

Sete Lagoas, MG / Dezembro, 2024

Inoculantes solubilizadores de fosfato Impactos preliminares da nova fronteira dos bioinoculantes no Brasil



**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Milho e Sorgo
Ministério da Agricultura e Pecuária**

ISSN1518-4277 / e-ISSN 0000-0000

Documentos 282

Dezembro, 2024

Inoculantes solubilizadores de fosfato Impactos preliminares da nova fronteira dos bioinoculantes no Brasil

*Rubens Augusto de Miranda
Christiane Abreu de Oliveira Paiva
Ivanildo Evódio Marriel*

Embrapa Milho e Sorgo
Sete Lagoas, MG
2024

Embrapa Milho e Sorgo
Rodovia MG - 424, Km 65
Caixa Postal 151
35701-098 Sete Lagoas, MG
<https://www.embrapa.br/milho-e-sorgo>
<https://www.embrapa.br/fale-conosco/sac>

Comitê Local de Publicações

Presidente

Maria Marta Pastina

Secretário-executivo

Antônio Carlos de Oliveira

Membros

*Cláudia Teixeira Guimarães, Mônica
Matoso Campanha, Roberto dos Santos
Trindade e Maria Cristina Dias Paes*

Edição executiva

Márcio Augusto Pereira do Nascimento

Revisão de texto

Antonio Claudio da Silva Barros

Normalização bibliográfica

Rosângela Lacerda de Castro (CRB-6/2749)

Projeto gráfico

Leandro Sousa Fazio

Diagramação

Márcio Augusto Pereira do Nascimento

Foto da capa

Christiane Abreu de Oliveira Paiva

Publicação digital: PDF

Todos os direitos reservados

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Miranda, Rubens Augusto de.

Inoculantes solubilizadores de fosfato: impactos preliminares da nova fronteira dos bioinoculantes no Brasil / Rubens Augusto de Miranda, Christiane Abreu de Oliveira Paiva, Ivanildo Evódio Marriel. – Sete Lagoas : Embrapa Milho e Sorgo, 2024.
PDF (13 p.) : il. color. – (Documentos / Embrapa Milho e Sorgo, ISSN 1518-4277; 282).

1. Inoculante. 2. Solubilização. 3. Fósforo. I. Paiva, Christiane Abreu de Oliveira. II. Marriel, Ivanildo Evódio. III. Título. IV. Série.

CDD (21. ed.) 631.46

Rosângela Lacerda de Castro (CRB-6/2749)

©2024 Embrapa

Autores

Rubens Augusto de Miranda

Economista, doutor em Administração,
pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo,
Sete Lagoas, MG

Ivanildo Evódio Marriel

Engenheira-agrônomo, doutor em
Agronomia, pesquisador da Embrapa Milho
e Sorgo, Sete Lagoas, MG

Christiane Abreu de Oliveira Paiva

Engenheira-agrônoma, doutora em
Interação Planta-Microrganismos,
pesquisadora da Embrapa Milho e Sorgo,
Sete Lagoas, MG

Apresentação

Ao longo das últimas décadas, a agricultura brasileira passou por transformações que elevaram o Brasil à condição de potência agrícola mundial. Nessa trajetória, os bioinsumos estão intrinsecamente atrelados ao sucesso da agricultura brasileira, com destaque para a inoculação da soja com bactérias do gênero *Bradyrhizobium* para a fixação biológica de nitrogênio (FBN). A inoculação das lavouras de soja com essas bactérias foi fundamental para o crescimento da cultura da oleaginosa no País. Nos últimos anos, o setor de bioinsumos passou a apresentar taxas de crescimento extraordinárias e vem ganhando ainda mais protagonismo no agronegócio brasileiro, adquirindo relevância entre as principais culturas agrícolas do País, e não apenas na soja. Recentemente, emergiu um

novo nicho no mercado de inoculantes, referente à solubilização de fosfato presente no solo para o aumento da aquisição de fósforo (P) pelas plantas. A partir do primeiro produto comercial, lançado em 2019, desenvolvido em parceria entre a Embrapa e a empresa Bioma, o mercado desses inoculantes cresceu exponencialmente, alcançando milhões de hectares de lavouras. O objetivo do presente trabalho é apresentar os resultados preliminares referentes ao impacto econômico da adoção dessa inovação tecnológica desenvolvida pela Embrapa. Tais resultados apontam para benefícios econômicos aos produtores, alcançando bilhões de reais anuais, indicando que a solução tecnológica pode deixar um legado à agricultura brasileira, assim como a FBN fez anteriormente

Frederico Ozanan Machado Durães
Chefe-Geral da Embrapa Milho e Sorgo

Sumário

Introdução	6
Inoculante solubilizador de fosfato	8
Avaliação de impacto econômico	9
Considerações finais	11
Referências	12

Introdução

Ao longo das últimas décadas, a agricultura brasileira passou por transformações que elevaram o País à condição de potência agrícola mundial. O status do Brasil perante duas das principais commodities agrícolas, soja (*Glycine max*) e milho (*Zea mays*), ilustra essas mudanças. Entre 1999/2000 e 2022/2023, a produção de soja quase quintuplicou, passando de 32,3 milhões de toneladas para 154,6 milhões de toneladas. No mesmo período, a produção de milho também mais que quadruplicou, passando de 31,6 milhões de toneladas para 131,9 milhões de toneladas.

