



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO
CAMPUS IPORÁ

BACHARELADO EM AGRONOMIA

INOCULANTES RECOMENDADOS PARA A SOJA E O MILHO

WITOR HUGO SILVA DUARTE

Iporá, GO

2024

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO – CAMPUS IPORÁ**

BACHARELADO EM AGRONOMIA

INOCULANTES RECOMENDADOS PARA A SOJA E O MILHO

WITOR HUGO SILVA DUARTE

Trabalho de Curso apresentado ao Instituto Federal Goiano Campus Iporá, como requisito parcial para a obtenção do Grau de Bacharel em Agronomia.

Orientador: Dr. Gustavo Augusto Moreira Guimarães

Iporá – GO

Março, 2024

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas – Instituto Federal Goiano

Duarte, Witor Hugo Silva
DD812i Inoculantes recomendados para a soja e o milho / Witor
Hugo Silva Duarte; orientador Gustavo Augusto Moreira
Guimarães. -- Iporá, 2024.
30 p.

TCC (Graduação em Bacharelado em Agronomia) --
Instituto Federal Goiano, Campus Iporá, 2024.

1. Inoculantes. 2. Bioinsumos. 3. Rizobactérias.
4. Fungos. I. Moreira Guimarães, Gustavo Augusto,
orient. II. Título.

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese (doutorado) | <input type="checkbox"/> Artigo científico |
| <input type="checkbox"/> Dissertação (mestrado) | <input type="checkbox"/> Capítulo de livro |
| <input type="checkbox"/> Monografia (especialização) | <input type="checkbox"/> Livro |
| <input checked="" type="checkbox"/> TCC (graduação) | <input type="checkbox"/> Trabalho apresentado em evento |

Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

Witor Hugo Silva Duarte

Matrícula:

2018105200240170

Título do trabalho:

INOCULANTES RECOMENDADOS PARA A SOJA E O MILHO

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: Não Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 08 /03 /2024

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Iporá

Local

08 /03 /2024

Data

Witor Hugo Silva Duarte

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:


Assinatura do(a) orientador(a)

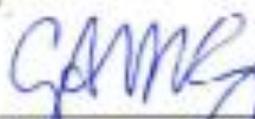


SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO
CAMPUS IPOJÓ

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO

Ao 01 dia do mês de MARÇO do ano de dois mil e VINTE e QUATRO, realizou-se a defesa de Trabalho de Curso do acadêmico **Witor Hugo Silva Duarte**, do Curso de Bacharelado em Agronomia, matrícula 2018105200240170, cuja monografia intitula-se **"INOCULANTES RECOMENDADOS PARA SOJA E O MILHO"**. A defesa iniciou-se às 9:29 horas e _____ minutos, finalizando-se às 10 horas e 10 minutos. A banca examinadora considerou o trabalho aprovado com média 9,5 no trabalho escrito, média 9,8 no trabalho oral apresentando assim, média aritmética final de 9,65 pontos, estando apto para fins de conclusão do Trabalho de Curso.

Após atender às considerações da banca e respeitando o prazo disposto em calendário acadêmico, o(a) acadêmico(a) deverá fazer a entrega da versão final corrigida em formato digital (Word e PDF) acompanhado do termo de autorização para publicação eletrônica (devidamente assinado pelo autor), para posterior inserção no Sistema de Gerenciamento do Acervo e acesso ao usuário via internet. Os integrantes da banca examinadora assinam a presente.



GUSTAVO AUGUSTO MOREIRA GUIMARÃES
(Presidente da Banca)



(Banca Examinadora)
ESTÊNIO MOREIRA ALVES



FLAVIO LOPES CLAUDIO
(Banca Examinadora)

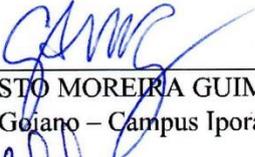


SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO
CAMPUS IPORÁ

WITOR HUGO SILVA DUARTE

INOCULANTES RECOMENDADOS PARA SOJA E O MILHO

Trabalho de Curso defendido e APROVADO em 01 / 03 / 2024 pela banca examinadora constituída pelos membros:



Dr. GUSTAVO AUGUSTO MOREIRA GUIMARÃES - Orientador
IF Goiano – Campus Iporá



Dr. ESTÊNIO MOREIRA ALVES
IF Goiano – Campus Iporá



Tec. em Agron. FLAVIO LOPES CLAUDIO
IF Goiano – Campus Iporá

Iporá – GO

Março, 2024

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	9
2.1. BIOINSUMOS	9
2.2. INOCULANTES	11
2.3. BREVE HISTÓRICO DO USO DE INOCULANTES NA CULTURA DA SOJA....	11
2.4. VE HISTÓRICO DO USO DE INOCULANTES NA CULTURA DO MILHO 13	
2.5. MICRORGANISMOS ENCONTRADOS EM INOCULANTES PARA A SOJA E O MILHO	14
2.5.1. <i>BRADYRHIZOBIUM</i>	18
2.5.2. <i>AZOSPIRILLUM</i>	20
2.5.3. <i>BACILLUS</i>	22
2.6. COINOCULAÇÃO	24
2.7. CUIDADOS PARA GARANTIR A EFICIÊNCIA DO USO DE INOCULANTES ..	26
3. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	27
4. 4 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	28

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, a Deus, por ter me proporcionado muita saúde e determinação para que os meus objetivos fossem alcançados, durante os meus anos de formação e por me permitir ultrapassar os obstáculos encontrados ao longo do caminho.

Agradeço ao professor Gustavo Guimarães, por ter sido meu orientador, pela grande ajuda, paciência, correções e aprendizado.

A minha mãe Maria Abadia e meu pai José Bosco, por me incentivar nos momentos difíceis e tornar possível essa formação, me apoiando sempre, incentivando, dando amor e carinho. E também ao meu irmão Bruno Henrique que sempre esteve do meu lado. Aos meus familiares que me ajudaram de alguma forma, tornando isso possível.

Aos meus amigos do grupo “Lenhadores”, pela amizade e apoio demonstrado durante os anos de formação. E os meus amigos do peito Murillo, João Lucas, Matheus, Lucas, Arthur, Filipe e Luiz que tornaram minha segunda família em Iporá.

A minha namorada Sathyla Brenda, que sempre foi minha companheira, me deu forças, incentivou e torceu por mim durante essa etapa tão importante da minha vida.

E por último a Instituição IF Goiano, pelo meu processo de formação profissional, pela dedicação dos professores e servidores, e por tudo que aprendi ao longo dos anos do curso.

RESUMO

DUARTE, Witor Hugo Silva. **Inoculantes recomendados para a soja e o milho**. 2024. 30p Monografia (Curso de Bacharelado de Agronomia). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Iporá, Iporá, GO, 2024.

Os inoculantes são formulados com microrganismos vivos que aplicados de maneira isolada ou conjunta (coinoculação) a sementes, via foliar ou no sulco, vão agir de forma benéfica para o crescimento e nutrição de plantas, podendo reduzir os custos de produção e proporcionar maiores produtividades. Este trabalho teve como objetivo apresentar o número de inoculantes recomendados para as culturas da soja e milho, os microrganismos utilizados na formulação dos produtos e seus benefícios para as culturas. A partir de consulta ao aplicativo Bioinsumos, foi verificado que, até 01 de agosto de 2023, haviam registrados 313 inoculantes para soja e 71 para o milho. Bactérias do gênero *Bradyrhizobium* são as mais frequentemente encontradas em inoculantes, sendo registrados 258 produtos que apresentam apenas esse gênero para soja. Seguidas por bactérias do gênero *Azospirillum* que são encontradas em 14 produtos para soja e 37 para milho. Além disso, existem registrados 4 produtos para a soja e 2 para o milho que apresentam *Azospirillum* + *Bradyrhizobium*. Rizobactérias do gênero *Bacillus* que estão presentes em 13 produtos registrado para a soja e 15 para o milho. Também existem inoculantes registrados para essas culturas que apresentam de maneira isolada fungos do gênero *Trichoderma* e *Rhizophagus* e bactérias do gênero *Pseudomonas* e *Methylobacterium*, além de produtos formulados com dois microrganismos: *Pseudomonas* + *Azospirillum* e *Claroideoglossum* + *Rhizoglossum*. Devido aos benefícios proporcionados pela inoculação desses microrganismos, existem uma tendência de aumento do uso de inoculantes na soja e no milho, todavia visto que são formulados com microrganismos vivos é necessário que se adotem boas práticas para que o uso dos inoculantes seja eficiente.

