo	circular	lenticular	Inteira	rugosa	sim	1,80	baixa
		PL2B	branco	irregular	lenticular	ondulada	rugosa	sim	2,30	média
		PL2C	Cinza	irregular	lenticular	dentada	rugosa	sim	2,10	média
		PL2G	Cinza	irregular	umbilicada	dentada	rugosa	sim	2,10	média
		PL2H	Cinza	irregular	lenticular	dentada	rugosa	não	x	x
		PL2L	branco	circular	lenticular	inteira	rugosa	não	x	x
Bt	21-48 cm	PL3C	amarelo	circular	lenticular	inteira	rugosa	não	x	x
		PL 3J	vermelho	irregular	lenticular	dentada	rugosa	não	x	x
		PL3K	branco	circular	lenticular	dentada	lisa	sim	2,50	baixa
		PL3M	branco	circular	plana	inteira	lisa	sim	2,60	média
		PL3P	Bege	irregular	plana	ondulada	lisa	sim	2,20	média
BCn	48-80 cm	PL4C	branco	irregular	umbilicada	ondulada	rugosa	sim	2,10	média
		PL4D	vermelho	circular	umbilicada	dentada	rugosa	sim	2,3	média
		PL4G	Cinza	filamentosa	umbilicada	filamentosa	papilada	sim	2,22	média
Cm/R	80-110+ cm	PL5B	marrom	circular	lenticular	inteira	rugosa	sim	2,50	baixa
		PL5C	Bege	circular	umbilicada	inteira	rugosa	sim	2,25	média
		PL5D	Bege	irregular	lenticular	dentada	lisa	sim	2,50	média
		PL 5F	branco	circular	lenticular	dentada	rugosa	não	x	x
		PL5G	marrom/ alaranjado	circular	umbilicada	inteira	rugosa	sim	2,10	média

Tabela 2. Características morfofisiológicas das bactérias isoladas do perfil 2 de Planossolo, segundo, cor, forma, elevação, borda, superfície, halo, índice de solubilização (IS) e capacidade solubilizadora (CA)

Perfil 2- Planossolo (Belem de São Francisco, PE)										
Horizonte	Prof.	Isolado	Cor	Forma	Elevação	Borda	Superfície	Halo	IS (mm)	CA
A	0-8 cm	PL6A	Branco	irregular	plana	Ondulada	rugosa	sim	2,70	média
		PL6B	Cinza	circular	lenticular	Ondulada	rugosa	não	x	x
		PL6C	Amarelo	circular	lenticular	Dentada	rugosa	não	x	x
		PL6E	Marrom	circular	lenticular	Inteira	rugosa	sim	2,40	média
E	8-26 cm	PL7A	Marrom	circular	lenticular	Inteira	rugosa	sim	2,30	média
		PL7B	rosa	circular	lenticular	Inteira	rugosa	sim	2,70	média
		PL7D	Branco	circular	plana	Dentada	lisa	sim	2,30	média
		PL7F	Beige	circular	lenticular	Dentada	lisa	sim	2,75	média
Btn	26-67 cm	PL8A	Laranja	circular	lenticular	Inteira	rugosa	não	x	x
		PL8B	Bege	circular	plana	Inteira	rugosa	sim	2,20	Média
		PL8C	Branco	circular	plana	Dentada	lisa	sim	2,20	média
		PL8D	Branco	circular	plana	Inteira	lisa	sim	2,50	média
Crn	67-96+ cm	PL9A	Laranja	circular	lenticular	Inteira	rugosa	não	x	x
		PL9B	Branco	irregular	plana	Ondulada	lisa	sim	2,50	média
		PL9C	Branco	circular	lenticular	Inteira	lisa	sim	1,0	baixa
		PL9D	Cinza	circular	lenticular	Filamentosa	rugosa	sim	2,1	média

Tabela 3. Características morfofisiológicas das bactérias isoladas do perfil 3 de Planossolo, segundo, cor, forma, elevação, borda, superfície, halo, índice de solubilização (IS) e capacidade solubilizadora (CA)

