REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 24/09/2026 - **Accepted:** 25/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/tv4eye32
Pages: 1-35

PLANTAS DE COBERTURA E BIOINSUMOS MICROBIANOS NO MANEJO DO SOLO E NO DESEMPENHO DAS CULTURAS DE VERÃO

COVER CROPS AND MICROBIAL BIOINPUTS IN SOIL MANAGEMENT AND SUMMER CROP PERFORMANCE

CULTIVOS DE COBERTURA Y BIOINSUMOS MICROBIANOS EN EL MANEJO DEL SUELO Y EL DESEMPEÑO DE LOS CULTIVOS DE VERANO

Andréia da Silva Migliorin
Instituto Federal Farroupilha
E-mail: andreiadasilvamigliorin@gmail.com

Cleudson Jose Michelon
Instituto Federal Farroupilha
E-mail: cleudson.michelon@iffarroupilha.edu.br

Lucas Gustavo Lang Fronza
Universidade Federal de Santa Maria
E-mail: lucas.fronza@acad.ufsm.br

Caren Dellavechia Pedrozo
Instituto Federal Farroupilha
Email: caren.2021012473@aluno.iffar.edu.br

Bruna Pereira Almeida
Laboratory of Agroindustrial Processes Engineering (LAPE), Federal University of Santa Maria (UFSM), 3013, Rua Taufik Germano, Universitário || DC, Cachoeira do Sul 96503-205, Brasil
E-mail: bruna.almeida@acad.ufsm.br

Agustine Almeida dos Santos
Instituto Federal Farroupilha
E-mail: agustinealmeida@gmail.com

Emanuele Junges
Instituto Federal Farroupilha
E-mail: emanuele.junges@iffarroupilha.edu.br

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 24/09/2026 - **Accepted:** 25/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/tv4eye32
Pages: 1-35

Resumo
A integração entre plantas de cobertura e bioinsumos microbianos tem sido investigada como estratégia para aprimorar o manejo do solo e favorecer o desempenho das culturas agrícolas. Esta revisão narrativa teve como objetivo analisar as interações entre essas práticas, seus efeitos sobre os processos do sistema solo-planta e seu potencial para contribuir com a produtividade das culturas de verão. Foram reunidos e discutidos estudos científicos relacionados à produção e decomposição de biomassa, à ciclagem de nutrientes, aos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, aos mecanismos de ação de microrganismos benéficos e às respostas agronômicas das culturas em sucessão. As evidências indicam que as plantas de cobertura podem melhorar condições do solo e influenciar o desenvolvimento das culturas comerciais, enquanto os bioinsumos apresentam potencial para promover o crescimento vegetal, favorecer a nutrição e contribuir para o manejo fitossanitário. A inoculação de plantas de cobertura também pode modificar a produção de biomassa e as comunidades microbianas da rizosfera, com respostas dependentes das espécies vegetais, dos microrganismos e das condições de manejo. Entretanto, os estudos disponíveis ainda não demonstram de forma consistente incrementos na produtividade das culturas de verão decorrentes especificamente da integração dessas estratégias. A associação entre plantas de cobertura e bioinsumos apresenta potencial agronômico, mas sua efetividade depende de validação em condições de campo, com avaliações que permitam distinguir os efeitos individuais e combinados das práticas.
Palavras-chave: Microrganismos promotores de crescimento vegetal; Ciclagem de nutrientes; Rizosfera; Sucessão de culturas; Sustentabilidade agrícola.

Abstract
The integration of cover crops and microbial bioinputs has been investigated as a strategy to improve soil management and enhance crop performance. This narrative review aimed to analyze the interactions between these practices, their effects on soil–plant processes, and their potential contributions to summer crop productivity. Scientific studies addressing biomass production and decomposition, nutrient cycling, soil physical, chemical, and biological properties, the mechanisms of action of beneficial microorganisms, and the agronomic responses of subsequent crops were examined and discussed. The evidence indicates that cover crops can improve soil conditions and influence the development of subsequent cash crops, whereas microbial bioinputs have the potential to promote plant growth, enhance nutrient acquisition, and contribute to plant disease management. Inoculation of cover crops may also affect biomass production and rhizosphere microbial communities, with responses depending on plant species, microorganisms, and management conditions. However, the available studies do not consistently demonstrate increases in summer crop yields specifically attributable to the integration of these strategies. The integration of cover crops and microbial bioinputs has agronomic potential, but its effectiveness requires further validation under field conditions through assessments that distinguish the individual and combined effects of these practices.

Keywords: Plant growth-promoting microorganisms; Nutrient cycling; Rhizosphere; Crop succession; Agricultural sustainability.

Resumen
La integración entre cultivos de cobertura y bioinsumos microbianos ha sido investigada como una estrategia para mejorar el manejo del suelo y favorecer el rendimiento de los cultivos agrícolas. Esta revisión narrativa tuvo como objetivo analizar las interacciones entre estas prácticas, sus efectos sobre los procesos del sistema suelo-planta y su potencial para contribuir a la productividad de los cultivos de verano. Se recopilaron y discutieron estudios científicos relacionados con la producción y descomposición de biomasa, el ciclo de nutrientes, las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, los mecanismos de acción de los microorganismos beneficiosos y las respuestas agronómicas de los cultivos en sucesión. Las evidencias indican que los cultivos de cobertura pueden mejorar las condiciones del suelo e influir en el desarrollo de los cultivos comerciales, mientras que los bioinsumos presentan potencial para promover el crecimiento vegetal, favorecer la nutrición y contribuir al manejo fitosanitario. La inoculación de los cultivos de cobertura también puede modificar la producción de biomasa y las comunidades microbianas de la rizosfera, con respuestas que dependen de las especies vegetales, los microorganismos y las condiciones de manejo. Sin embargo, los estudios disponibles aún no demuestran de manera consistente aumentos en la productividad de los cultivos

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 24/09/2026 - **Accepted:** 25/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/tv4eye32
Pages: 1-35

de verano derivados específicamente de la integración de estas estrategias. La asociación entre cultivos de cobertura y bioinsumos presenta potencial agronómico, pero su eficacia depende de la validación en condiciones de campo, mediante evaluaciones que permitan distinguir los efectos individuales y combinados de ambas prácticas.
Palabras clave: Microorganismos promotores del crecimiento vegetal; Reciclaje de nutrientes; Rizosfera; Sucesión de cultivos; Sostenibilidad agrícola.

