

EFEITO DE BACTÉRIAS SOLUBILIZADORAS DE FÓSFORO E BIOCHAR NO DESENVOLVIMENTO INICIAL DA SOJA (*GLYCINE MAX* L.) SOB CONDIÇÕES DE ESTRESSE ABIÓTICO

Cristiane Aparecida de Sales¹, Euclésio Simionatto², Cintia Granzotti da Silva Scudeler^{1,2}

¹Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Naviraí, Brasil
(crissales1@hotmail.com)

Resumo: O estudo avaliou o efeito de *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium*, associadas ou não ao biochar, no desenvolvimento inicial da soja em solo arenoso sob estresse abiótico. Foram analisados biomassa radicular, nodulação, vagens, atributos do solo e nutrição foliar. Embora sem diferenças estatísticas, a inoculação promoveu respostas biológicas positivas, indicando potencial para aumentar a eficiência do uso do fósforo e favorecer uma agricultura mais sustentável.

Palavras-chave: Biochar; bactérias solubilizadoras de fósforo; estresse abiótico; eficiência do uso do fósforo.

INTRODUÇÃO

A crescente demanda mundial por alimentos, associada à necessidade de reduzir os impactos ambientais decorrentes do uso intensivo de fertilizantes minerais, tem impulsionado o desenvolvimento de estratégias capazes de aumentar a eficiência da utilização dos nutrientes na agricultura. Entre os macronutrientes essenciais ao crescimento vegetal, o fósforo (P) destaca-se como um dos principais fatores limitantes da produtividade agrícola, especialmente em regiões tropicais, onde grande parte desse elemento permanece adsorvida aos óxidos de ferro e alumínio, tornando-se pouco disponível para absorção pelas plantas (Novais; Smyth; Nunes, 2007; Richardson et al., 2011).

Além da baixa disponibilidade nos solos altamente intemperizados, o fósforo é obtido a partir de reservas minerais não renováveis, concentradas em poucos países, o que reforça a necessidade de tecnologias capazes de aumentar a eficiência do seu aproveitamento e reduzir a dependência da adubação fosfatada convencional. Nesse contexto, a utilização de bioinsumos tem recebido crescente atenção por representar uma alternativa compatível com os princípios da agricultura sustentável, favorecendo a disponibilidade de nutrientes e reduzindo os impactos ambientais associados ao uso excessivo de fertilizantes químicos (Rodríguez; Fraga, 1999; Richardson et al., 2011).

No Brasil, a soja (*Glycine max* L.) ocupa posição de destaque entre as principais culturas agrícolas, desempenhando papel estratégico na produção de alimentos, óleo vegetal, ração animal e biocombustíveis. Entretanto, o elevado potencial produtivo dessa cultura depende da adequada disponibilidade de fósforo, nutriente essencial para processos fisiológicos como transferência de energia, síntese de ATP, divisão celular, desenvolvimento radicular, nodulação e fixação biológica de nitrogênio. Em áreas cultivadas sobre Latossolos altamente intemperizados, predominantes no Cerrado brasileiro, a baixa eficiência da adubação fosfatada constitui um dos principais fatores limitantes à produtividade (Conab, 2024; Novais; Smyth; Nunes, 2007).

Entre as alternativas para aumentar a disponibilidade de fósforo no solo destacam-se as bactérias solubilizadoras de fósforo (BSFs), capazes de converter formas insolúveis desse nutriente em compostos assimiláveis pelas plantas por meio da produção de ácidos orgânicos, fosfatases e outros metabólitos que modificam o ambiente da rizosfera. Além da solubilização do fósforo, espécies do gênero *Bacillus*, como *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium*, apresentam múltiplos mecanismos de promoção do crescimento vegetal, incluindo produção de fitormônios, síntese de sideróforos, estímulo ao crescimento radicular e aumento da eficiência nutricional das plantas (Rodríguez; Fraga, 1999; Backer et al., 2018).

Outra tecnologia promissora consiste na utilização do biochar, material carbonáceo obtido pela pirólise de resíduos vegetais sob baixa disponibilidade de oxigênio. Devido à sua elevada estabilidade, alta porosidade e ampla área superficial, o biochar promove melhorias nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, aumentando a retenção de água, a capacidade de troca catiônica e a disponibilidade de nutrientes, além de favorecer o estabelecimento de comunidades microbianas benéficas na rizosfera (Lehmann; Joseph, 2015; Agegnehu et al., 2016). Dessa forma, a associação entre biochar e bactérias solubilizadoras de fósforo apresenta potencial para aumentar a eficiência do uso do fósforo e contribuir para sistemas agrícolas mais resilientes e sustentáveis.

