doi.org/ 10.51891/rease.v12i11.31974

COINOCULAÇÃO NA CULTURA DA SOJA

CO-INOCULATION IN SOYBEAN (GLYCINE MAX L.) CROPS

COINOCULACIÓNS EM EL CULTIVO EM EL CULTIVO DE LA SOYA (GLYCINE MAS L.)

Dyane Frederico Pimenta[1]
Thiarles Cristian Aparecido Tonon[2]

RESUMO: O objetivo deste estudo foi sistematizar as evidências científicas sobre os impactos agronômicos, produtivos e ambientais da coinoculação na cultura da soja (Glycine max L.) com Bradyrhizobium e Azospirillum brasilense (2015–2025). Trata-se de uma revisão integrativa da literatura desenvolvida em seis etapas, com buscas nas bases CAPES, SciELO, Google Acadêmico, Redalyc e BDTD. Os resultados indicaram que a liberação de fito-hormônios pelo A. brasilense estimula o crescimento radicular e a proliferação de pelos absorventes, antecipando a infecção pelo Bradyrhizobium e reduzindo a carência nitrogenada inicial (N-hunger). Verificou-se aumento superior a 30% na nodulação e ganhos de produtividade de 8,1% a 16,1% (4,7 a 7,1 sacas/ha), além de maior tolerância a secas moderadas. Sob a perspectiva econômica e ambiental, a tecnologia gera ganho líquido de R$ 510,78 a R$ 572,56/ha, elimina fertilizantes nitrogenados sintéticos e reduz emissões de óxido nitroso, alinhando-se ao Plano ABC+ e ao Programa de Bioinsumos. Conclui-se que a coinoculação é uma biotecnologia rentável e sustentável, cuja eficiência máxima exige a adoção rigorosa das Boas Práticas de Inoculação.

Palavras-chave: Soja. Coinoculação. Bradyrhizobium. Azospirillum brasilense. Fixação biológica de nitrogênio

ABSTRACT: The objective of this study was to systematize scientific evidence regarding the agronomic, productive, and environmental impacts of soybean (Glycine max L.) co-inoculation with Bradyrhizobium and Azospirillum brasilense (2015–2025). This integrative literature review followed six methodological steps, searching CAPES, SciELO, Google Scholar, Redalyc, and BDTD databases. Results indicated that phytohormone release by A. brasilense stimulates root growth and root hair proliferation, accelerating Bradyrhizobium infection and mitigating early nitrogen starvation (N-hunger). A nodulation increase exceeding 30% and yield gains between 8.1% and 16.1% (4.7 to 7.1 bags/ha) were observed, along with enhanced tolerance to moderate drought. Economically and environmentally, the technology generates an additional net gain of R$ 510.78 to R$ 572.56/ha, eliminates synthetic nitrogen fertilizers, and reduces nitrous oxide emissions, aligning with the ABC+ Plan and the Bioinputs Program. It is concluded that co-inoculation is a profitable, sustainable biotechnology whose maximum efficiency requires strict adherence to Good Inoculation Practices.

Keywords: Soybean. Co-inoculation. Bradyrhizobium. Azospirillum brasilense. Biological nitrogen fixation.

RESUMEN: El objetivo de este estudio fue sistematizar la evidencia científica sobre los impactos agronómicos, productivos y ambientales de la coinoculación en el cultivo de soya

[1] Faculdade Cristo Rei – FACCREI.
[2] Faculdade Cristo Rei – FACCREI.

(Glycine max L.) con Bradyrhizobium y Azospirillum brasilense (2015–2025). Se trata de una revisión integrativa de la literatura desarrollada en seis etapas, con búsquedas en las bases CAPES, SciELO, Google Académico, Redalyc y BDTD. Los resultados indicaron que la liberación de fitohormonas por parte de A. brasilense estimula el crecimiento radicular y la proliferación de pelos absorbentes, anticipando la infección por Bradyrhizobium y reduciendo la carencia nitrogenada inicial (N-hunger). Se verificó un aumento superior al 30% en la nodulación y ganancias de productividad del 8,1% al 16,1% (4,7 a 7,1 sacos/ha), además de mayor tolerancia a sequías moderadas. Desde la perspectiva económica y ambiental, la tecnología genera una ganancia neta de R$ 510,78 a R$ 572,56/ha, elimina fertilizantes nitrogenados sintéticos y reduce emisiones de óxido nitroso, alineándose con el Plan ABC+ y el Programa de Bioinsumos. Se concluye que la coinoculación es una biotecnología rentable y sostenible, cuya máxima eficiencia exige la adopción rigurosa de las Buenas Prácticas de Inoculación.

Palabras clave: Soya. Coinoculación. Bradyrhizobium. Azospirillum brasilense. Fijación biológica de nitrógeno.

1 INTRODUÇÃO

A cultura da soja (*Glycine max* L.) constitui um dos pilares de maior relevância socioeconômica do agronegócio brasileiro, consolidando o país na liderança da produção e exportação mundial da oleaginosa. Estimativas da Companhia Nacional de Abastecimento indicam que a safra nacional 2025/2026 poderá alcançar volumes recordes na faixa de 177 a 178 milhões de toneladas de grãos1, desempenhando papel geoestratégico no suprimento de proteínas e óleos vegetais para os mercados interno e internacional. A obtenção de elevados tetos produtivos nessa cultura está intrinsecamente vinculada ao manejo nutricional equilibrado, com destaque para a demanda por nitrogênio (N), macronutriente essencial à síntese de proteínas, enzimas fotossintéticas e clorofila5. Estima-se que a soja demande cerca de 80 kg de N para cada tonelada de grãos produzidos6, exigência que, se suprida via fertilizantes minerais sintéticos, inviabilizaria economicamente a lavoura e provocaria severos impactos ambientais, tais como a lixiviação de nitratos em lençóis freáticos e o aumento da pegada de carbono agrícola decorrente da emissão de óxido nitroso.

Historicamente, a viabilidade técnica e a competitividade da sojicultura em solos tropicais assentam-se na Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN), simbiose altamente especializada estabelecida entre a planta hospedeira e bactérias diazotróficas do gênero *Bradyrhizobium* (*B. japonicum*, *B. diazoefficiens* e *B. elkanii*). A reinoculação anual com estirpes bacterianas selecionadas pela pesquisa brasileira proporciona, comprovadamente, a substituição completa dos adubos nitrogenados químicos industriais, conferindo um ganho médio contínuo

de produtividade de 8% mesmo em áreas com populações de rizóbios previamente estabelecidas no solo.

Todavia, pesquisas de fisiologia vegetal demonstram que, entre o esgotamento das reservas cotiledonares e o estabelecimento pleno da atividade enzimática da nitrogenase nos nódulos, as plântulas frequentemente atravessam um período transitório de carência nitrogenada inicial (*N-hunger*). Esse gargalo inicial, somado à ocorrência de estresses abióticos frequentes como veranicos e altas temperaturas, tem estimulado a busca por manejos microbiológicos complementares.

Nesse cenário, a coinoculação surgiu como uma biotecnologia inovadora e sinérgica, fundamentada na aplicação associada do *Bradyrhizobium* com a bactéria promotora do crescimento vegetal (*Plant Growth-Promoting Rhizobacteria* - PGPR) *Azospirillum brasilense* (estirpes elite Ab-V5 e Ab-V6). Enquanto o *Bradyrhizobium* atua na infecção e conversão do oxido nitroso atmosférico em formas nitrogenadas assimiláveis pela planta, e a contribuição primordial do *A. brasilense* decorre da síntese e exsudação contínua de fito-hormônios, notadamente auxinas (como o ácido indol-3-acético - AIA), giberelinas e citocininas79. Essa sinalização hormonal exógena altera profundamente a morfologia do sistema radicular, induzindo o elongamento das raízes e multiplicando a densidade de pelos absorventes. Como os pelos radiculares constituem a porta de entrada anatômica primária para a infecção pelo *Bradyrhizobium*, esse estímulo morfológico antecipa a nodulação na coroa radicular, mitiga a fome inicial de nitrogênio e expande o volume de solo explorado para a absorção de água e nutrientes.