1. Introdução

A intensificação da produção agrícola e a crescente demanda por sistemas produtivos sustentáveis têm estimulado a adoção de estratégias de manejo que conciliem produtividade, conservação do solo e eficiência no uso dos recursos naturais. Nesse contexto, a diversificação dos sistemas agrícolas, especialmente por meio da utilização de plantas de cobertura durante a entressafra, representa uma alternativa para melhorar as condições do solo e favorecer o desenvolvimento das culturas comerciais. Essas espécies contribuem para a proteção da superfície do solo, a produção de biomassa, a ciclagem de nutrientes e a manutenção de processos biológicos importantes para a sustentabilidade agrícola (Michelon et al., 2019; Coradini et al., 2025).

As plantas de cobertura apresentam características distintas quanto ao crescimento, à produção e à composição da biomassa, ao desenvolvimento radicular e à dinâmica de decomposição dos resíduos vegetais. Gramíneas, leguminosas e brassicáceas podem desempenhar funções complementares nos sistemas de produção, influenciando a disponibilidade de nutrientes, a conservação da água e as condições físicas e biológicas do solo. Entretanto, a magnitude desses efeitos depende das espécies utilizadas, das condições edafoclimáticas e das práticas de manejo adotadas. Além disso, a quantidade e a qualidade dos resíduos produzidos podem influenciar a mineralização e a imobilização de nutrientes, condicionando sua disponibilidade para as culturas cultivadas em sucessão (Neto et al., 2018; Michelon et al., 2019; Lowry e Brainard, 2017).

Paralelamente, a utilização de bioinsumos tem ampliado as possibilidades de manejo agrícola por meio da aplicação de produtos, processos e tecnologias de origem biológica. No Brasil, a Lei nº 15.070, de 23 de dezembro de 2024, estabeleceu o marco legal dos bioinsumos, contemplando diferentes categorias e finalidades de utilização nos sistemas de produção agropecuária (BRASIL, 2024). Entre esses

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 24/09/2026 - **Accepted:** 25/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/tv4eye32
Pages: 1-35

produtos, destacam-se os inoculantes formulados com microrganismos benéficos, capazes de atuar em processos relacionados à nutrição vegetal, à promoção do crescimento e ao manejo fitossanitário. Microrganismos dos gêneros *Azospirillum*, *Bacillus*, *Pseudomonas* e *Trichoderma* apresentam mecanismos de ação que podem envolver a fixação biológica de nitrogênio, a solubilização de nutrientes, a produção de fitormônios e o antagonismo a fitopatógenos. Contudo, os efeitos observados dependem das características dos microrganismos, das espécies vegetais e das condições de aplicação e desenvolvimento das culturas (Junges et al., 2019; Pedrozo et al., 2025).

A integração entre plantas de cobertura e bioinsumos representa uma possibilidade de associar os benefícios do manejo vegetal à atuação de microrganismos benéficos no sistema solo-planta. A inoculação de espécies utilizadas como cobertura pode influenciar seu estabelecimento, a produção de biomassa e as interações microbiológicas na rizosfera, além de permitir sua utilização como veículos para a introdução de microrganismos no solo. Pedrozo et al. (2025) avaliaram a inoculação de plantas de cobertura com *Azospirillum brasilense* e *Bacillus amyloliquefaciens*, identificando respostas distintas entre as espécies e diferenças na capacidade de retenção da calda de inoculação. De maneira complementar, Escobar Ortega et al. (2021) demonstraram que a associação entre aveia, centeio e a coinoculação com *A. brasilense* e *Pseudomonas fluorescens* pode modificar os perfis estruturais e funcionais das comunidades microbianas da rizosfera, além de influenciar a produção de biomassa das plantas de cobertura. Esses resultados evidenciam que as interações entre espécies vegetais e microrganismos são específicas e podem ser influenciadas pelas condições de manejo.

Além das respostas observadas durante o desenvolvimento das plantas de cobertura, a integração dessas práticas pode apresentar efeitos sobre as condições estabelecidas para as culturas da safra de verão. A produção e a decomposição dos resíduos vegetais, a ciclagem de nutrientes e as alterações nas comunidades microbianas constituem processos que podem influenciar o desenvolvimento das culturas cultivadas em sucessão. Entretanto, os benefícios observados nas plantas

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 24/09/2026 - **Accepted:** 25/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/tv4eye32
Pages: 1-35

de cobertura ou nos atributos do solo não representam, necessariamente, incrementos na produtividade das culturas comerciais. Monteiro et al. (2025) e Ferreira et al. (2026), ao avaliarem estratégias de manejo com plantas de cobertura e microrganismos benéficos em sistemas de produção de soja, identificaram respostas produtivas associadas a determinados tratamentos microbiológicos, sem demonstrar efeitos consistentes das coberturas sobre a produtividade. Esses resultados indicam que os efeitos individuais das práticas não devem ser interpretados como evidência de uma interação necessariamente sinérgica.

Dessa forma, embora as plantas de cobertura e os bioinsumos apresentem potencial para contribuir com a sustentabilidade dos sistemas agrícolas, ainda existem limitações no conhecimento sobre os efeitos de sua utilização conjunta, especialmente quanto à persistência e à atividade dos microrganismos introduzidos, às modificações na microbiota do solo e às respostas das culturas cultivadas posteriormente. A compreensão dessas relações é fundamental para identificar condições em que a integração possa proporcionar benefícios agronômicos e subsidiar recomendações de manejo fundamentadas em evidências científicas. Diante disso, esta revisão bibliográfica tem como objetivo reunir e analisar informações científicas sobre a integração entre plantas de cobertura e bioinsumos, com ênfase nos mecanismos de interação, nas contribuições para o manejo do solo e no potencial de favorecer o desenvolvimento e a produtividade das culturas da safra de verão

2. Metodologia

O presente estudo caracteriza-se como uma revisão narrativa da literatura, de caráter descritivo e analítico, com o objetivo de reunir, sistematizar e discutir informações científicas sobre a utilização de plantas de cobertura e bioinsumos microbianos em sistemas agrícolas, com ênfase em suas interações e nos possíveis efeitos sobre o manejo do solo e o desempenho das culturas de verão.