Embora diversos estudos demonstrem os efeitos positivos das bactérias solubilizadoras de fósforo e do biochar quando utilizados isoladamente, ainda são limitadas as pesquisas que avaliam a interação dessas tecnologias em condições de estresse abiótico, especialmente em solos arenosos característicos de importantes regiões produtoras de soja do Cerrado brasileiro. Nessas condições, fatores como déficit hídrico, elevadas temperaturas e baixa capacidade de retenção de água podem comprometer simultaneamente o metabolismo vegetal e a atividade microbiana, influenciando a eficiência dos bioinsumos e justificando a necessidade de estudos que reproduzam cenários representativos da agricultura tropical (França et al., 2022; Lehmann; Joseph, 2015).

Partiu-se da hipótese de que a inoculação com *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium*, isoladas ou associadas ao biochar produzido a partir do bagaço de cana-de-açúcar, favorece o desenvolvimento inicial da soja ao aumentar a eficiência da utilização do fósforo e minimizar os efeitos das condições de estresse abiótico.

Dessa forma, o presente estudo teve como objetivo avaliar os efeitos da inoculação de *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium*, associadas ou não ao biochar, sobre o desenvolvimento inicial da soja cultivada em solo arenoso sob condições de estresse abiótico, analisando parâmetros de crescimento vegetal, nodulação, produção de vagens, estado nutricional das plantas e alterações nos atributos químicos do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido entre dezembro de 2023 e março de 2024 na Fazenda Santa Rosa, lote 22, localizada no município de Naviraí, estado de Mato Grosso do Sul, Brasil, sob as coordenadas geográficas 22,991815° S e 54,129094° W. A área experimental apresenta histórico de cultivo agrícola contínuo e foi selecionada por representar condições

edafoclimáticas características da região sul do estado de Mato Grosso do Sul, predominando solo classificado como Latossolo Vermelho Distrófico de textura arenosa.

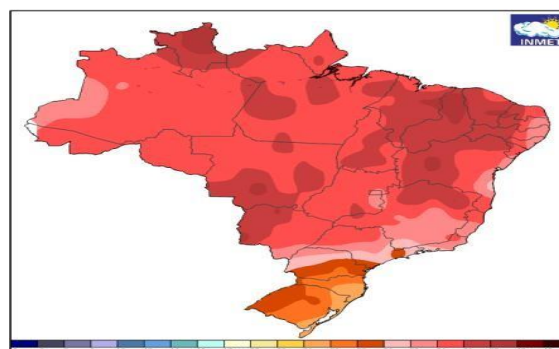
Figura 1: Localização da área experimental



Fonte: Aplicativo da fazenda Santa Rosa, 2025.
Localização da área experimental na Fazenda Santa Rosa, município de Naviraí, Mato Grosso do Sul.

Durante o período experimental, a região foi submetida a elevadas temperaturas e baixos índices de umidade relativa do ar, caracterizando condições de estresse abiótico que influenciaram o desenvolvimento da cultura da soja. Essas condições ambientais permitiram avaliar o desempenho dos tratamentos em um cenário representativo das limitações frequentemente observadas em sistemas agrícolas do Cerrado brasileiro.

Figura 2: Temperaturas máximas registradas na região Centro-Oeste do Brasil entre dezembro de 2023 e março de 2024, com destaque para o estado de Mato Grosso do Sul, evidenciando condições de calor intenso e baixa umidade relativa do ar durante o período do experimento.



Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, 2024

Antes da instalação do experimento, foram coletadas amostras de solo na camada de 0–20 cm, conforme metodologia preconizada pela EMBRAPA (2017). As amostras foram homogeneizadas e encaminhadas ao Laboratório Alacon, localizado no município de Naviraí-MS, para determinação dos atributos

químicos e físicos do solo, fornecendo a caracterização inicial da área experimental e subsidiando a interpretação dos efeitos dos tratamentos sobre a cultura da soja.

O biochar utilizado foi produzido a partir de bagaço de cana-de-açúcar proveniente de usina localizada no município de Naviraí-MS. Inicialmente, a biomassa foi lavada com água destilada para remoção de impurezas, seca ao ar por 48 horas e posteriormente triturada para padronização da granulometria. Em seguida, o material foi submetido à pirólise em atmosfera com baixa disponibilidade de oxigênio, utilizando reator tubular de bancada do Laboratório de Pesquisa em Oxidação (LAPOEX/UEMS), com aquecimento até 900 °C e permanência nessa temperatura por 60 minutos.