Palavras-chave: Bioinsumos, rizobactérias, fungos.

1 INTRODUÇÃO

Os insumos biológicos, também conhecidos como bioinsumos são produtos naturais desenvolvidos a partir de microrganismos, plantas e animais. É uma alternativa sustentável para os produtores rurais e empresas que cada vez mais vem buscando esse tipo de tecnologia a fim de tornar o sistema de produção mais eficiente e preservar o ecossistema o máximo possível. Os bioinsumos podem ser utilizados com o objetivo de controlar pragas, promover o crescimento de plantas, suprir a necessidade de nutrientes de plantas e auxiliar as plantas nas adaptações a estresses abióticos e bióticos (EMBRAPA, 2021). Os principais bioinsumos recomendados para a produção vegetal são os bioestimulantes, biofertilizantes, biodefensivos e também os inoculantes.

Os inoculantes contém microrganismos selecionados que adicionados a semente, via foliar ou no sulco, vão agir de forma benéfica para o crescimento e nutrição das plantas. Os microrganismos presentes nos inoculantes podem atuar na conversão de nitrogênio atmosférico em compostos nitrogenados que as plantas podem utilizar, na solubilização de fosfato e potássio por meio da produção de ácidos orgânicos e/ou enzimas da classe fosfatase, além de produzir substâncias que atuam como bioestimulantes para as plantas (OLIVEIRA-PAIVA, 2018). Esses microrganismos selecionados podem suprir de forma total ou parcial a necessidade de nutrientes, como o nitrogênio e o fósforo, pela planta.

De acordo com o Plano Nacional de Fertilizantes (PNF 2050) apresentado pelo Governo Federal, em março de 2022, a falta de uma política nacional para o setor de fertilizantes tornou o país dependente por importação de produtos e tecnologias, fazendo com que a indústria nacional decrescesse e as importações aumentassem nos últimos 20 anos, além dos custos dos fertilizantes na produção aumentassem consideravelmente em grandes culturas como soja, milho e algodão. Para o Brasil atingir as expectativas mundiais e nacionais de produção, de forma sustentável, precisa melhorar seu ambiente de negócios, investir em Ciência e Tecnologia para o ambiente tropical e garantir investimentos na produção nacional de fertilizantes, para não sofrer com crises mundiais de oferta e aumento de preços desses insumos (BRASIL, 2021).

O Plano Nacional de Fertilizantes (PNF 2050) propõe melhorias consideráveis na indústria de fertilizantes no Brasil até 2050, com os objetivos de reduzir a importação de adubos, ampliar a competitividade no agro nacional e abranger novas tecnologias de forma sustentável, sendo os inoculantes uma alternativa que pode contribuir para que esses objetivos sejam atingidos. Portanto, a tendência de mercado desses insumos biológicos é crescer cada vez

mais, principalmente considerando que com a realização de novas pesquisas poderão ser desenvolvidas novas tecnologias que proporcionem, para o produtor rural, empresas e agrônomos, alternativas de produção sustentável e com menor custo (MEYER et al, 2022).

Um exemplo de sucesso é o uso de inoculantes a base de rizóbios na cultura da soja, que contribuiu para tornar o Brasil o maior produtor de soja do planeta, além de proporcionar uma redução significativa na importação de fertilizantes nitrogenados e um menor custo de produção quando se comparado com o uso de fertilizantes convencionais (EMBRAPA, 2018).

O uso de inoculantes compostos por microrganismos promotores de crescimento, que podem suprir as necessidades nutricionais das plantas, vem sendo uma alternativa viável para os produtores, sendo verificada uma expansão gradual ao longo dos anos do mercado de bioinsumos. Porém, para que os inoculantes sejam utilizados de maneira adequada é necessário saber sobre as espécies e mecanismos de ação dos microrganismos presentes nos mesmos, bem como de cuidados que devem ser tomados para garantir a eficiência da inoculação.

Desta forma, o presente trabalho teve como objetivo apresentar o número de inoculantes recomendados, até agosto de 2023, para as culturas da soja e do milho, bem como os microrganismos utilizados na formulação dos produtos e seus meios de ação nessas culturas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Bioinsumos

Os insumos biológicos ou bioinsumos são produtos naturais obtidos a partir de microrganismos, animais ou plantas, que possuem o potencial para aumentar e sustentar a produção, além de proteger as culturas agrícolas de estresses bióticos e abióticos. Alguns microrganismos apresentam propriedades promotoras de crescimento de plantas e biocontrole, além de suas moléculas bioativas atuarem em alvos específicos, sendo ecologicamente corretos e biodegradáveis, desempenhando papel importante na preservação do ecossistema. Esses produtos naturais podem complementar ou substituir os agroquímicos, reduzindo seu uso de maneira ecológica (DILL, 2022).

Visando explorar o potencial da biodiversidade brasileira e reduzir a dependência dos insumos sintéticos internacionais, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) lançou, no ano de 2020, o Programa Nacional de Bioinsumos (PNB). O programa tem como objetivo ampliar o uso de bioinsumos no país, a fim de contribuir com o desenvolvimento

sustentável e beneficiar o setor agrícola, aumentando a oferta de insumos produtivos, que ainda promovem um desenvolvimento sustentável no setor. O programa propõe um marco regulatório que incentiva a produção e o uso de bioinsumos no país, estimulando o desenvolvimento de novas pesquisas e tecnologias, a disseminação de conhecimento e de informações qualificadas sobre o desenvolvimento, produção e uso de bioinsumos (MAPA, 2020).

Dentre os produtos classificados como bioinsumos, que desempenham diversos papéis, pode-se citar os bioestimulantes, biofertilizantes, biodefensivos e inoculantes. Os bioestimulantes são produtos que contêm substâncias naturais, que se aplicado nas plantas, sementes e solo, podem incrementar a produção, melhorar a qualidade de sementes, o desenvolvimento radicular, promover a germinação mais rápida, e outros benefícios. Os biofertilizantes são produtos que contêm componentes ativos ou substâncias orgânicas, obtidos a partir de microrganismos, vegetais e animais, podendo aumentar a produtividade ou qualidade da cultura (MAPA, 2020). Os biodefensivos são compostos por agentes de controle biológico, que são organismos benéficos para a lavoura, fazendo parte de diversos produtos fitossanitários, utilizados no controle de pragas e doenças (DILL, 2022). E os inoculantes, são produtos contendo microrganismos vivos que se adicionado a semente, via foliar, ou no sulco, atuam de forma favorável para o desenvolvimento de plantas (MAPA, 2020).

O mercado de bioinsumos destinados a nutrição vegetal, da mesma forma que os mercados dos bioestimulantes e de produtos utilizados no biocontrole, está em crescimento no mundo e com projeções de se manter crescendo a taxas maiores que 10% ao ano, ao longo dos próximos anos. A Europa, América do Norte e Ásia-Pacífico apresentam maiores taxas de crescimento e maior oferta de produtos. A expansão da agricultura orgânica, a opinião pública e o surgimento de políticas visando reduzir o uso de fertilizantes químicos tem sido um grande fator para ampliar o mercado dos bioinsumos. No Brasil, o mercado de bioinsumos também está em franco crescimento. Especificamente, no caso dos inoculantes, foi observado no país um aumento superior de cinco vezes nas vendas de inoculantes no período de 2015 a 2020, passando de 18 milhões de doses comercializadas em 2014/2015 para 90 milhões de doses na safra 2019/2020 e a tendência é aumentar cada vez mais (BRASIL, 2021).

O Brasil tem potencial para se tornar a maior referência mundial no setor de bioinsumos, especialmente por conter uma grande biodiversidade e geodiversidade. Há tecnologia, conhecimento, redes e diversos desafios produtivos que podem estimular o desenvolvimento de alternativas a partir dos bioinsumos, desde que haja iniciativas públicas que apoiem esses processos, como é o caso do PNB lançado em 2020 (DILL, 2022).