O crescimento da produção dessas culturas impactou as vendas externas, e o Brasil passou ser o maior exportador mundial em ambos os casos, com números comparativos emblemáticos. Segundo dados do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (Estados Unidos, 2001, 2024a, 2024b), em 1999/2000, o Brasil exportou menos da metade do volume embarcado da soja dos Estados Unidos, foram 11,16 milhões

de toneladas contra 26,49 milhões de toneladas dos norte-americanos. Em 2022/2023, a situação se inverteu, o Brasil exportou 95,5 milhões de toneladas contra 54,21 milhões de toneladas dos Estados Unidos. Em relação ao milho, a situação do cereal brasileiro no mercado mundial passou de total insignificância (dados do Sistema Integrado de Comércio Exterior apontam para apenas 21 t, exportadas no ano 2000) para líder mundial em 2022/2023¹.

Concomitantemente ao aumento da produção brasileira de grãos, a demanda por insumos também explodiu no Brasil, com destaque para os fertilizantes. A soja e o milho são os principais consumidores de fertilizantes no País, com respectivamente 45,4 e 20,3% do total nacional projetado para 2024 (Globalfert, 2024).

O *Outlook* da Globalfert 2024 divulgou que o Brasil respondeu por 10% do consumo global de fertilizantes, ficando atrás apenas da China, da Índia e dos Estados Unidos. A Figura 1 apresenta a posição global de consumo de cada um desses países frente aos três principais macronutrientes (nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K)).













	N	P	K
1º	 China	 China	 China
2º	 Índia	 Índia	 Brasil
3º	 EUA	 Brasil	 EUA
4º	 Brasil	 EUA	 Índia

Figura 1. Maiores países consumidores de fertilizantes.

Fonte: Globalfertz (2024)

Em contrapartida ao grande volume de fertilizantes consumidos, o Brasil produz apenas uma pequena parcela da sua necessidade. Segundo os dados da Associação Nacional para Difusão de Adubos (2024), em 2023, foram entregues no

mercado nacional 45,8 milhões de toneladas de fertilizantes, sendo que desse montante 39,4 milhões (86% do total) foram importados. Esses números dimensionam a situação delicada de dependência externa por fertilizantes da agricultura brasileira.

⁽¹⁾ A frustração da safra nos Estados Unidos contribuiu para esse cenário.

A Figura 2 apresenta as porcentagens de dependência externa dos principais macronutrientes (N, P e K), em 2018, com os fertilizantes nitrogenados representando 35% do volume total, os fertilizantes fosfatados representando 23% e o cloreto de potássio respondendo por 42%.

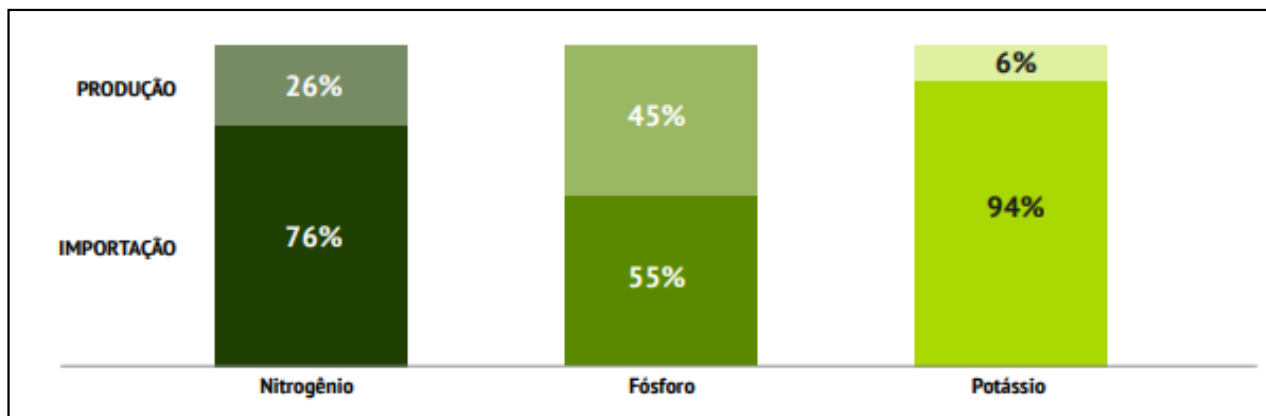


Figura 2. A dependência externa por fertilizantes – 2018.