Apesar do expressivo potencial biotecnológico, a literatura científica produzida entre 2015 e 2025 relata variações agronômicas marcantes quando se comparam ensaios sob condições controladas de casa de vegetação, parcelas oficiais de campo e redes de monitoramento comercial em lavouras. Além disso, persistem dúvidas operacionais entre técnicos e agricultores no que tange às vias de aplicação (semente versus sulco de semeadura), compatibilidade com agroquímicos, dosagens ideais para prevenir fitotoxidez hormonal e balanço com micronutrientes essenciais como Cobalto e Molibdênio.

Portanto diante dessa conjuntura, o objetivo deste estudo foi sistematizar as evidências científicas publicadas entre 2015 e 2025 acerca dos efeitos agronômicos, produtivos, econômicos e ambientais da coinoculação da soja com *Bradyrhizobium* e *Azospirillum brasilense*, fornecendo

subsídios técnicos consolidados para a tomada de decisão no campo sob a ótica da sustentabilidade.

2 MÉTODOS

O presente estudo caracterizou-se como uma pesquisa de revisão integrativa da literatura, método científico que possibilitou a síntese e a análise crítica do estado da arte sobre a coinoculação na cultura da soja (*Glycine max L.*) ao reunir e sistematizar evidências empíricas e teóricas dispersas na literatura. Conforme estruturado nos referenciais teórico-metodológicos de Mendes, Silveira e Galvão (2008) e Souza, Silva e Carvalho (2010), o delineamento da pesquisa operacionalizou-se em seis etapas consecutivas e interdependentes: (1) identificação do tema e formulação da pergunta de revisão; (2) estabelecimento dos critérios de inclusão e exclusão com a busca bibliográfica nas bases de dados; (3) definição das informações a serem extraídas e categorização dos estudos; (4) avaliação da qualidade metodológica e risco de viés dos trabalhos incluídos; (5) interpretação e síntese analítica dos resultados; e (6) apresentação clara da síntese do conhecimento [1, 2].

A primeira etapa assentou-se na definição do problema e na formulação da pergunta de pesquisa por meio da estratégia adaptada PICo (População, Intervenção, Comparador, Outcome/Desfecho), conforme preconizado por Souza, Silva e Carvalho (2010). Povoou-se a população (P) com a cultura da soja (*Glycine max L.*); a intervenção (I) com a coinoculação simultânea de bactérias do gênero *Bradyrhizobium* spp. e *Azospirillum* brasilense; o comparador (C) com os tratamentos de testemunha não inoculada ou inoculação simples com *Bradyrhizobium*; e o desfecho (o) com os parâmetros morfo-fisiológicos de nodulação, produtividade de grãos (kg/ha e sacas/ha), retorno financeiro líquido e sustentabilidade ambiental [3, 4]. Desta forma, formulou-se a seguinte pergunta condutora: "Quais são os impactos agronômicos, produtivos e ambientais da coinoculação com *Bradyrhizobium* e *Azospirillum* brasilense na cultura da soja, segundo a literatura publicada entre 2015 e 2025?" [5].

A segunda etapa compreendeu a busca bibliográfica sistematizada, conduzida entre os meses de maio e junho de 2026, com recorte temporal fixado para publicações efetuadas entre 2015 e 2025, abarcando artigos redigidos nos idiomas português, inglês e espanhol [5]. A coleta de dados efetuou-se mediante acesso remoto a cinco bases de dados e repositórios digitais de elevada relevância científica: o portal Periódicos CAPES, a plataforma SciELO (Scientific Electronic Library Online), o Google Acadêmico, a rede Redalyc (Red de Revistas Científicas

de América Latina y el Caribe, España y Portugal) e a Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/CAPES), além de consulta direta ao acervo técnico-científico institucional da Embrapa Soja (Circulares e Documentos Técnicos), conforme respaldado por Prando et al. (2019, 2025) e Frederico (2026) [1, 3, 4, 5].

Para a consulta nas bases de dados, selecionaram-se vocábulos controlados presentes nos DeCS (Descritores em Ciências da Saúde), Agrovoc (FAO) e MeSH (Medical Subject Headings), combinados a termos livres e sinônimos nos três idiomas [5]. Utilizaram-se os operadores booleanos AND e OR para a construção das equações de busca. Em português, empregaram-se as combinações: ("coinoculação" OR "co-inoculação" OR "coinoculacao") AND ("soja" OR "*Glycine max*") AND ("*Bradyrhizobium*") AND ("*Azospirillum* brasilense") AND ("produtividade" OR "nodulação"). Em inglês, a string estruturou-se como: ("co-inoculation" OR "coinoculation") AND ("soybean" OR "Glycine max") AND ("*Bradyrhizobium*") AND ("*Azospirillum* brasilense") AND ("crop yield" OR "nodulation"). Em espanhol, adotou-se: ("coinoculación" OR "coinoculacion") AND ("soya" OR "soja") AND ("*Bradyrhizobium*") AND ("*Azospirillum* brasilense"). Estratégias secundárias incorporaram termos específicos associados às modalidades de aplicação ("sulco", "semente", "furrow", "seed treatment") e indicadores de viabilidade ("retorno econômico", "lucro líquido", "custo") [1, 3, 4].

A terceira etapa consistiu na definição dos critérios de elegibilidade e na seleção do corpus bibliográfico. Os critérios de inclusão delimitaram: (a) artigos científicos originais publicados em periódicos com arbitragem por pares, teses, dissertações e documentos ou circulares técnicas oficiais institucionais (ex.: Embrapa); (b) pesquisas publicadas entre 2015 e 2025 nos idiomas estabelecidos; (c) estudos empíricos e experimentais que avaliaram diretamente a coinoculação conjunta de *Bradyrhizobium* spp. (*B. japonicum*, *B. diazoefficiens*, *B. elkanii*) e *Azospirillum* brasilense (estirpes Ab-V5 e Ab-V6 ou equivalentes registradas) na cultura da soja; (d) trabalhos que apresentaram dados quantitativos mensuráveis e estatisticamente analisados de nodulação, acúmulo de biomassa radicular/aérea, teor de N, produtividade de grãos ou retorno financeiro; e (e) pesquisas que explicitaram os tratamentos de controle e as condições experimentais [3, 4, 6, 7]. Por outro lado, estabeleceram-se como critérios de exclusão: (a) resumos simples ou expandidos publicados em anais de eventos, editoriais, notas prévias, matérias jornalísticas e revisões narrativas não sistemáticas; (b) pesquisas direcionadas exclusivamente a outras culturas agrícolas (milho, feijão, trigo); (c) estudos avaliando estirpes microbianas sem registro oficial no Ministério da Agricultura e

Pecuária (MAPA); e (d) trabalhos sem grupo de controle apropriado, com metodologias incompletas ou sem análise estatística reprodutível [3, 4, 8].

O processo de triagem e remoção de duplicatas foi executado mediante a importação de todos os registros recuperados para o gerenciador de referências bibliográficas e checagem complementar em planilha digital padronizada [5]. A seleção dos estudos transcorreu em três fases sequenciais alinhadas ao protocolo internacional PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), conforme documentado por Mendes, Silveira e Galvão (2008) [1]: na primeira fase, realizou-se a leitura dos títulos e a eliminação automatizada e manual de duplicatas; na segunda fase, efetuou-se a leitura reflexiva dos resumos (abstracts), aplicando-se os critérios de inclusão e exclusão; e, na terceira fase, os artigos pré-selecionados foram lidos na íntegra para verificação final de elegibilidade e extração dos dados [1, 5].