O levantamento bibliográfico foi realizado entre setembro e outubro de 2026, por meio de consultas às bases de dados Google Acadêmico, Scientific Electronic Library Online (SciELO), Scopus e Web of Science, sem delimitação temporal

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 24/09/2026 - **Accepted:** 25/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/tv4eye32
Pages: 1-35

explícita para a seleção das publicações. Foram consideradas publicações nos idiomas português e inglês, relacionados às plantas de cobertura, aos bioinsumos microbianos e às suas aplicações em sistemas de produção agrícola. As buscas contemplaram termos em português e inglês, incluindo "plantas de cobertura" (cover crops), "plantas de serviço" (service crops), "bioinsumos" (bioinputs), "inoculação microbiana" (microbial inoculation), "microrganismos promotores de crescimento vegetal" (plant growth-promoting microorganisms), "microbiota do solo" (soil microbiota) e "produtividade agrícola" (crop yield).

A seleção das publicações considerou a pertinência temática, a fundamentação científica e a contribuição dos estudos para a compreensão dos processos envolvidos na integração entre plantas de cobertura e bioinsumos. Foram priorizados artigos científicos publicados em periódicos especializados, incluindo trabalhos da pesquisadora orientadora e estudos complementares identificados nas bases consultadas. Não foram utilizados materiais de caráter exclusivamente informativo, sem fundamentação científica verificável, como base para a discussão. Documentos normativos pertinentes ao tema também foram considerados para a contextualização legal dos bioinsumos.

Foram contempladas pesquisas relacionadas à produção e decomposição de biomassa vegetal, à ciclagem de nutrientes, às alterações nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, aos mecanismos de ação de microrganismos benéficos e às respostas agronômicas das culturas em sucessão. Também foram considerados estudos experimentais que avaliaram a inoculação de plantas de cobertura e a utilização conjunta dessas estratégias de manejo, buscando diferenciar evidências relacionadas aos efeitos individuais daquelas referentes à associação entre as práticas.

As informações foram organizadas em eixos temáticos e analisadas qualitativamente, buscando identificar convergências, divergências e lacunas de conhecimento. A discussão considerou as espécies vegetais e os microrganismos utilizados, as condições edafoclimáticas, as práticas de manejo e as variáveis avaliadas nos diferentes estudos. Procurou-se distinguir os benefícios individuais das plantas de cobertura e dos bioinsumos dos efeitos decorrentes de sua aplicação

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 24/09/2026 - **Accepted:** 25/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/tv4eye32
Pages: 1-35

conjunta, considerando as limitações das evidências disponíveis para demonstrar interações sinérgicas.

Por se tratar de uma revisão narrativa, o levantamento bibliográfico não teve caráter exaustivo, tampouco envolveu procedimentos sistemáticos de avaliação do risco de viés dos estudos selecionados. A interpretação das evidências considerou as diferenças entre os delineamentos experimentais, as condições ambientais e as estratégias de manejo investigadas, reconhecendo as limitações dessas características para a comparação e a extrapolação dos resultados. A síntese das informações buscou integrar os conhecimentos disponíveis sobre as interações entre plantas, solo e microrganismos, destacando suas possíveis contribuições para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas e o desempenho das culturas de verão.

3. Revisão da Literatura

3.1 Plantas de cobertura e seus efeitos no sistema de produção

As plantas de cobertura desempenham papel importante na diversificação dos sistemas agrícolas, especialmente durante os períodos de entressafra, quando contribuem para a manutenção da cobertura vegetal, a produção de biomassa e a conservação do solo. Sua utilização pode favorecer a ciclagem de nutrientes, a proteção contra processos erosivos e a melhoria das condições para o estabelecimento das culturas comerciais. Entretanto, a magnitude desses benefícios depende das características das espécies cultivadas, das condições edafoclimáticas e das práticas de manejo adotadas. Silva, Costa e Chieza (2025) identificaram diferenças na produção de matéria seca entre espécies leguminosas, enquanto Machado et al. (2025) observaram maior produção de biomassa pela aveia-preta entre as espécies avaliadas. Esses resultados demonstram que a seleção das plantas de cobertura deve considerar sua capacidade de desenvolvimento e as funções agronômicas pretendidas.

A composição das espécies utilizadas constitui outro fator relevante, uma vez que gramíneas, leguminosas e brassicáceas apresentam características distintas quanto à produção de biomassa, ao desenvolvimento radicular e à dinâmica de

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 24/09/2026 - **Accepted:** 25/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/tv4eye32
Pages: 1-35

absorção e ciclagem de nutrientes. A utilização de misturas ou consórcios permite combinar essas características, embora os benefícios não sejam necessariamente superiores aos obtidos com cultivos isolados. Coradini et al. (2025) verificaram que a densidade de semeadura influenciou a produção de matéria seca, a cobertura do solo e a supressão de plantas daninhas em misturas de espécies. Por outro lado, Maciá-Vicente et al. (2024) não identificaram aumento da diversidade microbiana em misturas de plantas de cobertura em comparação aos monocultivos avaliados. Dessa forma, a diversificação vegetal deve ser analisada considerando os objetivos do manejo e as variáveis utilizadas para avaliar seus resultados.

Além da quantidade de biomassa produzida, a composição dos resíduos vegetais e sua velocidade de decomposição influenciam a dinâmica de nutrientes no sistema solo-planta. Resíduos com diferentes características químicas podem apresentar padrões distintos de decomposição, afetando a liberação ou a imobilização temporária de nutrientes e, consequentemente, sua disponibilidade para as culturas cultivadas em sucessão. Neto et al. (2018) observaram diferenças na decomposição dos resíduos de nabo forrageiro e azevém, associadas às espécies, ao tipo de solo e às condições de manejo. De maneira complementar, Raniro et al. (2025) verificaram que a mistura de resíduos vegetais modificou a relação carbono/nitrogênio (C/N) e a atividade potencial da fosfatase alcalina, sem promover maior disponibilização de fósforo em comparação aos resíduos isolados durante o período de incubação avaliado. Esses resultados evidenciam que alterações na composição dos resíduos e na atividade biológica não representam, necessariamente, maior disponibilidade imediata de nutrientes.