Pesquisa realizada no laboratório (LAPOEX), na unidade da UEMS/Naviraí.

Figura 3:

- a) Bagaço da cana-de-açúcar de produção
b) Equipamento de Biochar
c) Biochar



Fonte: Autoria Própria, 2023.

As bactérias solubilizadoras de fósforo utilizadas foram *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium*. A qualidade microbiológica das suspensões foi previamente avaliada por meio da técnica de plaqueamento em meio sólido, permitindo verificar a pureza das culturas e sua capacidade de solubilização de fósforo. As sementes de soja foram inoculadas com suspensão contendo aproximadamente 4×10^9 células viáveis mL^{-1} , utilizando a proporção de 100 mL de inoculante para 50 kg de sementes.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, constituído por quatro tratamentos com quatro repetições: testemunha (T), sem aplicação de biochar e inoculante; inoculação com *B. subtilis* e *B. megaterium* (M); aplicação exclusiva de biochar (B); e associação entre biochar e bactérias solubilizadoras

de fósforo (MB). O experimento foi conduzido em vasos contendo aproximadamente 4 kg de solo. A semeadura foi realizada com cinco sementes por vaso, a aproximadamente 3 cm de profundidade, sendo posteriormente efetuado o desbaste para uma planta por unidade experimental. Durante todo o cultivo, a irrigação foi realizada manualmente, de acordo com a necessidade hídrica da cultura.

Figura 4: Ambiente experimental coberto com sombrite, onde foram conduzidos os tratamentos com soja em vasos



Fonte: Autoria Própria, 2023.

Ao final do experimento, foram avaliadas a biomassa seca das raízes, o número de nódulos, o número de vagens por planta, os atributos químicos do solo antes e após o cultivo e a composição nutricional foliar. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA), utilizando o software Biostat versão 5.3, adotando-se nível de significância de 5%.

As metodologias utilizadas no trabalho para atingir os objetivos propostos deverão ser explicadas sucintamente.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O experimento foi conduzido sob condições edafoclimáticas naturalmente limitantes ao desenvolvimento da cultura da soja, caracterizadas pelo cultivo em solo arenoso, reduzida capacidade de retenção de água e nutrientes, elevadas temperaturas e ocorrência de déficit hídrico durante o ciclo experimental. Essas condições representam um cenário frequente nas áreas agrícolas do Cerrado brasileiro, onde a baixa disponibilidade hídrica e a elevada adsorção de fósforo pelos óxidos de ferro e alumínio comprometem a eficiência da adubação fosfatada e restringem o desenvolvimento das plantas (Novais; Smyth; Nunes, 2007; Richardson et al., 2011).

Mesmo diante dessas limitações, a inoculação com *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium*, isoladas ou associadas ao biochar, promoveu respostas biológicas positivas no desenvolvimento inicial da soja. Embora a análise estatística não tenha evidenciado diferenças significativas entre os tratamentos ($p > 0,05$), observou-se tendência consistente de incremento na biomassa radicular, no número de nódulos e na formação de vagens, especialmente nas plantas submetidas ao tratamento contendo bactérias

solubilizadoras de fósforo. Em experimentos conduzidos sob condições de estresse abiótico, respostas dessa natureza possuem elevada relevância agrônômica, uma vez que a variabilidade ambiental tende a reduzir a sensibilidade dos testes estatísticos sem, necessariamente, impedir a manifestação de respostas fisiológicas importantes.

Figura 5: Valores absolutos e os percentuais de variação da biomassa seca da raiz, nódulos e vagens.

Tratamento	Biomassa seca da raiz (g)	Variação (%)	Nº de nódulos	Variação (%)	Nº de vagens	Variação (%)
T	4,726	-	137	-	56	-
M	15,713	+232,41%	440	+221,17%	79	+41,07%
B	9,335	+97,45%	306	+123,36%	69	+23,21%
MB	5,693	+20,45%	287	+109,49%	62	+10,71%

Legenda T= Testemunha M= Bactérias solubilizadoras de fósforo (BSF) B= Biochar MB= Biochar + BSF.

Fonte: Autoria Própria, 2023.