Perfil 3- Planossolo (Lagoa do Ouro, PE)										
Horizonte	Prof.	Isolado	Cor	Forma	Elevação	Borda	Superfície	Halo	IS (mm)	CA
Ap	0-10 cm	PL10A	marrom	circular	lenticular	inteira	rugosa	sim	2,5	média
		PL10C	branco	circular	plana	dentada	lisa	sim	2,1	média
		PL10D	vermelho	circular	lenticular	inteira	rugosa	não	x	x
		PL10E	bege	circular	plana	dentada	lisa	não	x	x
A	10-25 cm	PL11A	vermelho	circular	lenticular	inteira	rugosa	não	x	x
		PL11B	bege	circular	plana	dentada	lisa	sim	2,2	média
		PL11D	marrom	circular	lenticular	dentada	rugosa	não	x	x
E1	25-39 cm	PL12B	branco	circular	lenticular	inteira	lisa	sim	3	média
		PL12C	branco	irregular	plana	dentada	lisa	sim	2,3	média
		PL12E	branco	circular	lenticular	inteira	rugosa	sim	2,1	média
E2	39-48 cm	PL13A	branco	circular	lenticular	inteira	lisa	não	x	x
		PL13B	marrom	circular	lenticular	inteira	rugosa	sim	2,2	média
		PL13C	bege	circular	lenticular	ondulada	rugosa	sim	2,3	média
		PL13D	branco	circular	lenticular	inteira	lisa	sim	2,1	média
2Bt	48-65 cm	PL14A	bege	circular	plana	dentada	rugosa	sim	2,1	média
		PL14B	marrom	circular	plana	dentada	rugosa	sim	2,5	média
		PL14C	amarelo	circular	lenticular	dentada	rugosa	sim	2,1	média
		PL14D	bege	circular	plana	dentada	lisa	sim	2,2	média
2Btn	65-90 cm	PL15A	marrom	circular	plana	dentada	rugosa	sim	2,5	média
		PL15B	branco	circular	plana	ondulada	rugosa	sim	2,2	média
		PL15C	laranja	circular	lenticular	filamentosa	rugosa	sim	2,1	média
		PL15F	bege	circular	plana	ondulada	rugosa	não	x	x
2Cm	90-115+ cm	PL16A	marrom	circular	plana	dentada	rugosa	sim	2,2	média
		PL16B	laranja	circular	plana	dentada	rugosa	não	x	x
		PL16C	branco	circular	lenticular	inteira	rugosa	não	x	x
		PL16D	bege	circular	plana	ondulada	rugosa	não	x	x

Tabela 4. Características morfofisiológicas das bactérias isoladas do perfil 4 de Planossolo, segundo, cor, forma, elevação, borda, superfície, halo, índice de solubilização (IS) e capacidade solubilizadora (CA)

Perfil 4- Planossolo (Camutanga, PE)										
Horizonte	Prof.	Isolado	Cor	Forma	Elevação	Borda	Superfície	Halo	IS (mm)	CA
Ap1	0-10cm	PL17A	branco	circular	lenticular	inteira	lisa	sim	2,5	média
		PL17B	vermelho	circular	plana	inteira	lisa	sim	2	média
		PL17C	branco	circular	lenticular	dentada	lisa	não	x	x
		PL17D	branco	circular	plana	dentada	lisa	sim	2,5	média
		PL17E	bege	circular	plana	ondulada	rugosa	sim	2,3	média
		PL17F	cinza	circular	lenticular	filamentosa	rugosa	não	x	x
Ap2	10-22cm	PL18A	cinza	circular	lenticular	filamentosa	rugosa	não	x	x
		PL18B	bege	circular	lenticular	inteira	lisa	sim	2,5	média
		PL18C	marrom claro	circular	lenticular	filamentosa	rugosa	não	x	x
		PL18D	marrom	circular	plana	inteira	rugosa	não	x	x
		PL18E	branco	circular	plana	inteira	lisa	não	x	x
		PL18F	beige	circular	plana	inteira	lisa	sim	3,5	média
An	22-48cm	PL19A	vermelho	circular	lenticular	filamentosa	rugosa	sim	2,7	média
		PL19B	rosa	circular	plana	filamentosa	lisa	não	x	x
		PL19C	branco	circular	plana	inteira	lisa	não	x	x
		PL19D	branco	circular	plana	inteira	lisa	sim	2,3	média
		PL19E	marrom	circular	lenticular	ondulada	rugosa	sim	2,25	média
		PL19F	branco	circular	lenticular	inteira	lisa	sim	2,5	média
2Btn1	48-72cm	PL20A	beige	circular	plana	inteira	lisa	não	x	x
		PL20B	amarelo	circular	lenticular	filamentosa	rugosa	sim	2,5	média
		PL20C	branco	circular	plana	inteira	lisa	sim	2,3	média
		PL20D	cinza	circular	plana	lobada	rugosa	sim	2,75	média
2Btn2	72-105cm	PL21A	marrom claro	circular	lenticular	inteira	lisa	não	x	x
		PL21B	laranja	circular	lenticular	inteira	lisa	não	x	x
2BCn	105-135cm	PL22A	amarelo	circular	plana	ondulada	rugosa	sim	2,13	média
		PL22B	cinza	circular	lenticular	filamentosa	rugosa	não	x	x
		PL22C	beige	circular	lenticular	dentada	rugosa	não	x	x
2Cm	135-150+	PL23A	bege	circular	lenticular	inteira	lisa	não	x	x
		PL23B	cinza	circular	lenticular	filamentosa	rugosa	não	x	x
		PL23C	cinza	circular	lenticular	filamentosa	rugosa	sim	2,25	média
		PL23D	branco	circular	lenticular	inteira	lisa	não	x	x