A quarta etapa consistiu na avaliação da qualidade metodológica e no risco de viés dos estudos elegíveis lidos na íntegra (44 trabalhos), adaptando-se critérios de avaliação crítica (Critical Appraisal) específicos para ensaios agronômicos e microbiológicos [1, 2]. Avaliou-se a consistência dos estudos com base em cinco parâmetros formais: (a) clareza e adequação do delineamento experimental (presença de blocos casualizados, inteiramente casualizados ou amostragem padronizada em redes de URTs em lavouras comerciais); (b) caracterização explícita e procedência das estirpes microbianas (uso das estirpes oficiais Ab-V5 e Ab-V6 registradas no MAPA); (c) caracterização detalhada das condições de cultivo e ambiente (casa de vegetação, parcelas de campo sob experimento oficial ou áreas comerciais, tipo de solo e histórico de cultivo); (d) presença e especificação dos tratamentos de referência/controle (testemunha sem inoculação, testemunha com N mineral ou inoculação simples com *Bradyrhizobium*); e (e) aplicação de análise estatística apropriada (análise de variância - ANOVA, teste de comparação de médias a 5% de probabilidade ou análise meta-analítica com intervalo de confiança) [3, 4, 6, 7, 9]. Trabalhos que apresentaram deficiência no delineamento estatístico, contaminação microbiológica não controlada ou falta de clareza nos tratamentos foram desconsiderados, garantindo que apenas publicações de elevada qualidade metodológica (16 estudos principais) compusessem a síntese quantitativa final [1, 5].

A quinta etapa abrangeu a extração de dados, a categorização analítica e a padronização dos resultados para assegurar a comparabilidade entre os experimentos [1, 2]. A extração dos dados foi efetuada em planilha eletrônica catalogando-se: autoria, ano de publicação, periódico, local/região edafoclimática, tipo de experimento (casa de vegetação, parcelas em DBC, URTs

comerciais ou meta-análise), cultivares de soja, modalidade de inoculação (semente vs. sulco de semeadura), dosagens aplicadas, tratamentos de controle, variáveis resposta quantitativas (número de nódulos/planta, massa seca nodular em g/planta, produtividade em kg/ha e sacas/ha, receita líquida em R$/ha) e fatores intervenientes (estresse hídrico, adubação com Cobalto e Molibdênio, e agrotóxicos no tratamento de sementes) [3, 4, 6, 7, 8, 10].

Para viabilizar a comparação direta entre pesquisas conduzidas em ambientes e safras distintas, os dados de produtividade originalmente reportados em kg/ha foram padronizados para sacas por hectare (60 kg/saca), e os ganhos foram expressos tanto em valores absolutos quanto em percentuais de incremento relativo em relação ao respectivo tratamento de controle de cada estudo [3, 4, 6]. Os achados foram sintetizados e estruturados em três categorias temáticas centrais: Categoria 1 (C1) Efeitos no crescimento e desenvolvimento vegetal (morfologia radicular, densidade de pelos absorventes, precocidade e massa nodular); Categoria 2 (C2) Impactos na produtividade e desempenho agronômico sob diferentes condições edafoclimáticas e estresse hídrico; e Categoria 3 (C3) Implicações ambientais, eficiência no uso de insumos, manejo com Cobalto e Molibdênio, Boas Práticas de Inoculação e retorno financeiro líquido para o produtor rural [1, 3, 4, 5, 8, 10].

A sexta e última etapa compreendeu a interpretação e a síntese analítica dos dados por meio de uma abordagem crítico-narrativa e comparativa, discutindo-se as convergências, divergências e lacunas da literatura [1, 2]. Por pautar-se exclusivamente em publicações científicas e documentos de domínio público, a pesquisa dispensou a submissão ao sistema CEP/CONEP, mantendo estrito rigor ético na citação dos autores, respeito aos direitos autorais e fidelidade às normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas ABNT NBR 6023:2018 e NBR 10520:2023 [1, 2, 5].

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização do corpus, origem dos dados e contexto experimental

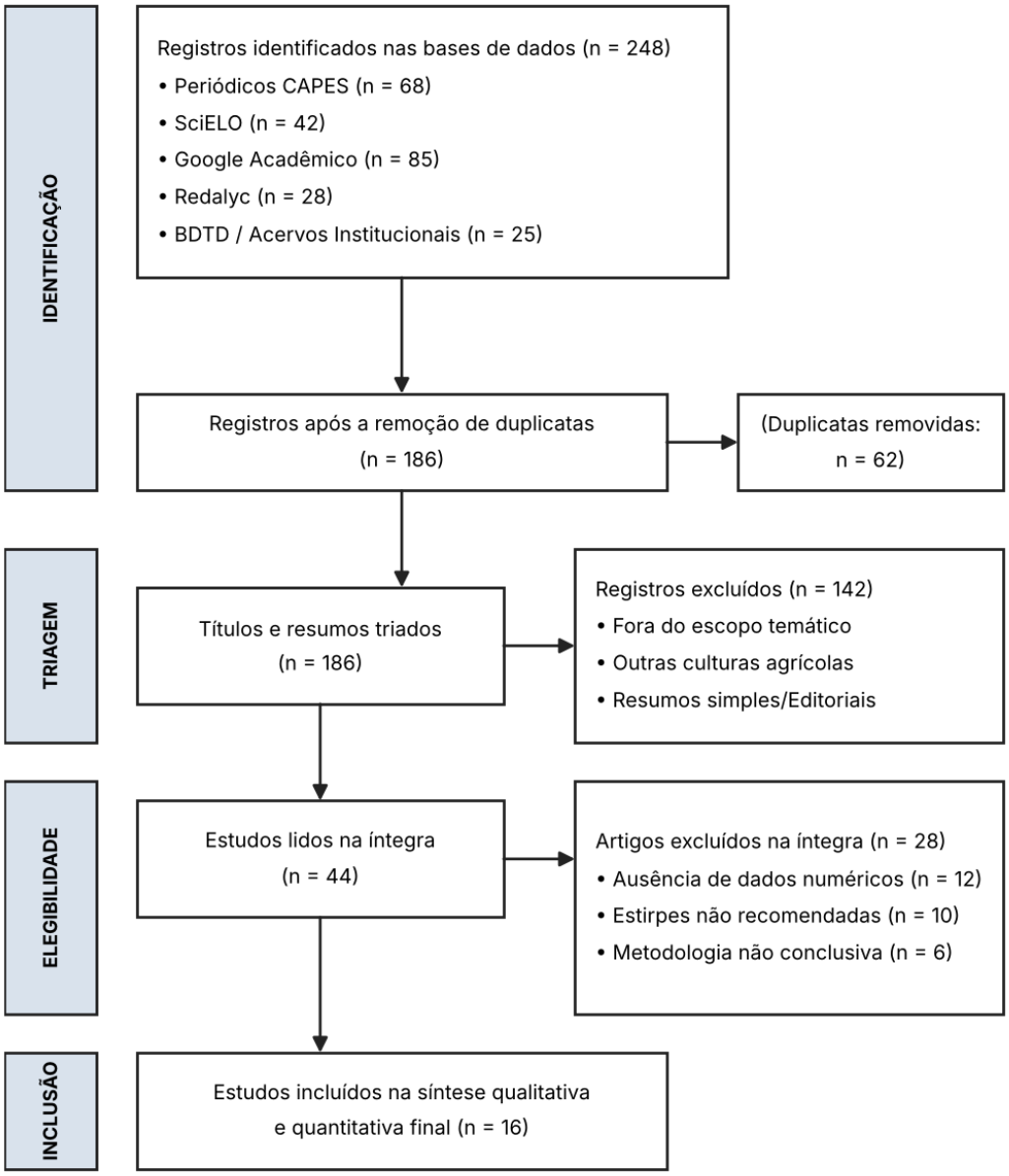
A interpretação dos impactos agronômicos, produtivos e ambientais da coinoculação da soja (*Glycine max L.*) exige o detalhamento prévio da origem dos dados e das condições experimentais nas quais as pesquisas foram conduzidas. A literatura científica produzida entre 2015 e 2025 reúne diferentes abordagens metodológicas, que variam desde ensaios de casa de vegetação em vasos de Leonard78 e experimentos oficiais em parcelas de campo com delineamento em blocos casualizados12 até redes de validação tecnológica em Unidades de

Referência Tecnológica (URTs) implantadas diretamente em lavouras comerciais e sínteses estatísticas por meta-análise.