2.2 Inoculantes

O termo “inoculantes” engloba diversos compostos utilizados na agricultura, pecuária e silvicultura, geralmente utilizado para controle biológico de doenças de plantas, além de interferir diretamente no metabolismo de plantas, estimulando o crescimento e a produtividade das culturas, isso por permitir maior absorção de nutrientes ou por outros mecanismos que proporcionem melhor desenvolvimento vegetal (CARDOSO & ESTRADA-BONILLA, 2019). Os inoculantes são formulados contendo microrganismos multifuncionais vivos adicionados a um veículo inerte e, normalmente, aplicados sobre as sementes, superfície vegetal ou no solo. O uso desses produtos tem como objetivo permitir que o microrganismo inoculado se associe à planta (raiz e parte aérea), para que os mecanismos microbianos de promoção de crescimento vegetal possam ser ativados e a planta beneficiada (SILVA et al, 2022).

Historicamente, o mercado de inoculantes é pouco inovador, mas tem havido um aumento na oferta de produtos diferenciados, especialmente aqueles para inoculação de sementes de forma antecipada ao plantio e que se baseiam em veículos formulados de forma mais sofisticada. Para os próximos anos é esperado a seleção de novos grupos microbianos que apresentem outros mecanismos de ação que melhorem o desenvolvimento de plantas e aumentem a eficiência do uso de nutrientes, além do desenvolvimento de produtos baseados em comunidades microbianas e de produtos que apresentem a associação de microrganismos com minerais objetivando a liberação de nutrientes (BRASLI, 2021).

De acordo com dados da Associação Nacional dos Produtores e Importadores de Inoculantes (ANPII) o mercado de inoculantes biológicos apresenta crescimento constante ao longo dos últimos anos, com média de crescimento superior a 15% ao ano, saindo de 20,2 milhões de doses comercializadas em 2009 para 134,9 milhões de doses em 2022. Do volume comercializado de inoculantes em 2022, cerca de 89,4% das doses foram destinadas à cultura da soja e 6,1% para a cultura do milho, o que representou, respectivamente cerca de 82,0% e 11,5% do valor de vendas para cada uma dessas culturas (ANPII, 2024).

2.3 Breve Histórico do Uso de Inoculantes na Cultura da Soja

A inoculação de plantas com bactérias benéficas é uma prática antiga. No final do século 19, a prática de misturar solos contendo populações bacterianas naturalmente estabelecidas a sementes de leguminosas já era recomendada nos EUA, e a primeira patente de *Rhizobium* sp.

para a inoculação de plantas foi registrada em 1896. A partir daí, essa prática de inoculação de soja com bactérias do gênero *Bradyrhizobium* tornou-se comum e economicamente vantajosa em diversos países. No Brasil, a primeira produção e distribuição de inoculantes para leguminosas foi realizada na década de 1930, em São Paulo, e o início da produção industrial na década de 1960 (MARKS, 2013).

Desde então, foram realizadas diversas pesquisas para a seleção de estirpes de rizóbios eficientes na fixação de nitrogênio e que se adaptassem aos solos brasileiros e assim foram descobertos alguns microrganismos que apresentavam potencial para uso como inoculantes na soja.

A inoculação tradicional de leguminosas consiste em transferir as bactérias fixadoras de nitrogênio, conhecidas como rizóbios, do produto inoculante para a superfície das sementes. Durante a germinação e desenvolvimento da plântula, as bactérias estabelecem uma interação simbiótica com a planta, ocasionando na formação de nódulos no sistema radicular, por onde a planta vai obter o nitrogênio para seu desenvolvimento. Quanto maior a quantidade de bactérias inoculadas na semente, maior a competição com as populações de bactérias já existentes no solo, resultando na formação de nódulos com as estirpes presentes no inoculante, que foram selecionadas para serem eficientes na fixação biológica de nitrogênio (FBN), formando nódulos maiores e, conseqüentemente, fixando maior quantidade de N. Porém, alguns fatores podem afetar a eficiência da FBN, como as características do solo, clima, práticas de manejo e tratamento de sementes com fungicidas, bem como o veículo inoculante. Algumas estratégias são recomendadas no intuito de melhorar a inoculação, como a recomendação de uso de alto número de células bacterianas por sementes, inoculação no sulco de semeadura, aplicação de micronutrientes após a germinação e desenvolvimento de sementes ricas em molibdênio (MARKS, 2013).

Além dos rizóbios, atualmente na cultura da soja podem ser empregados inoculantes a base de rizobactérias extracelulares, como o *Azospirillum* sp., *Bacillus* sp., *Pseudomonas* sp., que não realizam a formação de nódulos, mas que beneficiam o crescimento de plantas por meio do aumento na disponibilidade de nutrientes, produção de fitormônios, controle de patógenos, dentre outros (SILVA et al, 2022). Também existem inoculantes cujo os microrganismos são fungos benéficos (*Rhizophagus*, *Trichoderma* e *Claroideoglossum*).

No Brasil, para a cultura da soja há dois tipos de suporte para os inoculantes comercializados, líquido ou sólido (à base de turfa). A turfa por muito tempo foi considerada o

suporte mais adequado, por manter o número elevado de bactérias viáveis e oferecer proteção física aos microrganismos. Entretanto, a ausência de turfeiras consideradas adequadas para a produção de inoculantes no Brasil, levou a importação desse substrato, tornando o custo desse tipo de inoculante elevado. As formulações líquidas de inoculantes, no início apresentaram baixo desempenho em condições de clima tropical. Assim, o uso de protetores celulares que, se incorporados aos inoculantes, promovem a proteção contra o estresse, se tornou um fator importante no desempenho simbiótico, aumentando a eficiência dos produtos líquidos (MARKS, 2013). Das doses de inoculantes vendidas em 2018 para a cultura da soja, cerca de 76% foram de inoculantes líquidos e cerca de 24% de inoculantes turfosos (ANPII, 2022).

Na cultura da soja, para a safra 2020/2021 a taxa de uso de inoculantes foi de 80% da área cultivada no país, enquanto que em 26% da área foi utilizada a técnica de coinoculação (utilização conjunta de *Bradyrhizobium* e *Azospirillum*). Já para a safra 2022/2023 a taxa de adoção de inoculantes na cultura da soja foi de 85% e de coinoculação foi de 35% (ANPII, 2023; ANPII, 2024).

2.4 Breve Histórico do Uso de Inoculantes na Cultura do Milho

Em 2009, a Embrapa Soja (Londrina, PR) e a Universidade Federal do Paraná (UFPR), em parceria com a iniciativa privada, lançaram o primeiro inoculante comercial para o milho, e também para o trigo, sendo este um produto biológico capaz de ampliar a produtividade da cultura do milho de 25-30% e ainda reduzir a demanda de fertilizantes químicos. Sendo este inoculante composto por bactérias do gênero *Azospirillum* spp., que são microrganismos de vida livre, fixadores de nitrogênio atmosférico, que vivem em associação com plantas na rizosfera, podendo promover um melhor desenvolvimento e aumento na produção de biomassa das culturas pelo fornecimento de N e pela solubilidade de alguns compostos como o fósforo e potássio (VALER et al, 2017).

No Brasil, a prática da inoculação com essa bactéria é pouco difundida, pois em solos brasileiros já ocorre naturalmente a população de *Azospirillum*. Entretanto, desde 1996 a Embrapa Soja e a UFPR têm realizado experimentos em milho com a utilização de inoculante com estirpes específicas de *A. brasiliense*, e tem-se mostrado resultados significativos principalmente no aumento de rendimento de grãos, chegando a 30%. Além da produção de grãos, estudos evidenciaram que a bactéria *A. brasiliense* pode influenciar na fisiologia, no

desenvolvimento e no rendimento da cultura do milho, aumentando em torno de 54% a 86% a matéria seca das raízes e de 23% a 64% o peso seco da parte aérea (VALER et al, 2017).

A taxa de adoção de inoculantes para a cultura do milho na safra 2022/2023 foi de 22,4% da área cultivada, mas existe uma tendência de avanço gradual do uso de inoculantes na cultura safra a safra (ANPII, 2024).

2.5 Microrganismos encontrados em inoculantes para a soja e o milho

Atualmente, os inoculantes tem, principalmente, como base microrganismos fixadores de nitrogênio, como o *Bradyrhizobium* e bactérias do gênero *Azospirillum*, microrganismos solubilizadores de fosfato, promotores de crescimento vegetal e fungos micorrizicos. A grande maioria dos inoculantes disponíveis no mercado nacional são a base de rizóbios, os quais foram os primeiros utilizados no desenvolvimento dessa tecnologia, principalmente na cultura da soja (BRASIL, 2021). Todavia, com a realização de pesquisas foram descobertos outros microrganismos com potencial para promover o crescimento de plantas, como *Bacillus* e outros.