Além da liberação de nutrientes, a decomposição dos resíduos vegetais pode influenciar as condições de oxigenação do solo e os processos associados às emissões de gases de efeito estufa. Lussich et al. (2024) identificaram que a decomposição de resíduos de plantas de cobertura promoveu redução na disponibilidade de oxigênio no solo e favoreceu emissões de óxido nitroso (N_2O). Esses resultados evidenciam que os efeitos das plantas de cobertura devem ser analisados não apenas em relação à ciclagem de nutrientes e à melhoria dos atributos do solo, mas também quanto às possíveis consequências ambientais de

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 24/09/2026 - **Accepted:** 25/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/tv4eye32
Pages: 1-35

sua decomposição.

A dinâmica do nitrogênio constitui um dos aspectos centrais do manejo das plantas de cobertura, particularmente em sistemas que combinam gramíneas e leguminosas. A quantidade de nitrogênio acumulada na biomassa, a composição dos resíduos e sua distribuição no solo podem influenciar a disponibilidade desse nutriente para a cultura sucessora. Lowry e Brainard (2017), ao avaliarem diferentes arranjos de centeio e ervilhaca associados a sistemas de preparo do solo, identificaram alterações na disponibilidade de nitrogênio mineral, na umidade do solo e no desenvolvimento do milho-doce cultivado posteriormente. Entretanto, as respostas observadas no crescimento vegetal não resultaram em incrementos consistentes na produtividade. Esses resultados demonstram que o aproveitamento dos nutrientes provenientes das plantas de cobertura depende não apenas da quantidade acumulada na biomassa, mas também das condições de manejo e da sincronização entre sua liberação e a demanda da cultura comercial.

As plantas de cobertura também podem modificar os atributos físicos do solo por meio da atividade radicular, do aporte de resíduos orgânicos e da manutenção da proteção superficial. Essas alterações podem influenciar a resistência à penetração, a porosidade e a infiltração de água, contribuindo para condições mais favoráveis ao crescimento das raízes e ao aproveitamento dos recursos disponíveis. Da Silva et al. (2025) observaram diferenças em atributos físicos e hídricos do solo sob diferentes coberturas, enquanto Michelon, Schott e Junges (2023) identificaram alterações mais evidentes em determinados atributos físicos no segundo ano de avaliação. Contudo, Rech et al. (2025) verificaram que melhorias na porosidade e na resistência à penetração não foram acompanhadas por diferenças significativas na produtividade e na qualidade das folhas de tabaco. Assim, embora as modificações físicas possam representar benefícios para o sistema produtivo, sua ocorrência não assegura, isoladamente, aumento do rendimento agrícola.

Os efeitos das plantas de cobertura também se manifestam nos atributos químicos do solo e podem se intensificar com a continuidade do manejo. Michelon et al. (2019), após três anos de utilização de coberturas de inverno, observaram incrementos nos teores de matéria orgânica e na disponibilidade de fósforo e

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 24/09/2026 - **Accepted:** 25/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/tv4eye32
Pages: 1-35

potássio, além de diferenças na produtividade do milho cultivado em sucessão. De maneira complementar, De Aguiar et al. (2026) identificaram respostas na produção de biomassa do milho após determinadas espécies de cobertura, embora nem todas as características avaliadas tenham apresentado diferenças significativas. Esses estudos indicam que os benefícios decorrentes do manejo da entressafra podem se refletir nas culturas comerciais, mas sua expressão depende das espécies utilizadas, do histórico de cultivo e das condições específicas de cada sistema.

Além das modificações físicas e químicas, as plantas de cobertura influenciam o ambiente biológico do solo, tanto pela deposição de resíduos vegetais quanto pelas interações estabelecidas entre as raízes e os microrganismos da rizosfera. Araujo-Junior et al. (2025) identificaram alterações na biomassa microbiana, na respiração basal e na atividade de enzimas do solo sob diferentes sequências de culturas de cobertura, demonstrando que a composição vegetal pode influenciar indicadores relacionados ao funcionamento biológico do sistema. Entretanto, Maciá-Vicente et al. (2024) observaram que a localização geográfica exerceu maior influência sobre a estrutura das comunidades microbianas do que os tratamentos com plantas de cobertura. Esses resultados indicam que as respostas microbiológicas não dependem exclusivamente da diversificação vegetal, sendo também condicionadas pelas características ambientais e pelo histórico de manejo.

As interações entre plantas de cobertura e microrganismos não se restringem à decomposição da biomassa após a supressão das espécies vegetais. Durante seu desenvolvimento, as raízes liberam compostos orgânicos que podem ser utilizados pelos microrganismos, influenciando sua atividade metabólica e as relações estabelecidas na rizosfera. Seitz et al. (2024), em estudo conduzido com microcosmos de solo agrícola, identificaram respostas metabólicas distintas das comunidades microbianas à adição de exsudatos radiculares de diferentes espécies, incluindo alterações associadas ao ciclo do nitrogênio. Esses resultados complementam as observações de Araujo-Junior et al. (2025), indicando que a influência das plantas de cobertura sobre a microbiota envolve processos que ocorrem durante o crescimento vegetal e após a incorporação ou manutenção de seus resíduos no sistema.

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 24/09/2026 - **Accepted:** 25/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/tv4eye32
Pages: 1-35

O manejo utilizado para interromper o crescimento das plantas de cobertura também constitui um componente importante, pois pode modificar as condições do solo e as respostas biológicas durante a transição para a cultura sucessora. Escobar Ortega et al. (2021), ao avaliarem agroecossistemas com aveia e centeio em sucessão à soja, observaram alterações expressivas nas contagens microbianas e nos perfis funcionais das comunidades da rizosfera após a dessecação com glifosato, com diferenças que persistiram até a colheita da cultura comercial. Embora o estudo tenha associado essas alterações à aplicação do herbicida, a interpretação dos resultados deve considerar também as mudanças ambientais e vegetativas ocorridas entre as épocas de avaliação. Dessa maneira, a escolha do método e do momento de supressão das coberturas deve integrar o planejamento do sistema, especialmente quando se pretende preservar ou favorecer processos biológicos do solo.

Em conjunto, as evidências demonstram que as plantas de cobertura atuam sobre diferentes componentes do sistema agrícola, envolvendo produção de biomassa, decomposição de resíduos, ciclagem de nutrientes e modificações nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo. Entretanto, essas respostas apresentam variações conforme as espécies, o ambiente, a duração do manejo e as características da cultura cultivada em sucessão. Portanto, os benefícios observados em determinados atributos do solo ou no desenvolvimento das coberturas não devem ser automaticamente associados a incrementos na produtividade agrícola. A compreensão desses processos constitui uma base importante para avaliar a utilização de bioinsumos microbianos e, posteriormente, as possibilidades e limitações de sua integração com as plantas de cobertura.