Tabela 5. Características morfofisiológicas das bactérias isoladas do perfil 1 de Luvissole, segundo, cor, forma, elevação, borda, superfície, halo, índice de solubilização (IS) e capacidade solubilizadora (CA)

Perfil 1-Luvissole (Itacuruba, PE)										
Horizonte	Prof.	Isolado	Cor	Forma	Elevação	Borda	Superfície	Halo	IS (mm)	CA
A	0-8 cm	LU1A	Marrom	circular	plana	filamentosa	rugosa	sim	2,3	média
		LU1B	Bege	circular	lenticular	inteira	rugosa	sim	2,5	média
		LU1C	Marrom	circular	plana	filamentosa	rugosa	não	x	x
		LU1D	Marrom	circular	plana	filamentosa	rugosa	sim	3	média
		LU1E	Branco	circular	lenticular	filamentosa	rugosa	não	x	x
		LU1G	Rosa	circular	plana	inteira	lisa	não	x	x
Bt	8-30 cm	LU2A	Bege	circular	lenticular	dentada	lisa	sim	2,2	média
		LU2B	Bege	circular	plana	filamentosa	rugosa	sim	2,6	média
		LU2C	Bege	circular	lenticular	dentada	lisa	não	x	x
		LU2D	Branco	circular	plana	inteira	lisa	não	x	x
		LU2E	Branco	circular	plana	filamentosa	rugosa	sim	2,3	média
		LU2F	Marrom	circular	plana	filamentosa	rugosa	sim	2,3	média
		LU2G	Marrom	circular	plana	inteira	rugosa	não	x	x
C	30-42 cm	LU3A	Marrom	circular	plana	filamentosa	rugosa	sim	2,1	média
		LU3B	Branco	circular	plana	inteira	lisa	sim	2,2	média
		LU3C	Marrom	circular	plana	filamentosa	rugosa	sim	2,3	média
		LU3D	Marrom	circular	plana	dentada	rugosa	sim	2,25	média
		LU3E	Marrom	circular	lenticular	filamentosa	rugosa	sim	2,2	média
		LU3F	Rosa	circular	plana	filamentosa	rugosa	sim	2,2	média

Tabela 6. Características morfofisiológicas das bactérias isoladas do perfil 2 de Luvissole, segundo, cor, forma, elevação, borda, superfície, halo, índice de solubilização (IS) e capacidade solubilizadora (CA)

Perfil 2-Luvissole (Itacuruba, PE)										
Horizonte	Prof.	Isolado	Cor	Forma	Elevação	Borda	Superfície	Halo	IS (mm)	CA
A	0-9 cm	LU5A	Cinza	circular	lenticular	filamentosa	rugosa	não	x	x
		LU5B	Bege	circular	lenticular	dentada	rugosa	não	x	x
		LU5C	Branco	circular	plana	inteira	lisa	não	x	x
		LU5D	Marrom	circular	lenticular	filamentosa	rugosa	não	x	x
		LU5E	Mostarda	circular	plana	dentada	rugosa	sim	2,3	média
		LU6A	Branco	circular	plana	inteira	rugosa	sim	2,5	média
Bt	9-40 cm	LU6B	Branco	circular	plana	dentada	rugosa	sim	2,15	média
		LU6C	Mostarda	circular	plana	filamentosa	rugosa	não	x	x
		LU6D	Amarela	circular	lenticular	filamentosa	rugosa	não	x	x
C	40-53 cm	LU7A	Branco	circular	lenticular	dentada	rugosa	não	x	x
		LU7B	Amarelo	circular	plana	dentada	rugosa	sim	2,3	média
		LU7D	Bege	circular	papilada	ondulada	rugosa	sim	2,25	média
Cr1	53-66 cm	LU7F	marrom clara	circular	plana	inteira	rugosa	sim	2,33	média
Cr2	66-80+ cm	LU7G	marrom clara	circular	plana	inteira	rugosa	sim	2,33	média