O maior desenvolvimento do sistema radicular observado nas plantas inoculadas indica maior capacidade de exploração do solo, favorecendo a absorção de água e nutrientes em um ambiente caracterizado por reduzida disponibilidade hídrica. Esse comportamento pode ser atribuído aos múltiplos mecanismos de promoção do crescimento vegetal exercidos por espécies do gênero *Bacillus*, incluindo a produção de fitormônios, a solubilização de fosfatos pouco disponíveis e o estímulo ao desenvolvimento radicular, mecanismos amplamente descritos por Rodríguez e Fraga (1999), Richardson et al. (2011) e Backer et al. (2018).

O incremento observado na nodulação reforça essa interpretação. Embora *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium* não sejam bactérias fixadoras de nitrogênio, a melhoria das condições da rizosfera proporcionada por esses microrganismos provavelmente favoreceu o estabelecimento da simbiose entre a soja e os rizóbios naturalmente presentes no solo. Consequentemente, verificou-se maior desenvolvimento vegetativo e tendência de aumento na formação de vagens, sugerindo que os efeitos promovidos pelos bioinsumos durante o crescimento inicial da cultura foram mantidos ao longo do desenvolvimento reprodutivo. Resultados semelhantes foram descritos por Backer et al. (2018) e Oliveira-Paiva et al. (2024), que relatam melhorias na aquisição de nutrientes e no desenvolvimento vegetal decorrentes da inoculação com espécies do gênero *Bacillus*.

As respostas observadas no crescimento das plantas foram acompanhadas por alterações nos atributos químicos do solo, indicando que os efeitos dos bioinsumos não se restringiram ao ambiente radicular, mas influenciaram também a dinâmica dos nutrientes no solo. Após o cultivo, verificou-se aumento do pH, da saturação por bases e da

disponibilidade de fósforo, além da redução da acidez potencial, evidenciando melhoria da fertilidade química do solo. Embora o incremento do fósforo disponível tenha sido discreto, foi suficiente para manter esse nutriente em níveis adequados ao desenvolvimento da soja, condição considerada agronomicamente favorável (Novais; Smyth; Nunes, 2007).

Tabela 1: Antes do cultivo

Fósforo

Parâmetro	Valor
Fósforo (P)	76,77 mg/dm ³
Fósforo Remanescente	51,80 mg/dm ³
Nível Crítico de Fósforo	25,75 mg/dm ³
Fósforo Relativo (%)	298,14%

Fonte: Autoria Própria, 2024.

Tabela 2: Pós cultivo

Fósforo

Parâmetro	Valor
Fósforo (P)	53,30 mg/dm ³
Fósforo Remanescente	53,99 mg/dm ³
Nível Crítico de Fósforo	26,83 mg/dm ³
Fósforo Relativo (%)	198,61%

Fonte: Autoria Própria, 2024.

Esses resultados sugerem que a atuação das bactérias solubilizadoras de fósforo, associada às propriedades físico-químicas do biochar, favoreceu a manutenção da disponibilidade desse nutriente durante o ciclo da cultura. O biochar apresenta elevada estabilidade, ampla área superficial e alta capacidade de troca catiônica, características que contribuem para a retenção de nutrientes, redução das perdas por lixiviação e formação de microambientes favoráveis ao estabelecimento de comunidades microbianas benéficas (Lehmann; Joseph, 2015; Agegnehu et al., 2016).

Resultados semelhantes foram relatados por Bai et al. (2024), que observaram aumento da disponibilidade de fósforo e melhoria do desenvolvimento vegetal após a aplicação conjunta de biochar e bactérias solubilizadoras de fósforo, reforçando o potencial dessa associação para otimizar a eficiência nutricional das culturas. No presente estudo, embora a associação entre biochar e bactérias não tenha apresentado desempenho superior ao tratamento contendo apenas as bactérias solubilizadoras de fósforo, verificaram-se melhorias nos atributos químicos do solo, indicando que essa interação permanece promissora e deve ser investigada em diferentes condições edafoclimáticas.

As alterações observadas no ambiente edáfico refletiram diretamente no estado nutricional das plantas. A análise foliar evidenciou incremento nos teores de nitrogênio e potássio nos tratamentos contendo bactérias solubilizadoras de fósforo e biochar, enquanto os teores de fósforo permaneceram relativamente estáveis entre os tratamentos. A manutenção de concentrações semelhantes desse nutriente, mesmo diante do maior desenvolvimento vegetativo observado nas plantas inoculadas, sugere aumento da eficiência de utilização do fósforo, indicando que o nutriente absorvido foi rapidamente direcionado para processos metabólicos relacionados ao crescimento e ao desenvolvimento da cultura (Richardson et al., 2011).