3.2 Bioinsumos e microrganismos benéficos na agricultura

A utilização de bioinsumos na agricultura representa uma estratégia de manejo baseada no aproveitamento de organismos e processos biológicos para favorecer o desenvolvimento vegetal, a nutrição das culturas e o manejo fitossanitário. No Brasil, a Lei nº 15.070, de 23 de dezembro de 2024, estabeleceu o

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 24/09/2026 - **Accepted:** 25/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/tv4eye32
Pages: 1-35

marco legal dos bioinsumos, contemplando produtos, processos e tecnologias de origem biológica destinados a diferentes finalidades nos sistemas de produção agropecuária (BRASIL, 2024). Entre esses produtos, destacam-se os bioinsumos microbianos, formulados com microrganismos benéficos que podem atuar diretamente sobre as plantas ou modificar processos biológicos associados ao ambiente de cultivo. Sua utilização tem despertado interesse por oferecer possibilidades de complementar práticas convencionais de manejo, embora sua eficiência dependa das características dos agentes biológicos, das espécies vegetais e das condições de produção (Da Silva et al., 2022; De Lima et al., 2026).

Os mecanismos de ação dos microrganismos benéficos são diversos e podem ocorrer de maneira simultânea ou complementar. Entre os processos relacionados à nutrição vegetal, destacam-se a fixação biológica de nitrogênio e a solubilização ou mobilização de nutrientes, que podem contribuir para ampliar sua disponibilidade e absorção pelas plantas. Outros mecanismos envolvem a produção de compostos com atividade reguladora do crescimento, como auxinas, além de alterações no desenvolvimento radicular e nas interações estabelecidas na rizosfera. Entretanto, a capacidade de realizar determinado processo em condições laboratoriais não assegura sua expressão ou relevância agronômica em condições de campo, uma vez que a atividade microbiana é influenciada pela disponibilidade de nutrientes, pelas características do solo e pelas relações com a microbiota nativa (Da Silva et al., 2022; Glick, 2012).

Entre os microrganismos utilizados na agricultura, bactérias dos gêneros *Bradyrhizobium* e *Azospirillum* apresentam interesse por sua participação em processos relacionados à nutrição e ao crescimento vegetal. A utilização de *Bradyrhizobium* na cultura da soja está associada à fixação biológica de nitrogênio em simbiose com a planta, enquanto *Azospirillum brasilense* pode contribuir para a promoção do crescimento por diferentes mecanismos, incluindo alterações no desenvolvimento radicular. Michelon et al. (2020) observaram maior massa seca de nódulos e produtividade da soja em tratamento com coinoculação de *Bradyrhizobium japonicum* e *A. brasilense*, evidenciando a possibilidade de respostas favoráveis à associação entre microrganismos. Entretanto, essas respostas não devem ser

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 24/09/2026 - **Accepted:** 25/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/tv4eye32
Pages: 1-35

generalizadas para diferentes culturas e ambientes, pois dependem das características da associação biológica e das condições de manejo.

A relação entre inoculação microbiana e disponibilidade de nutrientes também constitui um aspecto importante para interpretar os resultados agronômicos. Ecco et al. (2022), ao avaliarem inoculantes na cultura do trigo, identificaram respostas em características agronômicas, mas verificaram que a adubação nitrogenada permaneceu importante para os incrementos produtivos observados. Esses resultados indicam que a utilização de microrganismos promotores de crescimento não implica, necessariamente, substituição da fertilização mineral. A contribuição dos bioinsumos deve ser analisada considerando a demanda nutricional das culturas, a disponibilidade de nutrientes no solo e os mecanismos efetivamente envolvidos na resposta vegetal.

Além dos processos relacionados à nutrição, determinados microrganismos podem atuar como agentes de controle biológico de fitopatógenos. Espécies dos gêneros *Bacillus*, *Pseudomonas* e *Trichoderma* apresentam potencial para atuar por mecanismos como competição por nutrientes e espaço, produção de metabólitos com atividade antimicrobiana, parasitismo e indução de respostas de defesa nas plantas. A importância relativa desses mecanismos varia conforme o agente biológico e o organismo-alvo, de modo que a presença de características antagonistas não garante eficiência fitossanitária em todas as condições de cultivo. Junges et al. (2019) observaram controle de patógenos associados às sementes de aveia-preta após a microbiolização com *Bacillus subtilis* e *Trichoderma* spp., embora as respostas relacionadas à germinação e ao desenvolvimento inicial das plântulas tenham variado conforme os tratamentos. Dessa forma, os efeitos fitossanitários e fisiológicos devem ser avaliados conjuntamente, considerando a finalidade da aplicação.

A eficiência dos bioinsumos também depende da compatibilidade entre o microrganismo utilizado e a espécie vegetal. Essa relação pode envolver diferenças na composição dos exsudatos radiculares, nas condições da rizosfera e na capacidade de estabelecimento dos agentes introduzidos. Pedrozo et al. (2025), ao avaliarem a aplicação de *Azospirillum brasilense* e *Bacillus amyloliquefaciens* em

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 24/09/2026 - **Accepted:** 25/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/tv4eye32
Pages: 1-35

espécies utilizadas como plantas de cobertura, identificaram respostas distintas entre aveia-branca, ervilhaca e nabo forrageiro. Enquanto determinados tratamentos favoreceram características do desenvolvimento inicial, outros apresentaram respostas desfavoráveis, especialmente em doses mais elevadas. Esses resultados demonstram que os efeitos da inoculação são condicionados pela combinação entre espécie vegetal, microrganismo e dose aplicada, não sendo possível pressupor benefícios semelhantes para diferentes culturas.

A tecnologia de aplicação constitui outro fator determinante para o desempenho dos bioinsumos microbianos. A viabilidade dos microrganismos, a formulação utilizada, a dose e o método de aplicação podem influenciar seu estabelecimento e sua interação com as plantas. Junges et al. (2019) verificaram que determinadas técnicas de condicionamento fisiológico e peliculização de sementes de aveia-preta, associadas à utilização de microrganismos, comprometeram características de germinação e emergência, apesar dos efeitos favoráveis observados em outros tratamentos. De maneira complementar, Dressler et al. (2025) identificaram respostas distintas à inoculação e coinoculação de bactérias na cultura da soja, considerando aplicações nas sementes e por pulverização, com resultados influenciados pelas condições das safras avaliadas. Esses estudos evidenciam que a eficiência agronômica não depende exclusivamente da seleção do agente biológico, mas também das condições que permitem sua sobrevivência e atuação após a aplicação.