Fonte: Almeida e Volotão(2020).

Foi no contexto de uma longa história de dependência externa em relação aos fertilizantes que prosperou no País o uso de bioinoculantes para amenizar esse estrangulamento. A trajetória de sucesso da fixação biológica de nitrogênio (FBN) no Brasil foi construída a partir do entrelaçamento do seu desenvolvimento ao melhoramento da soja, desde os primeiros programas que surgiram na década de 1960. Desde então, ambas as soluções tecnológicas, cultivares de soja e inoculantes para FBN, cresceram de forma gradativa, ano após ano, superando todas as barreiras. Especificamente em relação aos inoculantes, segundo a Associação Nacional dos Produtores e Importadores de Inoculantes (2017), a produção no Brasil teve início na cidade de Pelotas, RS, em 1956, mas foi somente na década de 1970 que fábricas do insumo foram construídas em outros estados, em decorrência da expansão da soja pelo País.

Apesar de remontar à década de 1950, a falta de dados históricos dificulta uma análise acurada da evolução do mercado de inoculantes no Brasil. A escassez de informações decorre de fato de que o setor só passou a se organizar de forma mais estruturada com a criação da Associação Nacional dos Produtores e Importadores de Inoculantes (ANPII), em julho de 1990, constituindo-se atualmente na principal fonte de dados do setor.

Segundo estatísticas da Associação Nacional dos Produtores e Importadores de Inoculantes (2024), as

suas empresas associadas entregaram no território nacional 141,1 milhões de doses de inoculantes biológicos em 2023. Esse montante representa um crescimento de 599% em relação a 2009, ano de início da série histórica, quando foram entregues 20,2 milhões de doses ao mercado. Somente a cultura da soja respondeu por 89,4% das doses vendidas em 2023, com destaque para a inoculação do *Bradyrhizobium* em 85% da área plantada, na safra 2022/2023, e para a coinoculação com *Azospirillum* em 35% da área plantada da respectiva safra.

A Figura 3 apresenta a evolução do número de doses de inoculantes biológicos entregues no mercado entre 2009 e 2023, assim como o número de empresas vinculadas à ANPII no decorrer do período (que seria uma *proxy* do número de empresas do setor). A estruturação do setor levou a uma maior adesão de empresas à ANPII. Somente o crescimento de empresas associadas em 2023 foi de 33,33% em relação ao ano anterior, chegando a 16. Contudo, cabe ressaltar que os dados se referem predominantemente às bactérias fixadoras de nitrogênio (como *Bradyrhizobium* e *Azospirillum*), não englobando aquelas direcionadas à solubilização de fósforo, que já possuem números expressivos.

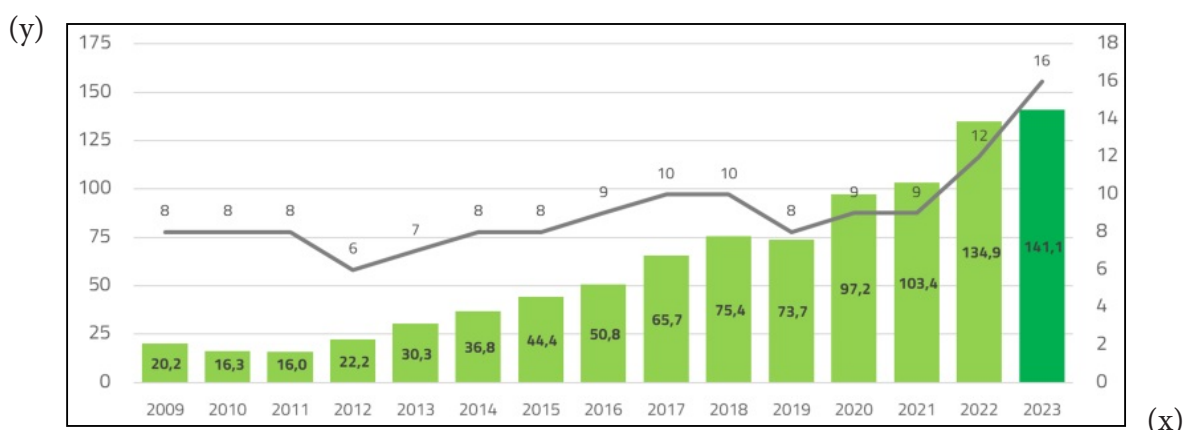


Figura 3. Doses de inoculantes biológicos entregues no Brasil pelas empresas associadas à ANPII (milhões) e número de empresas ANPII Bio, 2009 a 2023.