Em busca de maiores rendimentos os produtores rurais buscam alternativas que possam proporcionar tal feito. O uso de inoculantes se adequam a esta expectativa dos agricultores, assim com o desenvolvimento de inoculantes de qualidade associado a essa busca consequentemente estimulou um crescimento significativo na utilização dos mesmos na última década. Segundo a Associação Nacional dos Produtores e Importadores de Inoculantes (ANPII) a comercialização de inoculantes apresentou crescimento acima de 15% ao ano no Brasil. Em 2022 o maior volume de doses de inoculantes comercializados no Brasil foi destinado às culturas da soja e do milho, sendo comercializadas mais de 120 milhões de doses de inoculantes para a cultura da soja e mais de 8,2 milhões de doses para a cultura do milho (ANPII, 2024).

O Programa Nacional de Bioinsumos (PNB) a fim de facilitar o acesso a informações de forma rápida e gratuita sobre insumos biológicos para o uso na produção vegetal disponibilizou um aplicativo, denominado Bioinsumos (Figura 1), que possui um catálogo nacional de bioinsumos. Entre as informações disponíveis no aplicativo Bioinsumos estão as informações sobre inoculantes para as principais culturas, como a soja e o milho (MAPA, 2020).



Figura 1 - Interface aplicativo Bioinsumos (MAPA, 2020).

A partir de consulta ao aplicativo Bioinsumos foi elaborada uma lista com os inoculantes registrados, até o dia 01 de agosto de 2023, para a soja e milho, na qual são considerados os microrganismos e a quantidade de inoculantes registrados (Tabela 1).

Tabela 1 – Número de inoculantes de acordo com o microrganismo registrados para as culturas da soja e do milho no aplicativo de Bioinsumos, até 01 de agosto de 2023.

Microrganismo	Culturas	
	Soja	Milho
<i>Bradyrhizobium</i> ^a	258	0
<i>Azospirillum brasiliense</i>	14	37
<i>Bacillus</i> ^b	13	15
<i>Trichoderma</i> ^c	6	0
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	5	2
<i>Rhizogloium intraradices</i> ^d	6	6
<i>Rhizophagus intraradices</i> ^d	2	2
<i>Methylobacterium symbioticum</i>	0	1
<i>Pseudomonas fluorescens</i> + <i>Azospirillum brasiliense</i>	1	2
<i>Azospirillum brasiliense</i> + <i>Bradyrhizobium japonicum</i>	4	2
<i>Claroideogloium claroideum</i> + <i>Rhizogloium intraradices</i>	4	4
Total	313	71

^a Diferentes espécies de *Bradyrhizobium* isoladas ou combinadas: *B. japonicum* e *B. elkanii*. ^b Diferentes espécies de *Bacillus* isoladas ou combinadas: *B. subtilis*, *B. megaterium*, *B. simplex*, *B. aryabhattai*, *B. licheniformis*, *B. amyloliquefacies* e *B. pumilus*. ^c Diferentes espécies de *Trichoderma* isoladas ou combinadas: *T. asperelloides*, *T. harzianum*, *T. koningiopsis*, *T. endophyticum* e *T. asperellum*. ^d Sinônimos (Walker et al., 2021).

Para as culturas de soja e milho, que são as principais culturas agrícolas do país, existem registrados no aplicativo de Bioinsumos do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), respectivamente 313 e 71 inoculantes. Dentre os microrganismos utilizados na formulação dos inoculantes registrados para as culturas de soja e milho, estão os fungos dos gêneros *Rhizophagus*, *Trichoderma* e *Claroideoglossum*. As bactérias utilizadas na formulação dos inoculantes são dos gêneros *Azospirillum*, *Bradyrhizobium*, *Bacillus*, *Pseudomonas* e *Methylobacterium* (Tabela 1).

O mercado de inoculantes no Brasil é considerado pouco inovador (BRASIL, 2021), isto se deve ao fato do grande número de produtos contendo um único microrganismo. De acordo com dados da ANPII, 82,1% e 16,7% das doses de inoculantes comercializadas no Brasil em 2022 continham, respectivamente, *Bradyrhizobium* e *Azospirillum* (ANPII, 2024). Considerando os inoculantes registrados no aplicativo Bioinsumos, até o dia 01 de agosto de 2023, para a cultura da soja aproximadamente 82% dos inoculantes possuem apenas *Bradyrhizobium*, já para o milho, cerca de 52% dos inoculantes registrados possuem apenas *Azospirillum* (Tabela 1).

Todavia após diversas pesquisas e experimentos realizados para a identificação de microrganismos que podem favorecer o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade de diversas culturas, principalmente soja e milho, foram descobertos outros microrganismos que possuem tal potencial como *Bacillus*, *Trichoderma*, *Pseudomonas*, entre outros, além disso já estão disponíveis inoculantes que apresentam mais de uma espécie de microrganismo, o que aponta que está ocorrendo inovações importantes no setor. Na Tabela 2 são apresentadas algumas atividades desempenhadas por microrganismos presentes nos inoculantes e que favorecem as culturas da soja e/ou do milho.

Tabela 2 – Tipo de fertilizante* e atividades dos microrganismos encontrados em inoculantes registrados para a cultura da soja e do milho.

Microrganismo	Tipo de fertilizante*	Atividades	Referência
<i>Bradyrhizobium</i>	Bactéria fixadora de nitrogênio / Bactéria associativa	Produção de reguladores de crescimento / Fixação de N	Marks (2013), Prando et al. (2020)
<i>Azospirillum</i>	Microrganismo promotores de crescimento / Bactéria fixadora de nitrogênio / Bactéria associativa	Produção de reguladores de crescimento / Fixação de N	Mumbach et al. (2017)
<i>Bacillus</i>	Microrganismos promotores de crescimento	Solubilizador de fosfato / Controlador de pragas / Aumento da biomassa em soja / Aumento da produtividade em soja e milho	Jain et al. (2016), Oliveira-Paiva et al. (2020a), Chagas Junior et al. (2022)
<i>Pseudomonas</i>	Microrganismos promotores de crescimento	Favorece a absorção de nutrientes pelas plantas / Aumento da biomassa em milho	Oliveira et al. (2012), Oliskowski (2021)
<i>Rhizoglosum/ Rhizophagus</i>	Microrganismos promotores de crescimento	Favorece a absorção de nutrientes pelas plantas / Aumento no rendimento de grãos na soja e milho	Stoffel (2019), Stoffel et al. (2020a), Stoffel et al. (2020b)
<i>Trichoderma</i>	Microrganismos promotores de crescimento	Produção de reguladores de crescimento / Solubilizador de fósforo e fosfato / Controlador e indutor de resistência a doenças de plantas	Chagas et al. (2017), Meyer et al. (2022)
<i>Claroideoglosum</i>	Microrganismos promotores de crescimento	Favorece a absorção de nutrientes / Aumento na biomassa do milho	Salgado (2014)
<i>Methylobacterium symbioticum</i>	Microrganismos promotores de crescimento	Produção de reguladores de crescimento / Fixação de N / Solubilizador de fósforo e fosfato	Vera et al. (2023)

* De acordo com o aplicativo Bioinsumos.

Considerando a representatividade de inoculantes registrados no aplicativo Bioinsumos que contem *Bradyrhizobium*, *Azospirillum* e *Bacillus* serão apresentados alguns resultados do uso desses microrganismos nas culturas da soja e milho.

2.5.1 *Bradyrhizobium*

Bactérias do gênero *Bradyrhizobium* são os microrganismos mais frequentemente encontrados em inoculantes recomendados no Brasil. Para as culturas da soja, até 01/08/2023, haviam registrados no aplicativo Bioinsumos o total de 258 inoculantes contendo de maneira isolada *Bradyrhizobium*, além disso existem inoculantes que possuem *Azospirillum* + *Bradyrhizobium* recomendados para soja e para o milho (Tabela 1).