As interações entre os microrganismos introduzidos e as comunidades microbianas nativas também precisam ser consideradas. A rizosfera constitui um ambiente dinâmico, no qual as relações entre raízes, exsudatos e microrganismos podem modificar a estrutura e a atividade das comunidades microbianas. Escobar Ortega et al. (2021), ao avaliarem a coinoculação de *Azospirillum brasilense* e *Pseudomonas fluorescens* em aveia e centeio, observaram alterações nos perfis estruturais e funcionais das comunidades microbianas da rizosfera, com respostas dependentes da espécie vegetal e das condições de manejo. Entretanto, a inoculação não promoveu aumento generalizado das populações microbianas avaliadas, indicando que a introdução de microrganismos benéficos pode modificar

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 24/09/2026 - **Accepted:** 25/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/tv4eye32
Pages: 1-35

as relações ecológicas do solo sem necessariamente elevar todos os indicadores de abundância ou diversidade microbiana.

Apesar dos avanços relacionados à utilização de bioinsumos, sua aplicação ainda apresenta desafios associados à seleção de linhagens, à estabilidade das formulações, à manutenção da viabilidade microbiana e à variabilidade das respostas em condições de campo. Pires et al. (2026) e De Lima et al. (2026) discutem limitações relacionadas à padronização de produtos e procedimentos, bem como à necessidade de avaliações em diferentes ambientes de produção. Essas questões são coerentes com os resultados de Junges et al. (2019), Pedrozo et al. (2025) e Dressler et al. (2025), que demonstram a influência da espécie vegetal, da dose e da tecnologia de aplicação sobre o desempenho dos tratamentos. Portanto, a utilização de bioinsumos microbianos requer critérios técnicos que considerem a identidade e a qualidade dos agentes biológicos, a finalidade agronômica e as características do sistema produtivo.

Dessa forma, os bioinsumos microbianos apresentam possibilidades de utilização relacionadas à nutrição vegetal, à promoção do crescimento e ao manejo fitossanitário, mas seus efeitos não são uniformes entre culturas, microrganismos e ambientes. A compreensão de seus mecanismos de ação e dos fatores que condicionam sua eficiência constitui uma base importante para avaliar sua associação com plantas de cobertura. Nesse contexto, a integração entre o manejo vegetal e microbiológico deve ser investigada considerando não apenas as respostas imediatas à inoculação, mas também suas possíveis consequências para os processos biológicos do solo e para o desenvolvimento das culturas cultivadas em sucessão.

3.3 Integração entre plantas de cobertura e bioinsumos

A integração entre plantas de cobertura e bioinsumos microbianos representa uma estratégia de manejo que busca associar os benefícios da diversificação vegetal à atuação de microrganismos benéficos no sistema solo-planta. Essa associação pode ocorrer pela inoculação das próprias espécies de cobertura, pela aplicação de

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 24/09/2026 - **Accepted:** 25/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/tv4eye32
Pages: 1-35

agentes biológicos durante seu desenvolvimento ou pela utilização de práticas microbiológicas complementares ao manejo vegetal. Entretanto, a eficiência dessa integração depende das características das espécies cultivadas, dos microrganismos utilizados e das condições ambientais e operacionais, sendo necessário compreender os mecanismos que condicionam suas interações (Frasca et al., 2023; Pedrozo et al., 2025).

A escolha das espécies vegetais constitui um fator importante para o estabelecimento dessas associações, uma vez que as plantas de cobertura apresentam diferenças na morfologia, na composição dos exsudatos radiculares, na produção de biomassa e nas condições estabelecidas na rizosfera. Essas características podem influenciar a retenção dos inoculantes, a sobrevivência dos microrganismos e suas possibilidades de interação com as raízes. Pedrozo et al. (2025), ao avaliarem aveia-branca, ervilhaca e nabo forrageiro inoculados com *Azospirillum brasilense* e *Bacillus amyloliquefaciens*, identificaram diferenças na retenção da calda de inoculação e nas respostas fisiológicas das espécies. A aveia-branca apresentou maior capacidade de retenção da calda entre as espécies avaliadas, enquanto os efeitos sobre a germinação e o desenvolvimento inicial variaram conforme a combinação entre espécie vegetal, microrganismo e dose. Esses resultados demonstram que a utilização de plantas de cobertura como veículos para introdução de bioinsumos no solo exige adequação da tecnologia às características de cada espécie.

As respostas à inoculação também podem envolver alterações no crescimento das plantas de cobertura e no acúmulo de nutrientes em sua biomassa. Frasca et al. (2023), ao avaliarem espécies de cobertura inoculadas com *Serratia marcescens* e *Bacillus* sp., identificaram respostas favoráveis em determinadas combinações entre plantas e rizobactérias, incluindo diferenças na produção de fitomassa e no acúmulo de nutrientes. Esses resultados complementam os de Pedrozo et al. (2025), mas representam aspectos distintos da integração. Enquanto o aumento da biomassa indica uma possível resposta fisiológica ou nutricional das plantas à inoculação, a retenção da calda está relacionada à viabilidade da tecnologia de aplicação. Portanto, a seleção de espécies de cobertura para utilização conjunta com

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 24/09/2026 - **Accepted:** 25/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/tv4eye32
Pages: 1-35

bioinsumos deve considerar tanto as respostas agronômicas quanto as características que favorecem a aplicação e a atuação dos microrganismos.

Além dos efeitos sobre o desenvolvimento vegetal, a inoculação de plantas de cobertura pode modificar as interações microbiológicas estabelecidas na rizosfera. Durante seu crescimento, as raízes liberam compostos orgânicos que influenciam a disponibilidade de substratos e as relações entre os microrganismos introduzidos e as comunidades nativas do solo. Escobar Ortega et al. (2021), ao avaliarem aveia e centeio associados à coinoculação com *Azospirillum brasilense* e *Pseudomonas fluorescens*, identificaram alterações nos perfis estruturais e funcionais das comunidades microbianas da rizosfera. Também foram observadas respostas na produção de biomassa, dependentes da espécie vegetal e do estádio de desenvolvimento. Entretanto, as modificações microbiológicas não ocorreram de maneira uniforme entre os tratamentos, indicando que os efeitos da inoculação são condicionados pelas características das plantas e pelas condições do sistema. Dessa forma, alterações na composição ou na atividade das comunidades microbianas não devem ser interpretadas, isoladamente, como evidência de maior eficiência agronômica.