Fonte: Associação Nacional dos Produtores e Importadores de Inoculantes (2024)

Historicamente, o mercado de inoculantes biológicos é centrado na fixação biológica de nitrogênio, mas o primeiro inoculante solubilizador de fosfato², lançado oficialmente em 2019, vem abrindo novos horizontes. Diferentemente da fixação biológica de nitrogênio, que converte o nitrogênio atmosférico em uma forma que possa ser utilizada pelas plantas, a solubilização de fosfato transforma o fósforo insolúvel depositado no solo em formas solúveis e acessíveis para as plantas. Assim, enquanto a FBN se utiliza da abundância do nutriente na atmosfera, a solubilização do fósforo utiliza o acúmulo do nutriente no solo.

Zhou et al. (1992) argumentam que apenas 0,1% do fósforo total do solo, de forma geral, está prontamente disponível para absorção imediata pelas plantas, de forma solúvel. Em decorrência disso, o P precisa ser suplementado na maioria dos solos agrícolas, pela adição de fertilizantes químicos sintéticos. Como resultado desse processo, Pavinato et al. (2020) estimam que uma grande proporção do fósforo incorporado ao solo, pela aplicação de fertilizantes, e não removido pelas culturas agrícolas (mais de 70%), permanece no solo em formas não disponíveis para as plantas. Whitters et al. (2018) também chegaram a resultados similares, revelando que quase metade da quantidade de fósforo aplicada na agricultura, em forma de fertilizante inorgânico, nas últimas cinco décadas, continua no solo. Segundo os autores, o acúmulo desse fósforo no

solo constituiria reserva superior a US\$ 40 bilhões, em termos de valores monetários.

Izydorczyk et al. (2022) apresentam uma abordagem alternativa do uso de microrganismos solubilizadores de fósforo para a obtenção do nutriente, além daquele presente no solo de forma insolúvel. Os autores propõem o uso desses microrganismos no gerenciamento de resíduos biológicos, tais como lodo de esgoto (e as cinzas de incineração desse lodo), esterco e ossos de animais. É ressaltado que esse tipo de ativo tecnológico pode desempenhar, no âmbito de uma economia circular³, um papel fundamental no desenvolvimento sustentável da agricultura.

Inoculante solubilizador de fosfato

Os inoculantes em questão promovem a solubilização de fosfatos presentes no solo, aumentando a aquisição do fósforo, o que proporciona um acréscimo de produtividade da cultura e permite, em alguns casos, uma redução da dose de adubação fosfatada a ser utilizada. Em 2019, foi lançado o primeiro produto comercial, denominado de BiomaPhos, desenvolvido pela empresa Bioma Indústria, Comércio e Distribuição

² O fosfato são íons (sais de fósforo compostos por um átomo de fósforo e quatro de oxigênio) contendo fósforo mais comumente encontrados na natureza.

³ Conceito baseado no reaproveitamento inteligente dos recursos durante o processo produtivo.

Ltda., a partir de tecnologia da Embrapa, de cepas selecionadas de *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium* e de know-how associado a elas. Os resultados da ampla rede de ensaios para validação do produto, com avaliações em mais de 600 localidades no Brasil, indicaram incrementos de produtividade na ordem de 9,4% para a cultura do milho e de 7,5% para a cultura da soja. Dado que essa solução tecnológica não substituiu alguma outra, foi criado um novo segmento de mercado de inoculantes.

O BiomaPhos teve um lançamento bem-sucedido para uma tecnologia nova. Dentre as razões, podem-se destacar os resultados agrícolas visíveis e o preço acessível. Posteriormente, outras marcas de inoculantes solubilizadores de fosfato desenvolvidos na parceria da Embrapa Milho e Sorgo com o Grupo Simbiose/Bioma (como SolubPhos, Omsugo P e Omsugo ECO) chegaram para consolidar o crescimento do novo segmento de mercado.

O produto foi inicialmente registrado para a cultura do milho, mas os ótimos resultados de experimentos e análises de validação positivas do BiomaPhos para a soja, a cana-de-açúcar e o feijão levaram à ampliação do registro dele para essas culturas. Adicionalmente, o produto também vem obtendo registros no exterior, com destaque para os Estados Unidos e o Paraguai. As evidências positivas na soja, assim como o registro posterior para a cultura, foram fundamentais para o salto de adoção da solução tecnológica.