Os percentuais e incrementos de produtividade e nodulação relatados no presente estudo não representam uma cifra genérica e homogênea, mas sim o agrupamento de três níveis de evidência : (a) ensaios oficiais de eficiência agronômica, conduzidos sob protocolo do Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA - Instrução Normativa nº 13/2011) por Hungria, Nogueira e Araujo (2013, 2015), envolvendo quatro experimentos em dois locais (Londrina e Ponta Grossa-PR) por duas safras, com seis repetições em blocos casualizados e dose definida de $2,5 \times 10^5$ células de *Azospirillum brasilense* por semente aplicadas via sulco; (b) redes demonstrativas de validação em escala comercial, coordenadas pelo IDR-Paraná e Embrapa Soja ao longo de sete safras agrícolas (302 URTs em lavouras de produtores assistidos), cujos dados capturam a heterogeneidade real de solos, cultivares, épocas de semeadura e rotação de culturas; e (c) estudos de meta-análise nacional, como o de Barbosa et al. (2021), que sintetizou os resultados de 51 ensaios de campo distribuídos em 39 localidades brasileiras sob modelo de efeitos aleatórios.

A busca bibliográfica sistematizada nas cinco bases de dados (Periódicos CAPES, SciELO, Google Acadêmico, Redalyc e BDTD) e acervos institucionais resultou na recuperação inicial de 248 registros. Após a identificação e remoção de 62 duplicatas, restaram 186 estudos para a fase de triagem. A análise reflexiva dos títulos e resumos levou à exclusão de 142 trabalhos por não atenderem aos critérios de elegibilidade (estudos em outras culturas agrícolas, resumos simples de anais, matérias jornalísticas e abordagens sem foco na coinoculação simultânea entre *Bradyrhizobium* e *Azospirillum*). Os 44 artigos restantes foram submetidos à leitura na íntegra, dos quais 28 foram excluídos por não disponibilizarem dados quantitativos estatísticos, metodologias reprodutíveis ou por avaliarem estirpes microbianas não recomendadas. Dessa forma, o corpus final desta revisão integrativa consolidou-se em 16 publicações principais (artigos científicos em periódicos com revisão por pares, teses, dissertações e circulares técnicas oficiais), conforme detalhado no fluxograma do protocolo PRISMA.

Figura 1 – Fluxograma PRISMA do processo de busca, triagem, elegibilidade e inclusão dos estudos na revisão integrativa.



Fonte: Elaborado pela autora (2026), com base no protocolo PRISMA (MENDES; SILVEIRA; GALVÃO, 2008).

3.2 Categoria 1 (C1): Efeitos sobre o crescimento e desenvolvimento vegetal (morfologia radicular, pelos absorventes e precocidade nodular)

A análise dos indicadores morfofisiológicos confirma que a aplicação combinada de bactérias diazotróficas (*Bradyrhizobium japonicum* SEMIA 5079 e *Bradyrhizobium diazoefficiens* SEMIA 5080) e bactérias promotoras do crescimento vegetal (*Azospirillum* brasilenses estirpes Ab-V5 e Ab-V6) atua mediante sinergismo biológico. Conforme demonstrado por Chibeba et

al. (2015) em ensaios de casa de vegetação e campo, a contribuição primordial do A. brasilense não reside na Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN) isolada que é quantitativamente pequena frente à demanda da cultura, mas sim na exsudação contínua de fito-hormônios, sobretudo auxinas (ácido indol-3-acético - AIA), giberelinas e citocininas. Esse aporte hormonal exógeno estimula a divisão celular no córtex radicular, promovendo o elongamento e a ramificação das raízes e multiplicando a densidade de pelos absorventes.

Como os pelos radiculares constituem os sítios anatômicos primários de infecção pelos rizóbios, a proliferação radicular induzida pelo *Azospirillum* multiplica as portas de entrada para a bactéria simbionte. Em termos fisiológicos, esse mecanismo minimiza a carência nitrogenada inicial (N-hunger), fenômeno de escassez temporária descrito por Atkins et al. (1989) e Chibeba et al. (2015) que ocorre entre o esgotamento das reservas cotiledonares da semente e o início da fixação simbiótica funcional. Em avaliações de campo aos 18 e 21 dias após a emergência (DAE), Chibeba et al. (2015) registraram um aumento de até 136% no número de nódulos ativos na coroa radicular das plantas coinoculadas em relação à inoculação simples com *Bradyrhizobium*.

A magnitude da resposta nodular em lavouras comerciais foi documentada no acompanhamento das URTs por Prando et al. (2019, 2025). Na amostragem de 22 URTs na safra 2024/2025 (entre 25 e 35 DAE), as plantas coinoculadas apresentaram média de 23,5 nódulos por planta frente a 15,1 nódulos na testemunha não coinoculada, representando um incremento médio de +55,6% na nodulação de coroa, com aumentos verificados em 100% dos locais avaliados (variação individual de 1,5% a 124%). Quanto à massa seca nodular (MNS), Prando et al. (2019) reportaram um ganho de 48% nas URTs (passando de 0,15 g para 0,22 g/planta aos 30 DAE), enquanto Chibeba et al. (2015) observaram acréscimos de até 77% em condições experimentais controladas. Na síntese nacional de Barbosa et al. (2021), a coinoculação resultou em aumentos médios estatisticamente significativos de +5,4% no número e +10,6% na massa seca de nódulos.

3.3 Categoria 2 (C2): Efeitos sobre o crescimento, desenvolvimento e nodulação vegetal

A análise dos indicadores morfofisiológicos confirma que a aplicação combinada de bactérias diazotróficas (*Bradyrhizobium japonicum* SEMIA 5079 e *Bradyrhizobium diazoefficiens* SEMIA 5080) e bactérias promotoras do crescimento vegetal (*Azospirillum brasilense* estirpes Ab-V5 e Ab-V6) atua mediante sinergismo biológico. Conforme demonstrado por Chibeba et al. (2015) em ensaios de casa de vegetação e campo, a contribuição primordial do A. brasilense não reside na Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN) isolada que é quantitativamente pequena

frente à demanda da cultura, mas sim na exsudação contínua de fito-hormônios, sobretudo auxinas (ácido indol-3-acético - AIA), giberelinas e citocininas. Esse aporte hormonal exógeno estimula a divisão celular no córtex radicular, promovendo o elongamento e a ramificação das raízes e multiplicando a densidade de pelos absorventes.

Como os pelos radiculares constituem os sítios anatômicos primários de infecção pelos rizóbios, a proliferação radicular induzida pelo *Azospirillum* multiplica as portas de entrada para a bactéria simbionte. Em termos fisiológicos, esse mecanismo minimiza a carência nitrogenada inicial (N-hunger), fenômeno de escassez temporária descrito por Atkins et al. (1989) e Chibeba et al. (2015) que ocorre entre o esgotamento das reservas cotiledonares da semente e o início da fixação simbiótica funcional. Em avaliações de campo aos 18 e 21 dias após a emergência (DAE), Chibeba et al. (2015) registraram um aumento de até 136% no número de nódulos ativos na coroa radicular das plantas coinoculadas em relação à inoculação simples com *Bradyrhizobium*.