As possibilidades de integração também incluem o manejo fitossanitário, especialmente quando as plantas de cobertura são utilizadas em associação com agentes biológicos destinados à redução de organismos fitoparasitas. Schalemberguer et al. (2025), ao avaliarem plantas de cobertura e bionematicidas em sistema de produção olerícola, identificaram redução de *Heterodera* sp. associada aos tratamentos biológicos e respostas favoráveis em características das plantas cultivadas posteriormente. Esses resultados demonstram que a combinação de práticas vegetais e microbiológicas pode contribuir para estratégias de manejo fitossanitário. Contudo, os efeitos sobre a população de nematoides, o desenvolvimento das coberturas e as respostas da cultura sucessora devem ser analisados separadamente, de acordo com os tratamentos responsáveis por cada resultado. Além disso, a atuação de agentes de controle biológico envolve mecanismos e finalidades que não devem ser diretamente extrapolados para inoculantes utilizados na promoção do crescimento vegetal.

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 24/09/2026 - **Accepted:** 25/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/tv4eye32
Pages: 1-35

O manejo das plantas de cobertura constitui outro componente capaz de modificar as condições nas quais os microrganismos introduzidos deverão atuar. A forma de supressão das espécies vegetais, a permanência dos resíduos na superfície e o intervalo entre o manejo da cobertura e a implantação da cultura seguinte podem influenciar a disponibilidade de compostos orgânicos, a umidade e as características microbiológicas do solo. Morales et al. (2025), ao compararem métodos de supressão da aveia cultivada anteriormente ao girassol, observaram diferenças no desenvolvimento da cultura comercial e na composição das comunidades microbianas da rizosfera. Embora o estudo não tenha avaliado a inoculação microbiana como fator experimental, seus resultados demonstram que as práticas de manejo da cobertura podem modificar o ambiente biológico do sistema. Esse aspecto deve ser considerado no planejamento da aplicação de bioinsumos, uma vez que as condições estabelecidas pelo manejo vegetal podem interferir na atividade dos microrganismos.

A eficiência da integração também depende da compatibilidade entre as tecnologias de aplicação e as condições de cultivo. A viabilidade dos agentes biológicos, a dose utilizada, o método de inoculação e a capacidade de estabelecimento dos microrganismos são fatores que podem influenciar os resultados. Além disso, respostas observadas durante a germinação ou o desenvolvimento inicial das plantas não representam necessariamente efeitos persistentes sobre a microbiota do solo. Os estudos de Pedrozo et al. (2025) e Escobar Ortega et al. (2021) evidenciam diferentes dimensões dessa questão, ao demonstrarem, respectivamente, a influência das características das espécies vegetais sobre a aplicação dos inoculantes e as alterações microbiológicas associadas à coinoculação durante o desenvolvimento das coberturas. Assim, a avaliação da integração deve contemplar tanto a eficiência da aplicação quanto a expressão dos mecanismos biológicos ao longo do cultivo.

A variabilidade das respostas à integração entre plantas de cobertura e bioinsumos microbianos também deve ser interpretada considerando as características do solo e as condições ambientais. Jiang et al. (2023), ao compararem uma comunidade sintética de bactérias provenientes de solos agrícolas

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 24/09/2026 - **Accepted:** 25/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/tv4eye32
Pages: 1-35

com rizobactérias comerciais, identificaram vantagens da comunidade sintética na promoção do crescimento inicial do milho em condições de baixa fertilidade. Esses resultados indicam que a eficiência da inoculação deve ser analisada considerando as características dos microrganismos e sua interação com o ambiente edáfico.

As interações entre microrganismos introduzidos e comunidades residentes constituem outra dimensão relevante para a interpretação dessas respostas. Wang et al. (2021), ao investigarem inoculações bacterianas periódicas, verificaram alterações na composição da microbiota residente associadas principalmente às variações do pH e do nitrato do solo. Os benefícios da inoculação não se mantiveram após o transplante das mudas para outro local experimental, indicando que os benefícios observados nas condições iniciais do experimento não foram necessariamente mantidos após a mudança de ambiente. Embora esse estudo não tenha investigado diretamente plantas de cobertura, seus resultados contribuem para compreender as limitações da extrapolação dos efeitos microbiológicos entre diferentes ambientes de cultivo.

As condições experimentais também devem ser consideradas na interpretação dos efeitos associados ao manejo das coberturas. Centurión et al. (2022), em experimento conduzido em casa de vegetação, demonstraram que a disponibilidade hídrica e o tempo transcorrido após a eliminação das coberturas influenciaram as respostas microbiológicas do solo durante o cultivo sucessor de milho.

Em conjunto, os estudos analisados demonstram que a integração entre plantas de cobertura e bioinsumos microbianos pode ocorrer por diferentes mecanismos, envolvendo respostas fisiológicas das espécies vegetais, alterações na produção de biomassa, modificações nas comunidades microbianas da rizosfera e contribuições ao manejo fitossanitário. Entretanto, essas respostas são específicas das combinações entre plantas, microrganismos e condições de manejo, não sendo possível generalizar seus efeitos para diferentes sistemas agrícolas. A compreensão dessas interações constitui uma base para avaliar se os benefícios observados durante o desenvolvimento das plantas de cobertura podem se refletir nas culturas cultivadas em sucessão, aspecto discutido na seção seguinte.

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 24/09/2026 - **Accepted:** 25/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/tv4eye32
Pages: 1-35

3.4 Potencial da integração para a safra de verão

O desempenho das culturas de verão pode ser influenciado pelas condições estabelecidas durante a entressafra, especialmente pela utilização de plantas de cobertura e pelo manejo dos resíduos vegetais. A produção de biomassa, a ciclagem de nutrientes e as alterações nos atributos do solo podem modificar o ambiente de crescimento das culturas comerciais, enquanto a utilização de bioinsumos microbianos representa uma estratégia complementar para favorecer seu desenvolvimento. Entretanto, a contribuição dessas práticas para a produtividade agrícola depende da expressão de seus efeitos ao longo da sucessão de culturas, sendo necessário distinguir os benefícios individuais daqueles efetivamente decorrentes de sua utilização conjunta.