A partir de informações de doses vendidas dos produtos para as culturas do milho e da soja⁴, a área de adoção da solução tecnológica na safra 2018/2019 foi de 228.280 hectares no primeiro ano de adoção, e chegando a 339.610 hectares no ano seguinte, na safra 2019/2020. A confirmação da eficiência do produto em nível comercial nos dois primeiros anos resultou no grande sucesso na safra 2020/2021, quando alcançou a marca de 2.450.150 hectares. Em 2021/2022, a área de adoção voltou a crescer, chegando a 2.766.310 hectares. A adoção alcançou um novo recorde em 2022/2023, com quase 3.978.580 hectares de área plantada com os inoculantes nessa safra.

Cruz et al. (2024) realizaram um amplo levantamento bibliográfico em bases de dados, como o *Scientific Electronic Library Online* (SCIELO), Periódico Capes, *PubMed*, *ScienceDirect*, da Elsevier, e (SCOPUS), abarcando o período entre

⁴ O registro dos produtos para a cultura da soja permitiu o levantamento desagregado da adoção da solução tecnológica entre as culturas do milho e da soja, a partir da safra 2021/2022.

2008 e 2023, referente à ação de microrganismos solubilizadores de fósforo, principalmente na cultura da soja. A busca inicial por palavras-chave indicou 790 publicações, mas, após filtragem (com leituras de resumos e trabalhos completos), chegou-se ao número de 77 publicações. Nenhum dos trabalhos selecionados faz algum estudo de análise econômica dos inoculantes solubilizadores de fósforo.

Nesse sentido, o trabalho de Izydorczyk et al. (2022) não pode ser considerado uma exceção, pois apenas discute a importância dos microrganismos solubilizadores de fósforo no âmbito da economia circular, mas sem fazer avaliação econômica alguma com dados. A falta de trabalhos abordando aspectos econômicos de inoculantes solubilizadores de fosfato se deve ao fato de que a tecnologia ainda possui uma trajetória lançamento e difusão muito recente, resultando na escassez de dados mercadológicos.

O presente trabalho tem por objetivo contribuir com a discussão, fazendo uma avaliação do impacto econômico do inoculante solubilizador de fosfato desenvolvido pela Embrapa Milho e Sorgo, junto com empresas parceiras, nos seus primeiros 5 anos de adoção.

Avaliação de impacto econômico

Para avaliar o impacto econômico do inoculante solubilizador de fosfato, adotou-se o método do excedente econômico⁵ do adotante da solução tecnológica, utilizado pela Embrapa (Ávila et al., 2008) como referência nas avaliações das soluções tecnológicas desenvolvidas pela Empresa. A abordagem da Embrapa adota a hipótese de perfeita inelasticidade da oferta⁶ agregada do produto agrícola e perfeita elasticidade do lado da demanda⁷, o que simplifica a estimativa do excedente econômico a partir da mensuração direta

⁵ É o benefício extra que consumidores e fornecedores obtêm numa transação.

⁶ Independentemente da variação do preço, a quantidade ofertada permanece inalterada.

⁷ Situação hipotética na qual a curva de demanda é horizontal, e, caso o preço caia, a demanda sobe para o infinito. Apesar de não acontecer na vida real, situações próximas ocorrem em mercados altamente competitivos.

do benefício gerado para o adotante, assim como os custos, pela adoção da solução tecnológica em comparação com situação alternativa/anterior de solução tradicional.

A estimativa dos benefícios ao adotante é feita comparando-se a nova tecnologia com a tecnologia anteriormente em uso ou “tradicional” a partir de algum indicador, como ganho de produtividade ou redução de custos. No caso dos inoculantes

Tabela 1. Ganho médio (%), amplitude do ganho (%), ganho médio (saca(sc)/ha), amplitude de ganho (sc/ha), do inoculante BiomaPhos nas culturas de milho e soja, em experimentos conduzidos nas safras 2018/2019 e 2019/2020, em diferentes estados do Brasil.

UF	N. ⁽¹⁾	Ganho médio (%)	Amplitude ganho (%)	Ganho médio (sc/há ⁽²⁾)	Amplitude ganho (sc/ha)
Milho					
BA	1	7,8	7,8-7,8	8,2	8,2-8,2
GO	5	7,3	3,6-13,0	10,3	5,3-18,7
MG	9	10	5,1-22,4	17,4	8,2-33,0
MS	2	11,3	10,6-12,0	11,3	11,0-11,6
MT	1	17,6	17,6-17,6	14,2	14,2-14,2
PR	8	8	1,4-17,2	10,9	2,8-14,9
RS	11	10	1,8-29,4	9,1	3,1-19,7
Brasil	37	9,4 ⁽³⁾	1,4-29,4	11,9	2,8-33,0
Soja					
GO	26	10	1,6-13,2	4,5	1,1-9,0
MS	14	4,7	1,5-8,8	2,9	1,0-5,2
MT	48	5,4	0,3-14,7	3,5	0,2-9,2
MG	31	6,3	0,1-18,5	4,4	0,1-11,5
PR	55	7,5	1,2-16,7	5,3	1,1-11,1
RS	5	5,5	3,7-8,9	3,5	2,4-5,5
SC	2	2,8	2,2-3,4	2,2	2,2-2,2
Brasil	181	6,8 ⁽³⁾	0,3-18,5	4,3	0,1-11,5

Fonte: Oliveira-Paiva et al. (2020). ⁽¹⁾ Número de pontos avaliados em áreas de lavoura comercial de 20 hectares. ⁽²⁾ Saca de 60 kg ⁽³⁾ Média ponderada.