Baseado no aprimoramento das técnicas de classificação de microrganismos que ocorreram a partir da década de 1960, em 1964, Graham, dividiu os rizóbios em dois grupos: os de crescimento lento e os de crescimento rápido. Os microrganismos de crescimento lento, inicialmente chamados de *Rhizobium japonicum*, foram reclassificados em um novo gênero, o *Bradyrhizobium*. Além do crescimento lento, os bradirrizóbios se caracterizam pela alcalinização de meios contendo manitol como fonte de carbono durante seu crescimento. Inicialmente, o gênero possuía apenas uma espécie definida *Bradyrhizobium japonicum*. Com o passar dos anos e aprimoramento de técnicas de identificação novas espécies foram descritas, provenientes de raízes de diversas leguminosas e atualmente este gênero apresenta 13 espécies. Dentre estas, a *B. liaonigense* que é conhecida por nodular plantas de soja, *B. japonicum* e *B. elkanii* que já foram isolados em nódulos em raízes de soja, feijão-caupi e feijão-mungo (MARKS, 2013).

Um dos pilares de sustentabilidade do sistema de produção de soja no Brasil é a fixação biológica de nitrogênio (FBN). Esse processo se dá pela simbiose entre as bactérias do gênero *Bradyrhizobium* e as plantas, formando nódulos radiculares (Figura 2), nos quais as bactérias se abrigam e recebem proteção, nutrientes e fontes de energia da planta hospedeira. Em troca as bactérias capturam o nitrogênio atmosférico (N₂) e, pela ação da enzima nitrogenase sintetizada pela bactéria, o reduzem a amônia que, na sequência, é transformada em compostos nitrogenados exportados para a planta (PRANDO et al, 2020).



Figura 2 – Formação de nódulos radiculares por bactérias do gênero *Bradyrhizobium* (VILAR, 2022).

A espécie *B. japonicum*, juntamente com as demais espécies do gênero *Bradyrhizobium*, é descrita como um microrganismo endossimbionte de algumas plantas, como a soja. É uma espécie de bactéria gram-negativa, não formadora de esporos e móvel através da presença de flagelo polar ou subpolar. É uma das principais espécies com importância agrônômica no mundo, principalmente pelo fato de formar nódulos eficientes em cultivos de soja, possui um alto valor no mercado internacional. A partir de 1992, as estirpes SEMIA 5079 e SEMIA 5080 de *Bradyrhizobium japonicum*, juntamente com estirpes SEMIA 587 e SEMIA 5019, pertencentes à espécie *Bradyrhizobium elkanii*, foram autorizadas para a produção de inoculantes no Brasil (MARKS, 2013).

O uso de estirpes elite de *Bradyrhizobium* nos inoculantes, que foram selecionados através de pesquisas ao longo do tempo, assegura o suprimento de N necessário para a soja, mesmo em altos níveis de produtividade e a grande exigência por N pela cultura, que é mais de 80 kg para cada tonelada de grãos produzidos. Desta forma, o uso de inoculantes contendo *Bradyrhizobium* na cultura da soja resulta em grandes benefícios para o produtor e o meio ambiente, por dispensar o uso de fertilizantes nitrogenados na cultura, aumentando a competitividade do produto no mercado externo com menor impacto ambiental (PRANDO et al, 2020).

Há pesquisas que demonstram outras características destas bactérias não se detendo apenas a ações simbióticas de captação do nitrogênio atmosférico ou somente em plantas leguminosas, apresentando potencialização do crescimento de plantas de outras famílias botânicas. Porém, nestes casos as bactérias não formam nódulos, mas sim, colonizando de forma endofítica as raízes e até a parte aérea destas plantas (folhas e caules). Em gramíneas, como o milho, os rizóbios podem colonizar a rizosfera, o interior da raiz e parte aérea, entrando

na planta através de fissuras como na emissão de novas raízes secundárias. No interior dos tecidos, estas bactérias secretam substâncias hormonais, como auxinas, que estimulam o crescimento das plantas. Através desses mecanismos são verificados aumentos nas taxas de absorção de nutrientes, na fotossíntese e no rendimento de grãos. Dito isso, LOPES & KNIES (2019) realizaram um experimento à campo com o objetivo avaliar a resposta de duas variedades de milho (crioula e híbrida) à inoculação com *Bradyrhizobium*, utilizando 50% da dose de nitrogênio recomendada, onde comprovaram os efeitos benéficos do uso de inoculantes à base deste rizóbio em que ambas as variedades de milho, que apresentaram maiores produtividades em comparação a outros tratamentos, incluindo o método de produção convencional onde foi utilizado 100% da dose de nitrogênio recomendada para a região.

2.5.2 *Azospirillum*

Bactérias do gênero *Azospirillum* são encontradas em diversos inoculantes recomendados no Brasil para as culturas da soja e do milho. Atualmente, existem no total 51 inoculantes contendo de maneira isolada *Azospirillum*, sendo recomendados 14 produtos para a soja e 37 inoculantes para o milho. Além disso, existem 4 produtos registrados para a soja e 2 para o milho que apresentam *Azospirillum* + *Bradyrhizobium* (Tabela 1).

O gênero *Azospirillum* pertence a uma classe de microrganismos que são classificados como bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCP). Presentes naturalmente na maioria dos solos e apresentando ampla diversidade genética, as bactérias do gênero *Azospirillum* apresentam grande potencial para utilização em inoculantes em culturas agrícolas, todavia, é necessário a seleção de estirpes eficientes para essa finalidade. Todavia, o sucesso da inoculação de *Azospirillum* a campo depende da habilidade das estirpes selecionadas para sobreviverem e colonizarem sementes germinadas, na presença de grande número de outros microrganismos da rizosfera. Além disso, a abundância e atividade desses microrganismos dependem das propriedades do solo, como pH, umidade, temperatura, disponibilidade de fontes de carbono, entre outras (QUADROS et al, 2014). Desta forma, embora existam em outros países estudos que reportam os benefícios do uso desta bactéria, torna-se necessário conduzir mais ensaios nas condições brasileiras para o uso dessas bactérias em inoculantes.

Dentre as espécies pertencentes a este gênero a de maior potencial é a *Azospirillum brasiliense*, que vem sendo utilizada em diversos inoculantes comercializados no Brasil. Esta bactéria pode gerar diversos estímulos para o crescimento de plantas, destacando a FBN,

produção de hormônios vegetais como auxinas, giberelinas e citocininas, solubilização de fosfato, maior desenvolvimento radicular, aumento nos teores de clorofila e alterações na atividade fotossintética das plantas (Figura 3). Todavia, destaca-se como ação benéfica de *A. brasiliense* o aumento na atividade da redutase do nitrato quando crescem endofiticamente nas plantas. Diversos trabalhos demonstram que o uso de inoculantes contendo *Azospirillum* resultam em ganhos em rendimento ou possibilidade da redução das dosagens de N aplicadas, sem haver perdas em produtividade. Todavia, a fixação biológica de N promovida por bactérias do gênero *Azospirillum* consegue suprir apenas parte do N necessário pelas culturas, sendo a adubação nitrogenada indispensável para se obter bons resultados (MUMBACH et al, 2017).



Figura 3 – Efeitos da inoculação de milho com bactérias do gênero *Azospirillum* (HUNGRIA, 2011).

No Brasil, Hungria et al. (2010), ao inocularem espécies selecionadas de *Azospirillum* em milho, encontram incrementos de 26% na produtividade de grãos da cultura em questão, além de aumento das absorções de P e K pelas plantas (LOPES & KNIES, 2019).

No Brasil, inoculantes a base de *Azospirillum* são recomendados principalmente para gramíneas, porém já existem estudos e inoculantes que contém esta bactéria registrados para uso na cultura da soja. Bulegon et al. (2016), realizaram um experimento com o objetivo de avaliar os componentes de produção e produtividade de dois genótipos de soja (BMX Turbo e Coodetec 250) cultivados em casa de vegetação e submetidos à inoculação com bactérias do gênero *Azospirillum*. Neste estudo, foram observados resultados diferentes nos dois genótipos de soja. A inoculação com *Azospirillum* elevou os valores de altura de planta, acúmulo de massa seca e aporte de N na parte aérea para a cultivar BMX Turbo, porém reduz a massa seca de parte aérea quando aplicada a cultivar Coodetec 250. Além disso, a inoculação com *Azospirillum* não apresentou resultados positivos ao analisar a produção por plantas na cultivar

BMX Turbo, porém na cultivar CD250 proporcionou médias superiores a testemunha (sem inoculação, porém, com fornecimento de N). Portanto, estes resultados evidenciam que deve-se buscar cultivares de soja que sejam responsivas a associação com *Azospirillum* para que os resultados sejam positivos nesta cultura.