A magnitude da resposta nodular em lavouras comerciais foi documentada no acompanhamento das URTs por Prando et al. (2019, 2025). Na amostragem de 22 URTs na safra 2024/2025 (entre 25 e 35 DAE), as plantas coinoculadas apresentaram média de 23,5 nódulos por planta frente a 15,1 nódulos na testemunha não coinoculada, representando um incremento médio de +55,6% na nodulação de coroa, com aumentos verificados em 100% dos locais avaliados (variação individual de 1,5% a 124%). Quanto à massa seca nodular (MNS), Prando et al. (2019) reportaram um ganho de 48% nas URTs (passando de 0,15 g para 0,22 g/planta aos 30 DAE), enquanto Chibeba et al. (2015) observaram acréscimos de até 77% em condições experimentais controladas. Na síntese nacional de Barbosa et al. (2021), a coinoculação resultou em aumentos médios estatisticamente significativos de +5,4% no número e +10,6% na massa seca de nódulos.

3.4 Categoria 3 (C3): Retorno econômico, sustentabilidade, nutrição com CoMo e boas práticas

A viabilidade econômica da coinoculação é impulsionada pelo baixo custo relativo dos inoculantes microbianos. Prando et al. (2025) estimaram o custo combinado da dose de *Bradyrhizobium* e *Azospirillum* em R$ 25,67 por hectare. Considerando o preço médio da saca de soja de 60 kg praticado no Paraná em março de 2025 (R$ 135,00/sc), o incremento médio de 5,02 sacas/ha na safra 2024/2025 resultou em um lucro líquido adicional de R$ 572,56 por hectare. Na média consolidada das sete safras (302 URTs), o retorno líquido adicional fixou-se em R$ 510,78/ha. Sob a ótica ambiental e macroeconômica, Telles, Nogueira e Hungria (2023)

demonstram que a FBN e a coinoculação eliminam a necessidade de fertilizantes nitrogenados minerais sintéticos na soja, evitando a emissão de óxido nitroso e prevenindo a contaminação de águas subterrâneas por nitratos, gerando uma economia bilionária de divisas para o Brasil e alinhando o setor ao Plano ABC+ e ao Programa Nacional de Bioinsumos do MAPA (2022).

A expressão desses benefícios exige a nutrição adequada com Cobalto (Co) e Molibdênio (Mo). Conforme Sfredo e Carrão-Panizzi (1990) e Broch e Ranno (2011), o Molibdênio é o cofator estrutural do complexo enzimático nitrogenase e da nitrato redutase, enquanto o Cobalto é essencial para a síntese de cobalamina nos bacterioides. Os autores Prando et al. (2019) observaram que a aplicação foliar de CoMo (2–3 g/ha de Co e 12–25 g/ha de Mo em V3–V5) esteve presente em 14 dos 15 locais que apresentaram as maiores respostas positivas de produtividade à coinoculação.

Por fim, a consolidação da tecnologia depende da adesão ao protocolo de Boas Práticas de Inoculação. Destaca-se o crescimento da inoculação via sulco de semeadura no Paraná, que expandiu de 7% (2018/2019) para 26% dos produtores (2024/2025) por isolar as bactérias da toxicidade direta dos agrotóxicos do tratamento industrial de sementes. Ademais, condena-se a aplicação turfosa "seca na caixa" da semeadora sem solução adesiva açucarada a 10% (que caiu de 73% em 2016/2017 para 13% em 2024/2025), alerta-se contra os riscos sanitários da produção caseira não regulamentada (*"on-farm"*) e veda-se terminantemente a semeadura em solo seco (*"no pó"*).

3.5 Síntese analítica e recomendações derivadas dos resultados

Para compreender a amplitude e a constância dos efeitos da coinoculação (Bradyrhizobium spp. + Azospirillum brasilense) na cultura da soja, faz-se necessário contextualizar a heterogeneidade metodológica e o ambiente experimental das pesquisas analisadas. Os estudos resgatados na literatura abrangem desde ensaios de casa de vegetação e experimentos de campo em blocos casualizados oficiais até redes de validação em Unidades de Referência Tecnológica (URTs) conduzidas em lavouras comerciais e meta-análises nacionaisTabela.

A tabela detalha a matriz comparativa de evidências, discriminando as condições ambientais, os tratamentos de referência (controle), a modalidade de coinoculação testada e as variáveis de nodulação, produtividade e retorno econômico mensuradas.

Estudo / Autores e Ano	Ambiente e Delineamento Experimental	Tratamento de Referência (Controle)	Tratamento de Coinoculação Avaliado e dose.	Variáveis e Incrementos mensurados
Chibeba et al. (2015)	Casa de vegetação (vasos de Leonard) e campo (Londrina-PR, DBC com 6 repetições).	Inoculação simples com Bradyrhizobium na semente ($1,2 \times 10^6$ céls/sem).	Brady na semente + A. brasilense Ab-V5/Ab-V6 na semente ($1,2 \times 10^5$ céls/sem).	Nodulação precoce e N total: Aumento de até +136% no nº de nódulos aos 18–21 DAE. Incremento na MNS (+77%) e N total acumulado aos 21–28 DAE
Hungria, Nogueira e Araujo (2013, 2015)	Ensaios Oficiais do MAPA em campo (Londrina e Ponta Grossa-PR, 2 safras, 4 locais, DBC, (n=6).	Testemunha Não Inoculada (NI) e Inoculação Simples (Brady na semente).	Brady na semente ($1,2 \times 10^6$) céls/sem) + Azo no sulco ($2,5 \times 10^5$ céls/sem)	Produtividade de grãos: Brady simples: +8,4% (+222 kg/ha). Coinoculação no sulco: +16,1% (+427 kg/ha ou +7,1 sc/ha) sobre NI; +7,1% (+205 kg/ha ou +3,4 sc/ha) sobre Brady simples.
Prando et al. (2019)	Lavouras comerciais / URTs (61 URTs no Paraná, safra 2018/19; acompanhamento do IDR-Paraná/Embrapa).	Testemunha sem inoculação (população de rizóbios estabelecida no solo).	Coinoculação (Bradyrhizobium + A. brasilense) via semente ou sulco.	Nodulação e Produtividade: Aumento de +34% no nº de nódulos (15,5 para 20,8/planta) e +48% na MNS (0,15 para 0,22 g/planta). Produtividade: +8,3% (+4,3 sc/ha ou +259 kg/ha). Lucro líquido adicional: R$ 296,00/há.
Prando et al. (2025)	Lavouras comerciais / URTs (22 URTs no Paraná, safra 2024/25; 10 anos de programa).	Testemunha sem coinoculação (população estabelecida do solo).	Coinoculação (Bradyrhizobium + A. brasilense) em condições comerciais.	Nodulação e Produtividade: Aumento de +55,6% no nº de nódulos (15,1 para 23,5/planta). Produtividade: +8,3% (+5,02 sc/ha ou +301 kg/ha). Retorno financeiro líquido: R$ 572,56/há.
Prando et al. (2025) — Série Histórica	Série histórica consolidada de 7 safras (302 URTs no Paraná, 2017 a 2025).	Testemunha sem coinoculação	Coinoculação (Bradyrhizobium + A. brasilense).	Média Histórica: Produtividade da testemunha = 57,91 sc/há vs. Coinoculação = 62,58 sc/há. Ganho médio continuado de +8,06% (+4,67 sc/há). Receita líquida adicional média = R$ 510,78/há.
Prando et al. (2022, 2025).	Lavouras comerciais sob seca (36 URTs no Paraná, safra 2021/22 sob estiagem).	Testemunha sem coinoculação	Coinoculação (Bradyrhizobium + A. brasilense).	Estresse Hídrico: Resposta produtiva mais elevada da série histórica: +12,35% (+5,03 sc/ha), passando de 40,69 sc/ha para 45,72 sc/ha, evidenciando o efeito protetor da expansão radicular.
Barbosa et al. (2021)	Meta-análise nacional (51 ensaios de campo em 39 localidades brasileiras).	Inoculação simples / Testemunha. Bradyrhizobium / Testemunha.	Coinoculação (Bradyrhizobium + A. brasilense).	Síntese Nacional: Aumento significativo de +5,4% no nº de nódulos, +10,6% na massa seca de nódulos e +3,6% na produtividade de grãos.