Tabela 3: Análise Foliar na cultura de soja.

Propriedade	T	MB	M	B
Macronutrientes (g/Kg)				
N	33,86	37,02	38,2	39,8
P	3,17	2,98	3,4	3,0
K	18,36	23,11	20,2	22,5
Ca	12,25	9,44	11,1	9,0
Mg	4,08	3,77	4,1	3,5
S	1,83	2,41	2,51	2,24

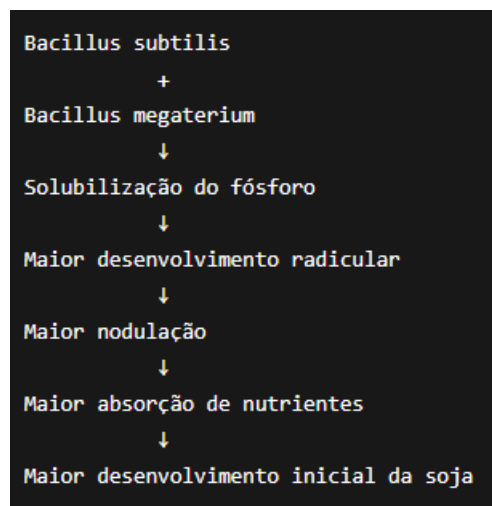
Fonte: Autoria Própria, 2024.

O aumento dos teores de nitrogênio provavelmente decorre do maior desenvolvimento radicular e do incremento da nodulação observados nas plantas inoculadas, enquanto os maiores teores de potássio podem ser atribuídos à maior retenção desse nutriente no solo proporcionada pelo biochar. Em contrapartida, a redução da concentração foliar de cálcio nas plantas com maior produção de biomassa pode ser explicada pelo efeito de diluição, fenômeno frequentemente observado em culturas que apresentam crescimento vegetativo mais intenso, sem que isso represente deficiência nutricional (TAIZ et al., 2017).

Em conjunto, os resultados obtidos evidenciam que os bioinsumos promoveram respostas fisiológicas e agrônomicas consistentes, mesmo sob condições ambientais desfavoráveis. O maior desenvolvimento radicular, o incremento da nodulação, a melhoria dos atributos químicos do solo e a maior eficiência nutricional observados neste estudo reforçam o potencial da utilização de bactérias solubilizadoras de fósforo como estratégia para aumentar a eficiência do uso do fósforo e contribuir para sistemas agrícolas mais sustentáveis. Embora a associação entre biochar e bactérias não tenha apresentado efeito superior ao tratamento com inoculação bacteriana isolada, os

resultados indicam que essa interação permanece promissora e merece ser investigada em diferentes condições de solo, clima e manejo agrícola.

Figura 6: Resumo do mecanismo.



Fonte: Autoria Própria, 2024.

CONCLUSÃO

Os resultados obtidos demonstraram que a inoculação com *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium* promoveu respostas biológicas favoráveis ao desenvolvimento inicial da soja cultivada em solo arenoso sob condições de estresse abiótico. Embora não tenham sido observadas diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos, verificaram-se tendências consistentes de incremento na biomassa radicular, na nodulação, na formação de vagens e na eficiência nutricional das plantas, evidenciando o potencial das bactérias solubilizadoras de fósforo como bioinsumos para a cultura da soja.

A aplicação do biochar também contribuiu para melhorias nos atributos químicos do solo, favorecendo condições mais adequadas ao desenvolvimento vegetal. Entretanto, a associação entre biochar e bactérias solubilizadoras de fósforo não apresentou efeito superior ao tratamento com inoculação bacteriana isolada nas condições experimentais avaliadas, indicando que essa interação pode ser influenciada por fatores como as características do solo, as propriedades do biochar e as condições ambientais durante o cultivo.

Os resultados reforçam que a avaliação de bioinsumos deve considerar não apenas a significância estatística, mas também a relevância agrônoma das respostas biológicas observadas, especialmente em experimentos conduzidos sob condições naturais de estresse abiótico. Nesse contexto, a utilização de bactérias solubilizadoras de fósforo representa uma estratégia promissora para aumentar a eficiência do uso do fósforo, reduzir a dependência de fertilizantes minerais e contribuir para sistemas agrícolas mais sustentáveis.