Na literatura existem outros relatos que mostram uma inconsistência de resultados quando se utiliza inoculantes a base de *A. brasilense*, visto que essa se estabelece na superfície da raiz e somente ocasionalmente penetra as raízes. Assim o uso de bactérias que se estabelecem na superfície das raízes, como é o caso da *Azospirillum*, gera resultados que podem ser muito variados, devido a estas poderem sofrer ação de fatores externos do solo como outras bactérias que ali competem por recursos, o que pode limitar as respostas da planta (BULEGON et al, 2016).

2.5.3 *Bacillus*

Rizobactérias do gênero *Bacillus* são encontradas em 28 inoculantes recomendados no Brasil para as culturas da soja e do milho, sendo recomendados 13 produtos para a cultura da soja e 15 para o milho (Tabela 1).

Bactérias do gênero *Bacillus* são classificadas como rizobactérias promotoras de crescimento de plantas (RPCP) que colonizam raízes de plantas e induzem um aumento significativo no crescimento vegetal (Figura 4). As bactérias do gênero *Bacillus* são consideradas RPCP, pois apresentam habilidade de colonizar a rizosfera, promover o crescimento vegetal, possuem papel na reciclagem de nutrientes e potencial como biofertilizantes para o incremento da produtividade, além de poder beneficiar a planta durante períodos de estresses (CHAGAS JUNIOR et al, 2022). A eficiência do uso de *Bacillus* em inoculantes está relacionada com as características biológicas deste microrganismo, como a

facilidade para a manutenção de sua viabilidade em formulados, eficiência na solubilização de fósforo e o potencial para promover o crescimento vegetal.



Figura 4 – Efeitos da inoculação (A, C) ou não (B, D) de sementes de milho com a cepa B119 de *B. megaterium* (A) e a cepa B2084 de *B. subtilis* (C) no desenvolvimento de raízes de milho cultivado em casa de vegetação (OLIVEIRA-PAIVA et al, 2020b).

O gênero *Bacillus* possui 191 espécies e quatro subespécies, presentes naturalmente no ar, solo e água. É uma bactéria gram-positiva, aeróbica e formadora de esporos. O seu uso não se restringe à agricultura, pois também possui uso no tratamento de efluentes, biorremediação, limpeza e desodorização, tratamento séptico e na produção de enzimas e de produtos químicos (CHAGAS JUNIOR et al, 2021). A utilização de espécies *Bacillus* promotoras de crescimento de plantas e agente de controle biológico para diversas culturas agrícolas proporciona um método atrativo, sendo eficiente e ambientalmente menos agressivo que o uso de fertilizantes e defensivos químicos, o que torna a prática da utilização desse bioagente uma alternativa sustentável economicamente e ambientalmente (CHAGAS JUNIOR et al, 2022).

Estudos realizados por Jain et al. (2016) demonstraram que isolados de *Bacillus* podem incrementar na cultura da soja, o peso fresco da parte aérea e da raiz, além de aumentar o número de raízes laterais. Também a fim de avaliar a eficiência de isolados de *Bacillus* como inoculante para promoção de crescimento vegetal em soja, Chagas Junior et al. (2022) realizaram um experimento com sete isolados de *Bacillus subtilis*, que foram avaliados quanto a capacidade de solubilização de fosfato e síntese de ácido indol acético, *in vitro*, e na produção de biomassa da parte aérea e radicular de plantas de soja em casa de vegetação, e todos os isolados de *B. subtilis* mostraram-se eficientes quanto as variáveis analisadas em relação a testemunha sem inoculação.

Com o objetivo de realizar uma análise da viabilidade técnica e econômica da aplicação do BiomaPhos, inoculante comercial que contém espécies de *Bacillus* (*B. subtilis* e *B. megaterium*), a Embrapa Milho e Sorgo realizou um experimento utilizando o mesmo na cultura do milho e de soja em diferentes regiões produtoras do país (Bahia, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás, Minas Gerais, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul). Nas unidades de observação avaliadas foram utilizadas áreas de 20 hectares em lavouras comerciais, sendo que a metade da área recebeu sementes inoculadas com 100 ml/ha do produto e a outra metade da área recebeu sementes não inoculadas. Para o milho, o estudo foi realizado em 37 locais, tendo os autores verificado maior produção de grãos nas áreas inoculadas com ganho médio de produção de 8,6%, o que representou um aumento médio de 11,9 sacas/ha, e o custo médio da aplicação foi de 1,7 sacas/ha de milho. Na cultura da soja também foram observados aumentos na produção com o uso do inoculante em relação a áreas não inoculadas, sendo observado para 181 locais, um aumento médio de 6,3% na produção, correspondente a um incremento de 4,3 sacas/ha a um custo de 0,7 sacas/ha. (OLIVEIRA-PAIVA, 2020a). Este estudo demonstra a viabilidade técnica e econômica do uso de inoculantes contendo *Bacillus* nas culturas do milho e da soja.

2.6 Coinoculação

A coinoculação é uma tecnologia em sintonia com a abordagem atual da agricultura, na qual respeita as demandas de altos rendimentos, mas com sustentabilidade agrícola, econômica, social e ambiental. Essa tecnologia consiste em adicionar mais de um microrganismo reconhecidamente benéfico às plantas, visando maximizar a contribuição dos mesmos. Desta forma, proporciona vários benefícios, como aumento da área radicular, o que possibilita maior aproveitamento dos fertilizantes, favorece a planta em situações de estresse hídrico e aumenta a produtividade da espécie cultivada pela maior capacidade de absorção de nutrientes e água pelas raízes das plantas. Quanto aos nutrientes, observa-se maior vigor das plantas e equilíbrio nutricional, pelo melhor aproveitamento dos nutrientes do solo e dos fertilizantes (HUNGRIA & NOGUEIRA, 2014).

Alguns inoculantes já são formulados utilizando mais de um microrganismo em sua composição, como por exemplo, *Azospirillum* + *Bradyrhizobium* que são encontrados de maneira conjunta em seis inoculantes, sendo quatro deles para a soja e apenas dois para o milho. *Pseudomonas* + *Azospirillum* que são encontrados em um inoculante recomendados e

registrados para a cultura da soja e dois para o milho. *Claroideoglossum* + *Rhizoglossum* são encontrados de maneira conjunta em quatro inoculantes recomendados para a cultura da soja e em quatro produtos recomendados para o milho no Brasil (Tabela 1).

Na soja, observa-se maior desenvolvimento radicular quando realizado a coinoculação com *Azospirillum* e *Bradyrhizobium*, bem como maior nodulação, e conseqüentemente maior fixação biológica de nitrogênio. Seu uso reduz o uso por fertilizantes químicos, principalmente os nitrogenados, reduzindo o gasto com insumos. Durante a safra, os rizóbios contribuem com suprimento de nitrogênio e os benefícios adicionais pela coinoculação com *Azospirillum* incluem melhoria no estado nutricional das plantas e maior tolerância a estresses abióticos, como a seca. Além disso, experimentos confirmam incrementos no rendimento de grãos, em relação à inoculação exclusivamente com rizóbios. Dito isso, além de ambientalmente sustentável, a coinoculação é uma tecnologia altamente rentável (HUNGRIA & NOGUEIRA, 2014).

LOPES & KNIES (2019) avaliaram a campo a resposta de duas variedades de milho (crioula e híbrida) à coinoculação com *Azospirillum* + *Bradyrhizobium*, utilizando 50% da dose de nitrogênio recomendada, onde comprovaram os efeitos positivos do uso conjunto destes microrganismos, em que ambas as variedades de milho que apresentaram maiores produtividades em comparação a outros tratamentos, incluindo o método de produção convencional onde foi utilizado 100% da dose de nitrogênio recomendada para a região.