Tabela 2. Ganho médio de produtividade (%), amplitude do ganho (%), ganho médio (saca(sc)/ha), amplitude de ganho (sc/ha) do inoculante BiomaPhos na cultura soja, em experimentos conduzidos na safra 2020/2021, em diferentes estados.

UF	N. ⁽¹⁾	Ganho médio (%)	Amplitude ganho (%)	Ganho médio (sc/há ⁽²⁾)	Amplitude ganho (sc/ha)
BA	30	9,9	2,9-25,8	4,8	1,3-12,9
GO	47	9	2,7-22,0	4,8	1,5-11,4
MS	42	5,6	1,4-14,7	4,7	1,2-12,8
MT	51	10,8	2,8-41,2	5	1,1-12,9
PA	13	9,1	3,4-18,2	5,3	2,0-10,6
PR	75	7,5	1,5-24,8	4,8	1,0-15,8
RS	104	6,5	1,4-21,0	4,6	1,0-14,9
SC	26	6,1	1,3-16,2	4,7	1,0-12,8
SP	21	8,6	1,5-21,7	4,7	1,0-14,4
Brasil	415	7,8 ⁽³⁾	1,3-25,8	4,8	1,0-15,8

Fonte: Oliveira-Paiva et al. (2024) ⁽¹⁾ Número de pontos avaliados em áreas de lavoura comercial de 20 hectares. ⁽²⁾ Saca de 60 kg. ⁽³⁾ Média ponderada.

avaliados, o seu uso pode proporcionar um ganho de produtividade de grãos⁸.

O uso do inoculante solubilizador de fosfato é capaz de aumentar a eficiência de uso do nutriente pelas plantas, podendo incorrer em altos ganhos de produtividade. Nesse sentido, o benefício ao produtor é mensurado pelo ganho de produtividade monetizado pelo preço dos grãos. Os preços nominais das médias anuais dos grãos foram atualizados para o presente pelo índice de inflação do Índice Geral de Preços/Disponibilidade Interna (IGP/DI). As Tabelas 1 e 2 apresentam os resultados observados de ganhos de produtividade na ampla rede de experimentos e ensaios para validar o produto

comercial BiomaPhos para as culturas da soja e do milho, em estados de referência na produção dos referidos grãos. A média ponderada dos ganhos de produtividade do milho foi de 9,4%, enquanto a da soja, considerando as Tabelas 1 e 2, foi 7,5%.

As Tabelas 3 e 4 apresentam informações da mensuração do benefício econômico estimado do uso de inoculantes solubilizadores de P nas culturas do milho e da soja. As “produtividades anteriores” do milho e da soja, apresentadas nas Tabelas 3 e 4, consistem na média das produtividades (Séries Históricas das Safras, 2024) das culturas nas Unidades da Federação, enquanto a “produtividade atual” incorpora o ganho de produtividade esperado

Tabela 3. Benefícios econômicos na cultura do milho por incremento de produtividade, de 2018/2019 a 2022/2023.

Ano	Produtividade e anterior (kg/há) (A)	Produtividade e atual (kg/há) (B)	Preço unitário (R\$/kg) (C)	Custo adicional (R\$/há) (D)	Ganho unitário (R\$/há) E=[(B-A)xC]-D	Área de adoção (há) (H)	Benefício econômico (R\$) I=(GxH)
2019	6.137,67	6.715,77	0,75	103	330,58	228.280	75.464.030,29
2020	5.618,77	6.148,00	1,14	153,04	450,28	339.610	152.919.251,48
2021	4.583,60	5.015,33	1,58	87,05	595,08	2.450.750	1.458.383.479,35
2022	5.540,67	6.062,54	1,3	71,29	607,14	717.050	435.351.795,25
2023	6.403,33	7.006,45	1,01	75,44	533,72	805.284	429.792.516,85

Tabela 4. Benefícios econômicos na cultura da soja por incremento de produtividade, 2021/2022 e 2022/2023.