Fonte: Elaborado pela autora (2026), com base em Chibeba et al. (2015), Hungria, Nogueira e Araujo (2013, 2015), Prando et al. (2019, 2022a, 2025) e Barbosa et al. (2021).

A análise da tabela revela que a magnitude dos ganhos de nodulação e produtividade está diretamente correlacionada ao nível de controle experimental e ao ambiente de cultivo. Em ensaios oficiais conduzidos com rígido controle de parcelas e delineamento em blocos casualizados, como os relatados por Hungria, Nogueira e Araujo (2015), o potencial máximo de resposta da coinoculação atinge 16,1% de aumento na produtividade. Em contrapartida, quando

avaliada em condições reais de produção em lavouras comerciais ao longo de 302 URTs no Paraná, a tecnologia estabiliza-se em um ganho médio continuado de 8,06% a 8,33% (+4,67 a +5,02 sacas/ha).

Essa diferenciação é fundamental: enquanto nas URTs o tratamento de referência (testemunha) consiste em lavouras não coinoculadas que já possuem populações estabelecidas de Bradyrhizobium no solo, nos ensaios oficiais do MAPA a comparação inclui tratamentos sem inoculação e com inoculação simples na semente. Além disso, a tabela evidencia a capacidade adaptativa da coinoculação frente a estresses abióticos: na safra 2021/2022, afetada por severa estiagem regional, o ganho relativo atingiu 12,35% (+5,03 sc/ha), confirmando que o estímulo radicular promovido pelo Azospirillum brasilense maximiza a retenção de água e a absorção de nutrientes mesmo sob restrição hídrica moderada.

3.6 Viabilidade ecônomica e sustentabilidade ambiental da coinoculação

A interpretação da viabilidade econômica apresentada na Tabela 7.1 exige a explicitação transparente da origem dos dados, das premissas de cálculo e dos cenários de mercado analisados, distinguindo com rigor conceitual receita bruta adicional, custos operacionais diretos, margem líquida adicional e retorno sobre o investimento (ROI). Os dados econômicos compilados no presente estudo originam-se da série histórica de sete safras (safra 2017/2018 a 2024/2025), abrangendo 302 Unidades de Referência Tecnológica (URTs) em lavouras comerciais distribuídas no estado do Paraná, acompanhadas tecnicamente pela parceria entre a Embrapa Soja e o Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná (IDR-Paraná).

O cálculo do ganho financeiro fundamenta-se na mensuração da diferença física de rendimento entre as áreas comerciais coinoculadas (*Bradyrhizobium* + *Azospirillum*) e as áreas testemunhas não coinoculadas da mesma propriedade rural (as quais contam exclusivamente com a população de rizóbios estabelecida no solo). Na safra 2024/2025 (22 URTs avaliadas), a coinoculação resultou em um acréscimo físico médio de produtividade de 5,02 sacas por hectare (301 kg/ha), elevando a produtividade de 60,25 sc/ha na testemunha para 65,27 sc/ha na área coinoculada. Para converter esse ganho físico em valores monetários, utilizou-se a cotação oficial do preço médio pago ao produtor pela saca de soja de 60 kg praticada no Paraná em março de 2025 (R$ 119,17/sc), apurada pelo Departamento de Economia Rural da Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento do Paraná. A partir dessa cotação, a receita bruta adicional gerada pelo acréscimo produtivo correspondeu a R$ 598,23 por hectare (5,02 sc/há) X

R$119,17/sc). Para a determinação da margem ou receita líquida adicional, foram deduzidos os custos diretos com a aquisição dos insumos biológicos. O custo total da dose dos inoculantes comerciais à base de *Bradyrhizobium* spp. e *Azospirillum* brasilense (estirpes registradas Ab-V5 e Ab-V6) foi fixado em R$ 25,67 por hectare. Cabe destacar que, na modalidade de inoculação no sulco de semeadura que já representa 26% das propriedades monitoradas no Paraná com custos operacionais acessórios (como a depreciação e manutenção da bomba de aplicação e consumo adicional de combustível) são da ordem de centavos por hectare e diluem-se na operação convencional de semeadura, não alterando a magnitude da margem. Subtraindo-se o custo dos inoculantes (R$ 25,67/ha) da receita bruta adicional (R$ 598,23/ha), obteve-se o ganho líquido adicional de R$ 572,56 por hectare na safra 2024/2025. Sob a perspectiva do Retorno sobre o Investimento (ROI = Receita Líquida / \Custo do Insumo), a relação atinge expressivos 2.230%, indicando que cada real aplicado na aquisição dos inoculantes proporcionou R$ 22,30 de lucro líquido adicional ao sojicultor.

A consistência temporal dessa vantagem financeira é corroborada pela série histórica consolidada de sete safras (302 URTs entre 2017 e 2025), na qual o ganho médio continuado foi de 4,67 sacas por hectare (+8,06%), com preço médio histórico ponderado de R$ 114,18 por saca e receita líquida média estável de R$ 510,78 por hectare. A análise discriminada da Tabela 7.1 demonstra que as variações no retorno líquido entre as safras decorrem precipuamente das oscilações da cotação internacional e cambial da saca de soja a qual variou de R$ 72,00/sc na safra 2018/2019 (lucro líquido de R$ 296,00/ha) a R$ 190,63/sc na safra 2021/2022 (lucro recorde de R$ 935,64/ha sob seca), visto que os custos dos inoculantes e a resposta biológica em sacas por hectare mantiveram-se previsíveis e controlados. Ressalta-se, contudo, como limitação metodológica inerente a ensaios de lavouras comerciais, que esse retorno líquido adicional pressupõe lavouras em que o manejo de plantas daninhas, pragas e fertilidade básica (fósforo e potássio) já esteja equacionado, não devendo o valor ser generalizado para áreas com manejo limitante ou semeadas sob solo completamente desidratado.

No âmbito da sustentabilidade ambiental, a literatura enfatiza que a FBN e a coinoculação desempenham papel decisivo na descarbonização da agricultura tropical. Conforme demonstrado por Hungria et al. (2007) e Telles, Nogueira e Hungria (2023), a simbiose com estirpes elite de *Bradyrhizobium* é capaz de fornecer mais de 300 kg de N por hectare, suprindo integralmente a exigência nutricional de lavouras de alto rendimento sem a aplicação de fertilizantes nitrogenados minerais de cobertura.

Essa dispensa de adubos sintéticos (como a ureia e o nitrato de amônio) elimina o consumo de combustíveis fósseis associado ao processo industrial de Haber-Bosch e previne a lixiviação de nitratos para aquíferos e lençóis freáticos. Sob a ótica climática, a redução do uso de fertilizantes químicos solúveis no solo mitiga substancialmente as emissões de óxido nitroso, gás de efeito estufa com potencial de aquecimento global cerca de 300 vezes superior ao do dióxido de carbono.

Contudo, a extensão dessa contribuição ecológica depende estritamente das condições de manejo: a substituição do fertilizante nitrogenado mineral é plenamente viável na soja comercial quando se respeita o protocolo de inoculação/reinoculação anual, a dosagem adequada de bactérias e o fornecimento de Cobalto e Molibdênio, enquanto a adoção isolada de *Azospirillum* sem *Bradyrhizobium* não possui capacidade de dispensar adubos nitrogenados químicos.