Santos (2019) realizou um experimento com o objetivo de avaliar a produção de milho com duas fontes de adubações: uma química e outra orgânica, associada a coinoculação de *Pseudomonas fluorescens* e *Azospirillum brasilense*. Este autor observou que a coinoculação com *P. fluorescens* + *A. brasilense* na ausência de fertilizantes elevou a produtividade da cultura do milho em relação ao tratamento sem inoculação e zero fertilização. A interação de *P. fluorescens* e *A. brasilense*, não foi notada no cultivo de milho com sistema de adubação orgânica, não sendo indicado o uso dessas rizobactérias nesse sistema quando a adubação atende 100% das necessidades culturais deste vegetal. No cultivo com fertilizantes químicos, ocorreram incrementos na produtividade da cultura nos tratamentos que utilizaram estas bactérias, indicando-se que a coinoculação de *P. fluorescens* e *A. brasilense* possui efeito benéfico para o milho.

Apesar de não ser encontrado em um único produto *Pseudomonas* e *Bradyrhizobium* já foram encontradas respostas positivas da coinoculação desses microrganismos na soja. Argaw

(2012) realizou um experimento na Etiópia para avaliar os efeitos da coinoculação de rizobactérias do gênero *Pseudomonas* spp. e estirpes de *Bradyrhizobium* na cultura da soja, no qual foram encontrados resultados positivos, sendo observado um incremento na produtividade nos tratamentos coinoculados em comparação a testemunha sem aplicação de adubação ou somente com a aplicação de ureia. Além disso, a coinoculação favorece o acúmulo de nitrogênio e de fósforo nas plantas. Desta forma, os agricultores podem utilizar inoculantes que apresentam estas bactérias de maneira isolada e proceder a coinoculação objetivando alcançar estes benefícios.

2.7 Cuidados para garantir a eficiência do uso de inoculantes

Visto que os inoculantes apresentam em sua formulação microrganismos vivos, é necessário que se tenham cuidados para garantir que os microrganismos presentes no inoculante sobrevivam, se estabeleçam na planta e/ou na rizosfera e atuem de modo a beneficiar a cultura.

Desta forma, os agricultores e técnicos devem adotar boas práticas de inoculação a fim de obter bons resultados. Algumas recomendações de boas práticas de inoculação são relatadas para produtos à base de rizóbios (Nogueira e Hungria, 2014), *Azospirillum* (Hungria, 2011) e *Bacillus* (Oliveira-Paiva et al., 2020a). De maneira geral, para se garantir a eficácia no uso de inoculantes é recomendado:

- Verificar se o produto tem registro no Ministério da Agricultura (Mapa) e se está dentro do prazo de validade;
- Cuidados no manuseio do produto, transporte e armazenamento, garantindo que o produto não fique exposto ao sol ou temperaturas muito altas (superiores a 30°C);
- Utilizar a dose recomendado pelo fabricante;
- Caso seja necessário fazer o tratamento de sementes com o uso de agroquímicos, aplique-os primeiro, deixe secar e aplique o inoculante em uma segunda operação;
- Na inoculação via semente, aplicar o inoculante de maneira uniforme, não sendo recomendado o uso do inoculante diretamente na caixa semeadora;
- Caso for fazer pré-inoculação, utilizar as sementes em no máximo 24 horas.

Além disso é recomendado verificar a compatibilidade entre os microrganismos, produtos químicos e cultivares utilizadas e também o manejo da adubação conforme recomendada para a cultura.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os inoculantes podem contribuir com altas produtividades nas áreas cultivadas com soja e milho no país, além de ser uma opção econômica e ecologicamente correta.

Um grande exemplo de sucesso é o uso de inoculantes formulados com bactérias do gênero *Bradyrhizobium* na produção de soja no Brasil, tornando o país o maior produtor dessa cultura no mundo, isso se dá pelo fato destes rizóbios realizarem a fixação biológica de nitrogênio, podendo suprir parcialmente ou totalmente a necessidade de fertilizantes nitrogenados, reduzindo gastos com a importação dos mesmos. É uma ótima opção para os produtores brasileiros e empresas que podem produzir mais, com um menor custo de produção, ampliando a competitividade no mercado externo.

A inoculação de soja com *Bradyrhizobium* já é uma tecnologia consolidada na agricultura nacional. Isto reflete no número de inoculantes registrados que possuem bactérias desse gênero. Até agosto de 2023, existiam 384 inoculantes registrados para as culturas da soja e do milho, dos quais 258 eram formulados apenas com *Bradyrhizobium*.

São diversos os microrganismos com potencial para suprir as necessidades nutricionais das plantas, promover melhor crescimento e proporcionar maiores produtividades destas culturas. Além de inoculantes contendo *Bradyrhizobium*, existem registrados para a soja e o milho inoculantes a base de outros microrganismos como *Azospirillum*, *Bacillus*, *Trichoderma*, *Pseudomonas*, *Rhizophagus*, *Methylobacterium* e *Claroideoglosum*, que podem ser encontrados de maneira isolada ou em associação.

Considerando os benefícios proporcionados pelo o uso de inoculantes, o uso desse tipo de insumo vem crescendo no Brasil. Desta forma, com desenvolvimento de novas tecnologias, realização de estudos e a descoberta de novos microrganismos com potencial agrícola, a tendência é que o mercado de inoculantes na cultura da soja e do milho continue crescendo nos próximos anos.

4 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANPII – Associação Nacional dos Produtores e Importadores de Inoculantes. **Inoculantes**. Disponível em: <https://www.anpii.org.br/wp-content/uploads/2020/06/Global-Fert-Inoculantes.pdf>. Acesso em: 4 de novembro de 2022.

ANPII – Associação Nacional dos Produtores e Importadores de Inoculantes. **Pesquisas, Avanços e Futuro**. Disponível em: https://www.anpii.org.br/wp-content/uploads/2023/05/livro_ANPII_2022_folhas_soltas.pdf. Acesso em: 23 de outubro de 2023.

ANPII – Associação Nacional dos Produtores e Importadores de Inoculantes. **Estatísticas**. Disponível em: <https://www.anpii.org.br/estatisticas/>. Acesso em: 08 de fevereiro de 2024.

ARGAW, A. Evaluation of Co-inoculation of *Bradyrhizobium japonicum* and phosphate solubilizing *Pseudomonas ssp.* effect on soybean (*Glycine max L. (Mer.)*) in Assossa Area. **J.Arg. Sci Tech**. Vol.14 213-224. 2012.

BRASIL – Secretaria Especial de Assuntos Estratégicos. 2021. **Plano Nacional de Fertilizantes 2050: Uma estratégia para os fertilizantes no Brasil**. 2021. Disponível em: <https://static.poder360.com.br/2022/03/plano-nacional-de-fertilizantes-brasil-2050.pdf>. Acesso em: 12 de outubro de 2022.

BULEGON, L.G.; RAMPIM, L.; KLEIN, J.; KESTRING, D.; GUIMARÃES, V.F.; BATTISTUS, A.G. & INAGAKI, A.M. Componentes de produção e produtividade da cultura da soja submetida à inoculação de *Bradyrhizobium* e *Azospirillum*. **Terra Latinoam**, Chapingo, v. 34, n.2, p. 169-176, junho de 2016.

CARDOSO, E.J.B.N. & ESTRADA-BONILLA, G.A. Inoculantes agrícolas. **Biocologia Industrial-Vol. 3: Processos fermentados e enzimáticos**, v. 3, p. 305, 2019.

CHAGAS, L.F.B.; JUNIOR, A.F.C.; SOARES, L.P. & FIDELIS, R.R. *Trichoderma* na promoção do crescimento vegetal. **Revista de Agricultura Neotropical**, v.4, n.3, p. 97-102, 2017.

CHAGAS JUNIOR, A.F.; BORBA, E.; MARTINS, A.L.L.; SOUZA, M.C.; GOMES, F.L.; de OLIVEIRA, R.S.; CHAGAS, L. F. B. 2021. *Bacillus sp.* como promotor de crescimento em soja *Bacillus sp.* **Revista de Ciências Agrárias**, v.44, n 2-3, p. 170-179, 2021. DOI: <https://doi.org/10.19084/rca.22557>. Acesso em: 27 de junho de 2023.

CHAGAS JUNIOR, A. F.; BRAGA JUNIOR, G. M. B. J.; LIMA, C. A. L.; MARTINS, A. L. L. M.; SOUZA, M. C. S.; CHAGAS, L. F. B. C. *Bacillus subtilis* como inoculante promotor de crescimento vegetal em soja. **Diversitas Journal**, [S. l.], v. 7, n. 1, p. 0001–0016, 2022. DOI: <https://doi.org/10.48017/dj.v7i1.2071>. Acesso em: 24 de junho de 2023.