Ano	Produtividade anterior (kg/há) (A)	Produtividade atual (kg/há) (B)	Preço unitário (R\$/kg) (C)	Custo adicional (R\$/há) (D)	Ganho unitário (R\$/há) E=[(B-A)xC]-D	Área de adoção (há) (H)	Benefício econômico (R\$) I=(GxH)
2022	3.775	4.058,31	2,91	71,29	753,14	2.049.260	1.543.387.264,74
2023	4.356	4.682,91	2,13	75,44	620,89	3.173.296	1.970.258.395,55

com o uso do inoculante, mensurado pela aplicação do ganho médio apresentado nas Tabelas 1 e 2 à “produtividade anterior”. O “preço unitário” é a cotação do respectivo grão em quilo e o “custo adicional” é o desembolso com doses do inoculante por hectare. Cabe ressaltar que em relação aos números da área de adoção, as informações até 2021 pertencem oficialmente ao milho, pois até então o registro do primeiro produto (BiomaPhos) era apenas para essa cultura. Entretanto, se entende que na prática os solubilizadores de fosfato já eram adotados de forma ampla, pelos produtores, a cultura da soja. Considerando que na ocasião ainda não havia o registro para a cultura da soja e,

consequentemente, dados desagregados, a área total foi avaliada como sendo de milho. Assim, os números da cultura do milho até 2021 podem estar superestimados em detrimento da soja.

Os resultados das Tabelas 3 e 4 apontam para um benefício econômico, ao produtor ao longo do período de adoção, de R\$ 2.551.911.073,23 para o milho e R\$ 3.513.645.733,52 para a soja. O benefício econômico estimado para ambas as culturas somadas totalizou R\$ 6.065.556.733,52.

Considerações finais

Os inoculantes solubilizadores de fosfato representam uma solução tecnológica disruptiva,

⁸ Por simplificação, considera-se que o manejo foi voltado para o ganho de produtividade ao invés de uma complementação para redução do uso de fertilizantes.

que é uma das grandes contribuições recentes da Embrapa para a agricultura brasileira. Diversas razões podem ser utilizadas para explicar o sucesso da tecnologia, mas duas merecem menção. Primeiramente, os ganhos de produtividade alegados pela solução tecnológica não vêm se restringindo aos ensaios e campos experimentais. Os resultados agrícolas positivos são visíveis nas lavouras comerciais em todas as regiões brasileiras. Em segundo lugar, concomitantemente aos ganhos agrícolas estimados, o custo-benefício da solução tecnológica é muito positivo para o produtor. Aos preços atualizados para 2023, o benefício econômico médio por hectare no período de 2019 a 2023 foi estimado em R\$ 621,25. É um ganho considerável para uma solução tecnológica que não substituiu outra com função similar.

Os ganhos agrícolas somados aos ganhos econômicos propriamente ditos divulgados por muitos adotantes da tecnologia engendrou uma percepção positiva no mercado. Esses fatores favoreceram a rápida difusão da solução tecnológica, assim como também atraíram a atenção para o novo mercado. Em decorrência disso, nos próximos anos, espera-se um aumento da competição do setor, com novos produtos oriundos das empresas entrantes. Nesse cenário, a taxa de adoção e os benefícios econômicos tendem a aumentar, consolidando ainda mais o sucesso da solução tecnológica desenvolvida inicialmente pela Embrapa Milho e Sorgo.

No decorrer das últimas décadas, a ampla difusão da inoculação do *Bradyrhizobium* na soja foi fundamental para revolucionar e elevar a cultura ao topo do agronegócio brasileiro. Ao se olhar para o futuro, espera-se que os novos inoculantes com microrganismos solubilizadores de fosfato também façam uma contribuição significativa para a agricultura, mas ainda há um longo caminho a percorrer.