Essa conformidade técnica e ecológica ancora-se diretamente nas políticas públicas federais instituídas pelo Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA). A coinoculação insere-se como prática prioritária no âmbito do Plano Setorial de Adaptação à Mudança do Clima e Baixa Emissão de Carbono na Agricultura Plano ABC+ (Decreto nº 10.606/2021 e Resolução CIDES nº 1/2021), o qual estabelece metas formais para a expansão do Sistema Plantio Direto e da Fixação Biológica de Nitrogênio como instrumentos para a redução de emissões de carbono equivalente no agronegócio. De forma correspondente, a biotecnologia atende aos objetivos estratégicos do Programa Nacional de Bioinsumos, instituído pelo Decreto nº 10.375/2020 e regulamentado pela Portaria MAPA nº 350/2021, cuja finalidade é expandir a oferta e o uso seguro de insumos biológicos de base microbiana no território nacional.

Portando, respaldada por fontes regulatórias oficiais e dados empíricos de campo, a coinoculação transcende o papel de mero estímulo fisiológico, estabelecendo-se como uma tecnologia de alto impacto econômico para o produtor rural e de suporte estratégico às metas brasileiras de agricultura de baixo carbono.

4 CONCLUSÃO OU CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho apresenta a sistematização da literatura científica publicada entre 2015 e 2025 e a consolidação de dez anos de acompanhamento em Unidades de Referência Tecnológica (URTs) confirmam que a coinoculação entre Bradyrhizobium spp. (B. japonicum, B. diazoefficiens) e Azospirillum brasilense (estirpes Ab-V5 e Ab-V6) consolida-se como uma

biotecnologia de alta eficiência agronômica, viabilidade econômica e sustentabilidade ambiental para a sojicultura brasileira. A hipótese central do estudo foi plenamente ratificada, demonstrando que a exsudação de fito-hormônios (auxinas, giberelinas e citocininas) promovida pelo A. brasilense estimula o crescimento do sistema radicular e a proliferação de pelos absorventes. Essa alteração morfológica otimiza os sítios anatômicos preferenciais de infecção pelos rizóbios, atenuando o período de carência nitrogenada inicial (N-hunger) e promovendo uma nodulação mais precoce, abundante e concentrada na coroa radicular, com incrementos médios no número de nódulos superiores a 30%, atingindo até 55,6% em safras recentes.

Em termos produtivos, a otimização da Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN) e da arquitetura radicular converte-se em acréscimos médios de produtividade da ordem de 8,1% a 8,3% em lavouras comerciais (+4,7 a +5,0 sacas por hectare) e de até 16,1% (+7,1 sacas por hectare) em ensaios oficiais sob protocolo do MAPA. Pelo reduzido custo de aquisição dos inoculantes, a tecnologia oferece elevado retorno financeiro, gerando um acréscimo de receita líquida adicional média de R$ 510,78/ha no histórico de sete safras e de R$ 572,56/ha na safra 2024/2025. Sob a perspectiva ambiental, a dispensa integral de fertilizantes nitrogenados minerais resulta em economia de divisas para o país, reduz a pegada de carbono pela prevenção de emissões de óxido nitroso e previne a contaminação de águas subterrâneas por nitratos, alinhando a cultura da soja às diretrizes do Plano ABC+ e do Programa Nacional de Bioinsumos.

Para que os benefícios agronômicos da coinoculação sejam expressos com máxima constância e a variabilidade de respostas no campo seja minimizada, é indispensável a observância estrita do protocolo de Boas Práticas de Inoculação.

Assim recomenda-se a utilização exclusiva de produtos registrados no Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA) para a cultura da soja, mantidos sob transporte e armazenamento protegidos do sol e com temperaturas inferiores a 30 °C, vedando-se terminantemente a produção caseira não regulamentada ("on farm") em razão do severo risco sanitário de contaminação por patógenos e baixas concentrações celulares viáveis. Quanto ao dimensionamento de doses, deve-se assegurar o aporte mínimo de 1,2 milhão de células viáveis de Bradyrhizobium por semente (aumentando-se para 2,5 a 3 doses/ha na aplicação via sulco de semeadura ou em áreas de primeiro ano) e de uma dose por hectare de Azospirillum brasilense via semente (120.000 células/semente) ou duas doses via sulco, evitando-se elevações

desmedidas de dosagem para não induzir inibição do crescimento radicular por excesso hormonal.

Ademais, orienta-se priorizar a inoculação no sulco de semeadura por isolar as bactérias da toxicidade direta de agrotóxicos do tratamento industrial de sementes. Quando realizada via semente, a inoculação deve ser a última operação antes do plantio, sendo vedada a aplicação de inoculante turfoso "seco na caixa" sem solução adesiva açucarada a 10%. Complementarmente, é fundamental garantir o fornecimento de Cobalto (2–3 g/ha) e Molibdênio (12–25 g/ha) via foliar nos estádios V3–V5 ou em operação separada, por serem cofatores indispensáveis da enzima nitrogenase, e proibir a semeadura em solo desidratado ("no pó"), condição sob a qual a dessecação acelera a mortalidade bacteriana e suprime os benefícios da simbiose.

Apesar do avanço continuado da coinoculação nas lavouras brasileiras, identifica-se a necessidade de manter e intensificar as ações de transferência de tecnologia e extensão rural junto aos produtores para sanar dúvidas operacionais e superar gargalos de adoção. Sob a perspectiva da pesquisa científica em produção vegetal sustentável, recomenda-se que estudos futuros aprofundem a investigação sobre a interação da coinoculação em cenários de estresse hídrico severo e altas temperaturas, visando identificar estirpes microbianas com superior capacidade adaptativa.

Do mesmo modo, faz-se necessário avaliar a compatibilidade do Bradyrhizobium e do Azospirillum com novos princípios ativos de fungicidas, inseticidas e protetores celulares utilizados no tratamento industrial de sementes, além de explorar os efeitos da coinoculação em associação com outros bioinsumos emergentes, como fungos solubilizadores de fósforo. Por fim, a consolidação dessas evidências fortalece a base teórica para o manejo sustentável da soja, oferecendo segurança técnica para engenheiros-agrônomos e agricultores na transição para uma agricultura de baixo carbono.

REFERÊNCIAS

ATKINS, C. A. et al. Nitrogen nutrition of nodules in relation to 'N-hunger' in cowpea (Vigna unguiculata L. Walp). **Plant Physiology**, v. 90, n. 4, p. 1644-1649, 1989.

BARBOSA, J. Z. et al. Meta-analysis reveals benefits of co-inoculation of soybean with Azospirillum brasilense and Bradyrhizobium spp. in Brazil. **Applied Soil Ecology**, v. 163, e103913, p. 1-10, 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.103913.

BÁRBARO-TORNELI, I. M. et al. **Coinoculação da soja com Bradyrhizobium e Azospirillum**: avanços e perspectivas para a agricultura sustentável. Londrina: Embrapa Soja, 2018.

BOCATTI, C. R. et al. Microbiological quality analysis of inoculants based on Bradyrhizobium spp. and Azospirillum brasilense produced "on farm" reveals high contamination with non-target microorganisms. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 53, n. 1, p. 267-280, 2022. DOI: https://doi.org/10.1007/s42770-021-00649-2.

BROCH, D. L.; RANNO, S. K. **Fertilização do solo, adubação e nutrição da cultura da soja**. Maracaju: Fundação MS, 2011. (Fundação MS. Tecnologia e Produção: Soja e Milho 2011/2012).