Por fim, recomenda-se a realização de novos estudos em condições de campo, envolvendo diferentes tipos de solo, doses de biochar e estirpes bacterianas, a fim de ampliar o conhecimento sobre a interação entre esses bioinsumos e sua aplicação em sistemas de produção de soja em regiões tropicais.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS), por meio da Bolsa PIBAP (Programa Institucional de Bolsas aos Alunos de Pós-Graduação), e da Fundação de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul (Fundect), cujo suporte financeiro foi fundamental para a execução desta pesquisa e contribuiu significativamente para meu desenvolvimento acadêmico e profissional.

Ao Sr. Gervasio Kamitani, expresso minha sincera gratidão pela parceria estabelecida e pela disponibilização da Fazenda Santa Rosa para a realização do experimento. Sua confiança, receptividade e colaboração foram essenciais para a concretização desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

AGEGNEHU, G.; BASS, A. M.; NELSON, P. N.; BIRD, M. I. Benefits of biochar, compost and biochar-compost for soil quality, maize yield and greenhouse gas emissions in a tropical agricultural soil. *Science of the Total Environment*, Amsterdam, v. 543, p. 295-306, 2016.

BACKER, R. et al. Plant growth-promoting rhizobacteria: context, mechanisms of action, and roadmap to commercialization of biostimulants for sustainable agriculture. *Frontiers in Plant Science*, Lausanne, v. 9, art. 1473, 2018.

BAI, K.; WANG, W.; ZHANG, J.; YAO, P.; CAI, C.; XIE, Z.; LUO, L.; LI, T.; WANG, Z. Effects of phosphorus-solubilizing bacteria and biochar application on phosphorus availability and tomato growth under phosphorus stress. *BMC Biology*, London, v. 22, art. 211, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12915-024-02011-y>.

BRASIL. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos: safra 2023/2024**. Brasília, DF: CONAB, 2024.

CABRERA, J. C. et al. Global research trends on phosphate-solubilizing microorganisms: a bibliometric review. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, Santiago, v. 24, n. 1, p. 1-18, 2024.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2017.

FRANÇA, A. C. et al. Biochar as a carrier of phosphate-solubilizing microorganisms: advances and challenges for sustainable agriculture. *Research,*

Society and Development, Vargem Grande Paulista, v. 11, n. 5, 2022.

GLASER, B.; LEHMANN, J.; ZECH, W. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal – a review. *Biology and Fertility of Soils*, Berlin, v. 35, p. 219-230, 2002.

JAHNEL, M. C.; CARDOSO, E. J. B. N.; DIAS, C. T. S. Determinação do número mais provável de microrganismos solubilizadores de fosfato em solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, DF, v. 34, n. 11, p. 2067-2076, 1999.

KALAYU, G. Phosphate solubilizing microorganisms: promising approach as biofertilizers. *International Journal of Agronomy*, Cairo, v. 2019, Article ID 4917256, 2019.

KHAN, M. S.; ZAIDI, A.; WANI, P. A. Role of phosphate-solubilizing microorganisms in sustainable agriculture: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, Paris, v. 27, n. 1, p. 29-43, 2007.

LEHMANN, J.; JOSEPH, S. (ed.). **Biochar for Environmental Management: Science, Technology and Implementation**. 2. ed. London: Routledge, 2015.

MARDAD, I. et al. Solubilization of inorganic phosphate and production of organic acids by bacteria isolated from phosphate deposits. *African Journal of Microbiology Research*, Lagos, v. 7, n. 8, p. 626-635, 2013.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J.; NUNES, F. N. Fósforo. In: NOVAIS, R. F. et al. (ed.). **Fertilidade do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 471-550.

OLIVEIRA-PAIVA, C. A. et al. Inoculation with *Bacillus megaterium* CNPMS B119 and *Bacillus subtilis* CNPMS B2084 improves phosphorus acquisition and maize yield in Brazil. *Frontiers in Microbiology*, Lausanne, v. 15, 2024.

RICHARDSON, A. E.; LYNCH, J. P.; RYAN, P. R.; DELHAIZE, E.; SMITH, F. A.; SMITH, S. E.; HARVEY, P. R.; RYAN, M. H.; VENEKLAAS, E. J.; LAMBERS, H.; OBERSON, A.; CULVENOR, R. A.; SIMPSON, R. J. Plant and microbial strategies to improve the phosphorus efficiency of agriculture. *Plant and Soil*, Dordrecht, v. 349, p. 121-156, 2011.

RODRÍGUEZ, H.; FRAGA, R. Phosphate-solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. *Biotechnology Advances*, Oxford, v. 17, n. 4-5, p. 319-339, 1999.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.