Tabela 7. Características morfofisiológicas das bactérias isoladas do perfil 3 de Luvissole, segundo, cor, forma, elevação, borda, superfície, halo, índice de solubilização (IS) e capacidade solubilizadora (CA)

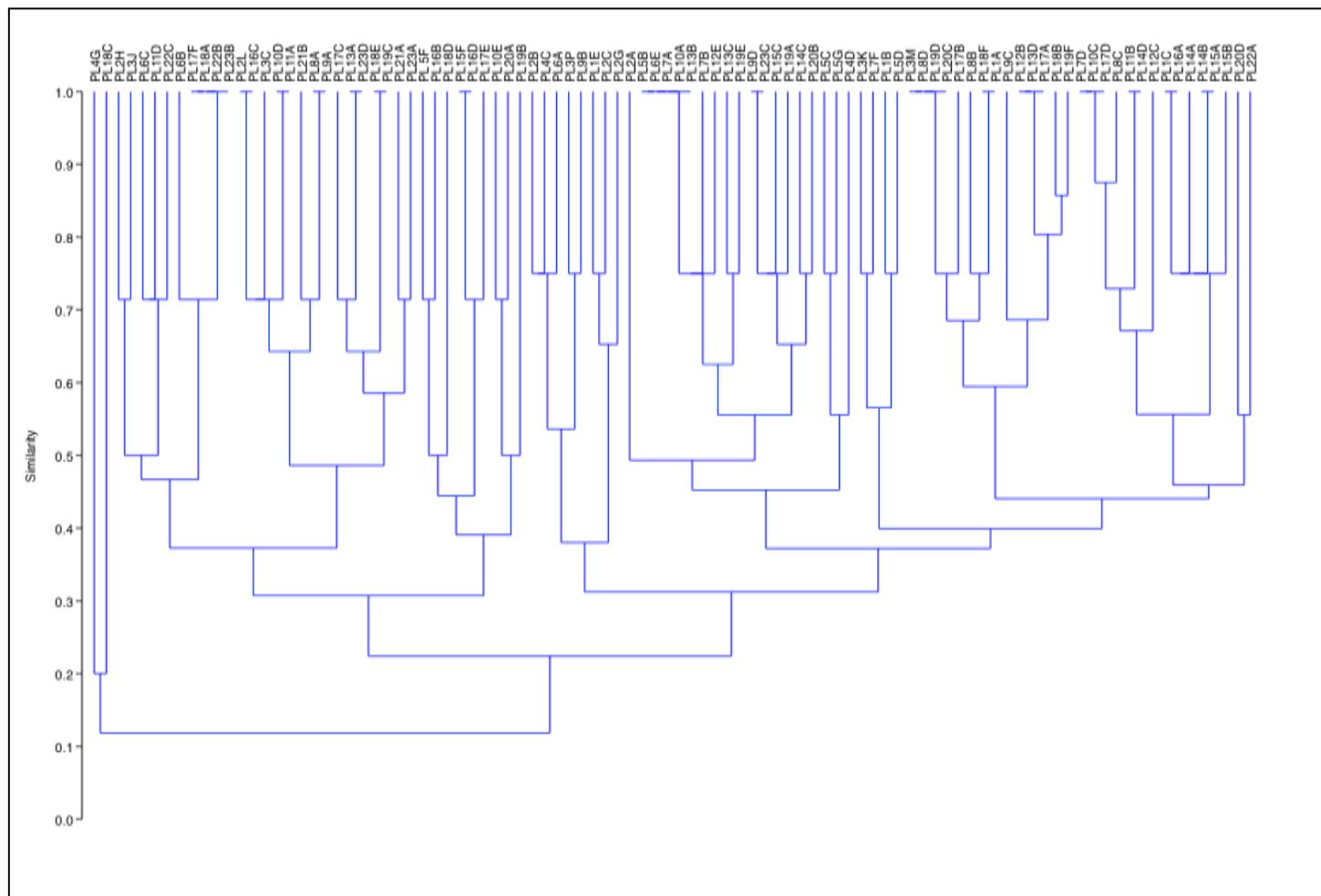
Perfil 3-Luvissole (Serra Talhada, PE)										
Horizonte	Prof.	Isolado	Cor	Forma	Elevação	Borda	Superfície	Halo	IS (mm)	CA
A	0-12 cm	LU8A	branco e cinza	circular	lenticular	dentada	rugosa	sim	2,5	média
		LU8B	bege e cinza	circular	lenticular	inteira	rugosa	não	x	x
		LU8C	Laranja	circular	lenticular	filamentosa	rugosa	não	x	x
		LU8D	branco	circular	plana	dentada	lisa	não	x	x
		LU8E	branco	circular	lenticular	inteira	rugosa	sim	2,66	média
BA	12-25 cm	LU9A	Laranja	circular	plana	filamentosa	rugosa	não	x	x
		LU9B	Bege	circular	plana	dentada	rugosa	sim	2,5	média
		LU9C	branco	circular	plana	inteira	rugosa	sim	2,5	média
		LU9D	branco	circular	plana	inteira	lisa	não	x	x
		LU9E	marrom	circular	lenticular	filamentosa	rugosa	não	x	x
		LU9F	branco	circular	plana	filamentosa	rugosa	não	x	x
Bt	25-48 cm	LU10A	branco	circular	plana	ondulada	rugosa	sim	3	média
		LU10B	marrom e amarelo	circular	lenticular	dentada	rugosa	sim	2,3	média
		LU10C	branco	circular	lenticular	dentada	lisa	não	x	x
		LU10D	branco	circular	lenticular	inteira	rugosa	sim	3	média
		LU10E	Bege	circular	lenticular	ondulada	lisa	sim	2,2	média
BC	48-70 cm	LU11A	branco	circular	lenticular	inteira	rugosa	sim	2	média
		LU11B	marrom	circular	lenticular	filamentosa	rugosa	não	x	x
		LU11C	amarelo	circular	lenticular	filamentosa	rugosa	não	x	x
		LU11D	marrom	circular	lenticular	filamentosa	rugosa	não	x	x
		LU11E	branco	circular	lenticular	filamentosa	rugosa	não	x	x
		LU11F	branco	circular	plana	inteira	lisa	não	x	x
Cr	70-120+ cm	LU12E	Branco	irregular	lenticular	dentada	rugosa	sim	2,7	média