BRASIL. **Decreto nº 10.375, de 26 de maio de 2020**. Institui o Programa Nacional de Bioinsumos e o Conselho Estratégico do Programa Nacional de Bioinsumos. Brasília, DF: Presidência da República, 2020.

BRASIL. **Decreto nº 10.606, de 22 de janeiro de 2021**. Institui o Plano Setorial para Adaptação à Mudança do Clima e Baixa Emissão de Carbono na Agropecuária com vistas ao Desenvolvimento Sustentável (2020-2030) - Plano ABC+. Brasília, DF: Presidência da República, 2021.

CAMPO, R. J.; ARAUJO, R. S.; HUNGRIA, M. Nitrogen fixation with the soybean crop in Brazil: compatibility between seed treatment with fungicides and bradyrhizobial inoculants. **Symbiosis**, v. 48, n. 1-3, p. 154-163, 2009. DOI: https://doi.org/10.1007/BF03179994.

CASSÁN, F.; DIAZ-ZORITA, M. Azospirillum sp. in current agriculture: from the laboratory to the field. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 103, p. 117-130, 2016. DOI: https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2016.08.020.

CEREZINI, P. et al. Strategies to promote early nodulation in soybean under drought. **Field Crops Research**, v. 196, p. 160-167, 2016. DOI: https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.06.017.

CHIBEBA, A. M. et al. Co-inoculation of soybean with Bradyrhizobium and Azospirillum promotes early nodulation. **American Journal of Plant Sciences**, v. 6, n. 10, p. 1641-1649, 2015. DOI: https://doi.org/10.4236/ajps.2015.610164.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**: safra 2025/2026. Brasília, DF: CONAB, 2026. Disponível em: https://www.conab.gov.br.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Tecnologias de inoculação e coinoculação para a cultura da soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2023. Disponível em: https://www.embrapa.br/soja.

FUKAMI, J.; CEREZINI, P.; HUNGRIA, M. Azospirillum: benefits that go far beyond biological nitrogen fixation. **AMB Express**, v. 8, n. 73, p. 1-12, 2018. DOI: https://doi.org/10.1186/s13568-018-0608-1.

FUKAMI, J.; NOGUEIRA, M. A.; HUNGRIA, M. Soybean co-inoculation with Bradyrhizobium spp. and Azospirillum brasilense: strategies to improve sustainability and crop yield. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 425, n. 1-2, p. 307-320, 2018. DOI: https://doi.org/10.1007/s11104-017-3542-5.

GALINDO, F. S. et al. Agronomic performance of soybean under co-inoculation with Bradyrhizobium and Azospirillum. **Agronomy Journal**, Madison, v. 112, n. 4, p. 2873-2885, 2020. DOI: https://doi.org/10.1002/agj2.20221.

GOLO, A. L. et al. Qualidade das sementes de soja com a aplicação de diferentes doses de molibdênio e cobalto. **Revista Brasileira de Sementes**, Pelotas, v. 31, n. 1, p. 40-49, 2009.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. C. **A importância do processo de fixação biológica do nitrogênio para a cultura da soja**: componente essencial para a competitividade do produto brasileiro. Londrina: Embrapa Soja, 2007. 80 p. (Embrapa Soja. Documentos, 283).

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A.; ARAUJO, R. S. Co-inoculation of soybeans and common beans with rhizobia and azospirilla: strategies to improve sustainability. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 49, n. 7, p. 791-801, 2013. DOI: https://doi.org/10.1007/s00374-012-0771-5.

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A.; ARAUJO, R. S. Soybean seed co-inoculation with Bradyrhizobium spp. and Azospirillum brasilense: a new biotechnological tool to improve yield and sustainability. **American Journal of Plant Sciences**, v. 6, n. 6, p. 811-817, 2015. DOI: https://doi.org/10.4236/ajps.2015.66087.

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A. Fixação biológica de nitrogênio. In: SEIXAS, C. D. S. et al. (ed.). **Tecnologias de produção de soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2020. p. 185-196. (Embrapa Soja. Sistemas de Produção, 17).

MENDES, I. C.; SILVEIRA, R. C. C.; GALVÃO, C. M. Revisão integrativa: método de pesquisa para a incorporação de evidências na saúde e na enfermagem. **Texto & Contexto - Enfermagem**, Florianópolis, v. 17, n. 4, p. 758-764, 2008.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). **Instrução Normativa nº 13, de 24 de março de 2011**. Aprova os requisitos para registro de inoculantes no MAPA. Brasília, DF: MAPA, 2011.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA (MAPA). **Programa Nacional de Bioinsumos**. Brasília, DF: MAPA, 2022. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura.

NOGUEIRA, M. A. et al. **Ações de transferência de tecnologia em inoculação/coinoculação com Bradyrhizobium e Azospirillum na cultura da soja na safra 2017/18 no estado do Paraná**. Londrina: Embrapa Soja, 2018. 16 p. (Embrapa Soja. Circular Técnica, 143).

PINTO, D. B. B. et al. Recovery of Bradyrhizobium cells and effects on the physiological quality of soybean seeds sown in dry soil. **Journal of Seed Science**, v. 45, e202345001, p. 1-11, 2023. DOI: https://doi.org/10.1590/2317-1545v45259694.

PRANDO, A. M. et al. **Coinoculação da soja com Bradyrhizobium e Azospirillum na safra 2018/2019 no Paraná**. Londrina: Embrapa Soja, 2019. 19 p. (Embrapa Soja. Circular Técnica, 156).

PRANDO, A. M. et al. **Coinoculação da soja com Bradyrhizobium e Azospirillum na safra 2024/2025 no Paraná**. Londrina: Embrapa Soja, 2025. 16 p. (Embrapa Soja. Circular Técnica, 221).

PRIMIERI, B. F.; SANTOS, R. F. Solo, adubação e nutrição da cultura da soja (Glycine max L.). **Acta Iguazu**, Cascavel, v. 6, n. 5, p. 80-91, 2017.

RONDINA, A. B. L. et al. Changes in root morphological traits in soybean co-inoculated with Bradyrhizobium spp. and Azospirillum brasilense or treated with A. brasilense exudates. **Biology and Fertility of Soils**, v. 56, n. 4, p. 537-549, 2020. DOI: https://doi.org/10.1007/s00374-020-01453-0.

SFREDO, G. J.; CARRÃO-PANIZZI, M. C. **Importância da adubação e da nutrição na qualidade da soja**. Londrina: Embrapa Soja, 1990. 57 p. (Embrapa Soja. Documentos, 40).

SOUZA, F. G. et al. Inoculation and co-inoculation of Bradyrhizobium japonicum and Azospirillum brasilense in soybean culture. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 6, e170963553, p. 1-18, 2020. DOI: https://doi.org/10.33448/rsd-v9i6.3553.

SOUZA, M. T.; SILVA, M. D.; CARVALHO, R. Revisão integrativa: o que é e como fazer. **Einstein**, São Paulo, v. 8, n. 1, p. 102-106, 2010. DOI: https://doi.org/10.1590/S1679-45082010RW1134.

TELLES, T. S.; NOGUEIRA, M. A.; HUNGRIA, M. Economic value of biological nitrogen fixation in soybean crops in Brazil. **Environmental Technology & Innovation**, v. 31, e103158, p. 1-11, 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.eti.2023.103158.

ZILLI, J. E. et al. **Tecnologias de inoculação e coinoculação para a cultura da soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2017.

ZUFFO, A. M. et al. Co-inoculation of Bradyrhizobium japonicum and Azospirillum brasilense in the soybean crop. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 38, n. 1, p. 87-93, 2015.

ZUFFO, A. M. et al. Coinoculação com Bradyrhizobium e Azospirillum na cultura da soja: efeitos sobre crescimento e produtividade. **Research, Society and Development**, Vargem Grande Paulista, v. 10, n. 9, e1-15, p. 1-15, 2021.