DILL, R.E. **Bioinsumos na agricultura brasileira: alternativa biológica para uma agricultura ambientalmente sustentável**. Dissertação (Mestrado Profissional em Ambiente e Sustentabilidade) - Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, São Francisco de Paula. 2022.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Visão 2030: O futuro da agricultura brasileira**. Brasília, DF: Embrapa Soja, 2018. 212p.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Insumos Biológicos: menos insumos sintéticos, mais economia e sustentabilidade**. Londrina: Embrapa Soja, 2021. 2p. (Embrapa Soja. Portfólio).

HUNGRIA, M. **Inoculação com *Azospirillum brasilense*: inovação em rendimento a baixo custo.** Londrina: Embrapa Soja, 2011. 38 p. (Embrapa Soja. Documentos, 325).

HUNGRIA, M. & NOGUEIRA, M.A. **Tecnologia de coinoculação: rizóbios e *Azospirillum* em soja e feijoeiro.** Londrina: Embrapa Soja, 2014. 2p. (Embrapa Soja. Portfólio).

JAIN, S.; KUMARI, S.; VAISHNAV, A.; CHOUDHARY, D. K. & SHARMA, K.; P. 2016. Isolation and characterization of plant growth promoting bacteria from soybean rhizosphere and their effect on soybean plant growth promotion. **International Journal of Advanced Scientific and Technical Research**, 5(6), 397-410.

LOPES, P.T. & KNIES, A.E. 2019. Desempenho agrônômico de milho crioulo e híbrido com a inoculação e coinoculação de *Bradyrhizobium* e *Azospirillum*. **IX SIEPEX-IX Salão Integrado de Ensino, Pesquisa e Extensão.** 2019. Disponível em: <http://conferencia.uergs.edu.br/index.php/IXSIEPEX/IXSIEPEX/paper/viewFile/3646/755>. Acesso em: 03 de maio de 2023.

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Conheça a base conceitual do Programa Nacional de Bioinsumos.** 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inovacao/bioinsumos/o-programa/conceitos>. Acesso em: 27 de outubro de 2022.

MARKS, B.B. **Ação de metabólitos secundários e de inoculantes microbianos na promoção do crescimento de soja (*Glycine max (L.) Merr.*) e milho (*Zea mays L.*).** 2013. Dissertação (Mestrado em microbiologia) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2013.

MEYER, M.C. et al. **Bioinsumos na Cultura da Soja.** Brasília, 2022.

MUMBACH, G.L.; KOTOWSKI, I.E.; SCHNEIDER, J.A.; MALLMANN, M.S.; BONFADA, É.B.; PORTELA, V.O.; BONFADA, É.B; KAISER, D.R. Resposta da inoculação com *Azospirillum brasilense* nas culturas de trigo e de milho safrinha. **Scientia Agraria**, v. 18, n.2, p. 97-103, 2017.

NOGUEIRA, M.A.; HUNGRIA, M. Boas práticas de inoculação em soja. In: Embrapa Soja- Artigo em anais de congresso (ALICE). In: **REUNIÃO DE PESQUISA DA SOJA DA REGIÃO SUL**, 40. Pelotas, 2014. Atas e Resumos. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2014.

OLIVEIRA, M.A.D., ZUCARELI, C., SPOLAOR, L.T., DOMINGUES, A.R., & FERREIRA, A.S. Desempenho agrônômico do milho sob adubação mineral e inoculação das sementes com rizobactérias. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.10, p.1040-1046, 2012.

OLIVEIRA-PAIVA, C.A.; MATTOS, B.B.; GOMES, E.A.; MARRIEL, I.E.; LANA, U.G.P.; SILVA U. de C.; SANTOS, V.L. dos. **Inoculantes de microrganismos promotores de crescimento em milho: transferindo a diversidade do laboratório para o campo.** Sete Lagoas, MG: Embrapa Soja e Sorgo, 2018. 21 p. (Embrapa Soja. Documentos, 227).

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 JUNIOR, A.S.; ALVES, V. M.C. 2020a. **Viabilidade Técnica e Econômica do BiomaPhos.** Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo, 2020a. 21p. (Embrapa Soja. Documentos 210).

OLIVEIRA-PAIVA, C. A. et al. 2020b. **Recomendação agrônômica de cepas de *Bacillus subtilis* (CNPMS B2084) e *Bacillus megaterium* (CNPMS B119) na cultura do milho.** Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo, 2020b. 19p. (Embrapa Soja. Documentos 260).

- OLISKOWSKI, G. 2021. **Inoculação de *Pseudomonas thivervalensis* em milho para redução da redução da adubação nitrogenada e aumento da produtividade**. Dissertação (Graduação Profissional em Ciências Biológicas) - Universidade Federal de Santa Catarina, 2021.
- PRANDO, A.M.; OLIVEIRA, A.B.; LIMA, D.; POSSAMANI, E.J.; REIS, E.A.; NOGUEIRA, M.A.; HUNGRIA, M.; CONTE, O.; **Coinoculação da soja com *Bradyrhizobium* e *Azospirillum* na safra 2019/2020 no Paraná**. Londrina: Embrapa Soja, 2020. 22 p. (Embrapa Soja. Documentos 166).
- QUADROS, P.D.; ROESCH, L.F. W.; SILVA, P.R.F. da.; VIEIRA, V.M.; ROEHRS, D.D.; CAMARGO, F.A. de O. Desempenho agrônomo a campo de híbridos de milho inoculados com *Azospirillum*. **Revista Ceres, Viçosa**, v. 61, n. 2, p. 209-218, março a abril de 2014.
- SALGADO, F. H. M. **Fungos micorrízicos arbusculares e estimulante da colonização micorrizica em culturas agrícolas em solo de cerrado**. 2014. 59 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014.
- SANTOS, L.A.L. **Efeitos da coinoculação de *Azospirillum brasilense* e *Pseudomonas fluorescens* associados adubação química e orgânica na cultura do milho**. Dissertação (Graduação) – Curso de Graduação em Bacharel em Agronomia, Universidade Federal da Fronteira do Sul, Laranjeiras do Sul, 2019.
- SILVA, M.A.; NASCENTE, A.S.; REZENDE, C.C; FRASCA, L.L. de M. .; FILIPPI, M.C.C de .; LANNA, A.C; FERREIRA, E.P. de B.; CRUZ, R.D.C.; LACERDA, M.C.; FERREIRA, E.A. Rizobactérias multifuncionais: uso na agricultura. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, v. 11, n. 4, pág. e3111426971, 2022.
- STOFFEL, S.C.G. **Inoculante micorrízico a base de *Rhizophagus intradices* no crescimento e nutrição de culturas de importância agrícola**. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Recursos Genéticos Vegetais, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019.
- STOFFEL, S.C.G., SOARES, C.R.F.S., MEYER, E., LOVATO, P.E. & GIACHINI, A.J. 2020. Rendimento de grãos da cultura do milho com inoculante micorrízico arbuscular comercial no Brasil. **Ciência Rural, Santa Maria**, v.50:7, p. e20200109, 2020a.
- STOFFEL, S.C.G.; SOARES, C.R.F.S.; MEYER, E.; LOVATO, P.E.; GIACHINI, A.J. Yield increase of soybean inoculated with a commercial arbuscular mycorrhizal inoculant in Brazil. **African Journal of Agricultural Research**, v. 16, n. 5, p. 702-713, 2020b.
- VALER, E.K., CIRPIANI, K., BIAZUSSI, C., PAPPEN, A., SORDI, A., CERICATO, A., & LAJÚS, C.R. 2017. Rendimento do milho (*Zea mays L.*) inoculado com *Azospirillum brasilense* e fertilizado com nitrogênio mineral. **Unoesc & Ciência-ACET**, v. 8, n. 1, p. 79-86, 2017.
- VERA, T.R., GARCÍA, A.J.B., ÁLVAREZ, F.J.C., RUIZ, J.M., & MARTÍN, F.F. 2023. Application and effectiveness of *Methylobacterium symbioticum* as a biological inoculant in maize and strawberry crops. **Folia Microbiologica**, 1-11, 2023.
- VILAR, D. **Fixação biológica de nitrogênio na cultura da soja**. 2022. Disponível em: <https://agriconline.com.br/portal/artigos/fixacao-biologica-de-nitrogenio-na-cultura-da-soja/>. Acesso em: 12 de fevereiro de 2024.