Tabela 8. Características morfofisiológicas das bactérias isoladas do perfil 4 de Luvissole, segundo, cor, forma, elevação, borda, superfície, halo, índice de solubilização (IS) e capacidade solubilizadora (CA)

Perfil 4- Luvissole (Afogados de Ingazeira, PE)										
Horizonte	Prof.	Isolado	Cor	Forma	Elevação	Borda	Superfície	Halo	SI (mm)	CA
A	0-10 cm	LU13A	Vermelho	circular	plana	inteira	rugosa	não	x	x
		LU13B	branco	circular	lenticular	filamentosa	rugosa	não	x	x
		LU13C	bege	circular	papilada	filamentosa	rugosa	sim	2,16	média
		LU13E	cinza e amarelo	circular	lenticular	filamentosa	rugosa	não	x	x
BA	10-23 cm	LU14A	laranja	circular	plana	dentada	rugosa	sim	2,25	média
		LU14C	cinza	circular	lenticular	dentada	rugosa	não	x	x
		LU14E	bege	circular	lenticular	dentada	lisa	sim	2,125	média
Br	23-43 cm	LU15B	bege	circular	lenticular	dentada	lisa	sim	2,25	média
Cr/C	43-73 cm	LU16A	marrom	circular	lenticular	inteira	rugosa	sim	2,5	média
		LU16B	cinza	circular	lenticular	dentada	rugosa	sim	2,5	média
		LU16C	bege	circular	lenticular	filamentosa	rugosa	não	x	x
		LU16E	amarelo	circular	lenticular	inteira	rugosa	não	x	x
		LU16G	amarelo	circular	lenticular	dentada	rugosa	não	x	x
Cr	73-105+ cm	LU17A	bege	circular	plana	inteira	lisa	sim	2,3	média
		LU17B	cinza	circular	lenticular	filamentosa	rugosa	não	x	x
		LU17C	bege	circular	plana	inteira	lisa	sim	2,3	média
		LU17D	bege	circular	plana	inteira	lisa	sim	2,11	média
		LU17E	amarelo	circular	lenticular	filamentosa	rugosa	sim	2,25	média

DENDROGRAMA

Dendrograma de Similaridade dos isolados de Planossolos



Dendrograma de Similaridade dos isolados de Luvisolos