Referências

- ALMEIDA, J. P. de; VOLOTÃO, R. de A. **Produção nacional de fertilizantes**: estudo estratégico. Brasília, DF: Secretaria Especial de Assuntos Estratégicos, 2020. Disponível em: https://www.gov.br/planalto/pt-br/assuntos/assuntos-estrategicos/documentos/estudos-estrategicos/sae_publicacao_fertilizantes_v10.pdf/view. Acesso em: 8 jul. 2024.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS. **Pesquisa setorial**: macro indicadores: 2024. Disponível em: http://anda.org.br/pesquisa_setorial/. Acesso em: 8 jul. 2024.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS PRODUTORES E IMPORTADORES DE INOCULANTES. **Análise e estatísticas 2023**: painel interno ANPII 2023. Curitiba, 2024. Disponível em: <https://www.anpii.org.br/estatisticas/>. Acesso em: 6 ago. 2024.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS PRODUTORES E IMPORTADORES DE INOCULANTES. A fixação biológica de nitrogênio. **Agroanalysis**, p. 41-43, ago. 2017. Disponível em: <https://periodicos.fgv.br/agroanalysis/article/view/74573/71418>. Acesso em: 9 jul. 2024.
- ÁVILA, A. F. D.; RODRIGUES, G. S.; VEDOVOTO, G. L. (ed.). **Avaliação dos impactos de tecnologias geradas pela Embrapa**: metodologia de referência. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. 192 p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/132174/1/ MetodologiaReferenciaAvallImpactoEmbrapa.pdf>. Acesso em: 13 jul. 2024.
- CRUZ, D. R. C.; FERREIRA, I. V. L.; MONTEIRO, N. O. C.; NASCENTE, A. S.; OLIVEIRA, R. B.; SANTOS, S. G. F.; ROSA, C. O.; VIEIRA, I. C. O. Microrganismos multifuncionais na agricultura: uma revisão sistemática na sobre bactérias solubilizadoras de fósforo. **Contribuciones a Las Ciencias Sociales**, v. 17, n. 3, p. 1-24, 2024. DOI: <https://doi.org/10.55905/revconv.17n.3-358>.
- ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture. **World Agricultural Production**. Washington, 2024a. (USDA. WAP 6-24). Disponível em: <https://fas.usda.gov/sites/default/files/2024-06/production.pdf>. Acesso em: 8 jul. 2024.
- ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture. **World Agricultural Supply and Demand Estimates**. Washington, 2001. (USDA. WASDE 375). Disponível em: <https://downloads.usda.library.cornell.edu/usda-esmis/files/3t945q76s/pk02cb09k/wh246s53h/wasde-06-12-2001.pdf>. Acesso em: 8 jul. 2024.
- ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture. **World Agricultural Supply and Demand Estimates**. Washington, 2024b. (USDA. WASDE 649). Disponível em: <https://downloads.usda.library.cornell.edu/>

usda-esmis/files/3t945q76s/sf269x278/vt152776f/wasde0624.pdf. Acesso em: 8 jul. 2024.

GLOBALFERT. **OUTLOOK GlobalFert 2024**. Disponível em: <https://globalfert.com.br/outlook-globalfert/>. Acesso em: 8 jul. 2024.

IZYDORCZYK, G.; SAEID, A.; MIRONIUK, M.; WITEK-KROWIAK, A.; KOZIOT, K.; GRZESIK, R.; CHOJNACKA, K. Sustainable method of phosphorus biowaste management to innovative biofertilizers: a solution for circular economy of the future. **Sustainable Chemistry and Pharmacy**, v. 27, 100634, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scp.2022.100634>.

OLIVEIRA-PAIVA, C. A.; COTA, L. V.; MARRIEL, I. E.; ALVES, V. M. C.; GOMES, E. A.; SOUSA, S. M. de; SANTOS, F. C. dos; SOUZA, F. F. de; LANDAU, E. C.; PINTO JÚNIOR, A. S.; LANA, U. G. de P. **Validação da recomendação para o uso do inoculante BiomaPhos® (*Bacillus subtilis* CNPMS B2084 e *Bacillus megaterium* CNPMS B119) na cultura de soja**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2021. 18 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 279). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/228039/1/CIRC-TEC-279-Validacao-recomendacao-BiomaPhos-cultura-soja.pdf><https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/155505/1/doc-202-1.pdf>. Acesso em: 8 jul. 2024.

OLIVEIRA-PAIVA, C. A.; COTA, L. V.; MARRIEL, I. E.; GOMES, E. A.; SOUSA, S. M. de; LANA, U. G. de P.; SANTOS, F. C. dos; PINTO JÚNIOR, A. S.; ALVES, V. M. C. **Viabilidade técnica e econômica do Biomaphos® (*Bacillus subtilis* CNPMS B2084 e *Bacillus megaterium* CNPMS B119) nas culturas de milho e soja**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2020. 20 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 210). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/217542/1/Bol-210.pdf><https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/155505/1/doc-202-1.pdf>. Acesso em: 8 jul. 2024.

PAVINATO, P. S.; CHERUBIN, M. R.; SOLTANGHEIS, A.; ROCHA, G. C.; CHADWICK, D. R.; JONES, D. L. Revealing soil legacy phosphorus to promote sustainable agriculture in Brazil. **Scientific Reports**, v. 10, article 15615, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-72302-1>.

SÉRIES HISTÓRICAS DAS SAFRAS: grãos. Brasília, DF: Conab, 2024. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras#gr%C3%A3os-2>. Acesso em: 8 jul. 2024.

WHITERS, 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, 2537, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-20887-z>.

ZHOU, K.; BINKLEY, D.; DOXTADER, K. G. A new method for estimating gross phosphorus mineralization and immobilization rates in soils. **Plant and Soil**, v. 147, p. 243-250, 1992. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00029076>.