Na cultura do milho, as respostas ao cultivo antecedente de plantas de cobertura estão relacionadas, entre outros fatores, à disponibilidade de nutrientes e às condições estabelecidas pelos resíduos vegetais. Michelon et al. (2019), após três anos de utilização de coberturas de inverno, identificaram incrementos nos teores de matéria orgânica e na disponibilidade de fósforo e potássio, além de diferenças na produtividade do milho cultivado em sucessão. De Aguiar et al. (2026) também observaram respostas na produção de biomassa do milho após determinadas espécies de cobertura, embora nem todas as características avaliadas tenham apresentado diferenças significativas. Esses resultados demonstram que o manejo da entressafra pode influenciar o desenvolvimento da cultura comercial, mas os efeitos dependem das espécies utilizadas, do histórico de manejo e das condições ambientais.

A disponibilidade de nitrogênio constitui um aspecto particularmente relevante para o milho, cuja demanda nutricional pode ser influenciada pela quantidade e pela composição dos resíduos produzidos pelas coberturas. A relação entre a liberação de nutrientes e sua absorção pela cultura sucessora depende da dinâmica de decomposição e da sincronização entre a mineralização e a demanda vegetal. Lowry e Brainard (2017), ao avaliarem arranjos de centeio e ervilhaca associados a

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 24/09/2026 - **Accepted:** 25/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/tv4eye32
Pages: 1-35

diferentes sistemas de preparo do solo, identificaram alterações na disponibilidade de nitrogênio mineral, na umidade do solo e no desenvolvimento do milho-doce cultivado posteriormente. Entretanto, essas modificações não resultaram em incrementos consistentes na produtividade. De maneira complementar, Neto et al. (2018) e Raniro et al. (2025) demonstraram que a decomposição e a liberação de nutrientes dos resíduos vegetais variam conforme suas características e as condições de manejo. Assim, a maior produção de biomassa ou a alteração de indicadores relacionados à ciclagem de nutrientes não assegura, isoladamente, maior rendimento da cultura sucessora.

Na cultura da soja, a utilização de bioinsumos microbianos tem apresentado respostas produtivas em determinados sistemas de manejo. Michelon et al. (2020), ao avaliarem a coinoculação de *Bradyrhizobium japonicum* e *Azospirillum brasilense* durante três safras, observaram maior massa seca de nódulos e produtividade em tratamento que combinou os dois microrganismos. Dressler et al. (2025) também identificaram respostas favoráveis à inoculação e à coinoculação dessas bactérias, com diferenças relacionadas aos métodos de aplicação e às condições das safras avaliadas. Esses resultados demonstram o potencial do manejo microbiológico para favorecer o desempenho da soja, mas não permitem atribuir os benefícios observados à interação com plantas de cobertura, uma vez que essa associação não constituiu o objeto específico dessas avaliações.

Os estudos que contemplam plantas de cobertura e microrganismos benéficos em um mesmo sistema produtivo permitem uma análise mais direta do potencial de integração dessas práticas. Monteiro et al. (2025), em experimento conduzido durante cinco safras, não identificaram influência significativa das plantas de cobertura sobre os componentes de rendimento ou a produtividade da soja, enquanto a aplicação de *Bacillus* sp. e *Serratia marcescens* proporcionou incrementos na massa de 100 grãos e na produtividade. De maneira semelhante, Ferreira et al. (2026) observaram maiores produtividades da soja sob determinados manejos microbiológicos, sem identificar efeito direto consistente das coberturas vegetais sobre o rendimento. Em conjunto, esses resultados indicam que a utilização de microrganismos benéficos pode favorecer a produtividade em sistemas que

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 24/09/2026 - **Accepted:** 25/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/tv4eye32
Pages: 1-35

incluem plantas de cobertura, mas não demonstra, necessariamente, que a associação entre as práticas produza benefícios superiores aos obtidos com sua utilização isolada.

A comparação dos estudos experimentais evidencia diferentes níveis de comprovação científica acerca da integração entre plantas de cobertura e bioinsumos microbianos. Enquanto determinadas pesquisas investigaram os efeitos isolados das coberturas ou da inoculação em culturas comerciais, outras avaliaram a aplicação de microrganismos nas próprias espécies de cobertura ou a utilização conjunta dessas estratégias. O Quadro 1 sistematiza as condições experimentais, as variáveis analisadas e os principais resultados, permitindo distinguir evidências diretas e indiretas e identificar limitações para a demonstração de interações sinérgicas.

Quadro 1 – Síntese comparativa das evidências experimentais sobre plantas de cobertura, bioinsumos microbianos e sua integração.

Estudo	Espécies de cobertura	Microrganismos	Cultura sucessora e condições experimentais	Variáveis avaliadas e principais resultados	Tipo de evidência e interação
Michelon et al. (2019)	Ervilhaca, aveia-preta, tremoço-azul, nabo forrageiro, azevém e ervilha forrageira; cultivos isolados e consórcios.	Não avaliados	Milho; campo, região central do RS, três safras; blocos ao acaso, três repetições.	Atributos do solo e produtividade do milho; Respostas relacionadas ao manejo das coberturas;	Indireta: efeito das coberturas; sem teste de integração com bioinsumos.
Lowry e Brainard (2017)	Centeio e ervilhaca	Não avaliados	Milho-doce; diferentes arranjos espaciais e sistemas de preparo	Nitrogênio mineral, umidade do solo, desenvolvimento radicular e rendimento; sem incrementos produtivos consistentes	Indireta: efeitos das coberturas e do preparo; sem interação cobertura × bioinsumo

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 24/09/2026 - **Accepted:** 25/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/tv4eye32
Pages: 1-35

Morales et al. (2025)	Aveia	Não avaliados	Girassol; diferentes métodos de supressão da cobertura	Desenvolvimento da cultura e comunidades microbianas da rizosfera; respostas dependentes do manejo	Indireta: manejo da cobertura; sem inoculação experimental
Michelon et al. (2020)	Não avaliadas	*Bradyrhizobium japonicumBradyrhizobium japonicum* e *Azospirillum brasilenseAzospirillum brasilense*	Soja; campo, três safras (2016/17 a 2018/19)	Biomassa vegetal, nodulação e produtividade; coinoculação com uma dose de *B. japonicumB. japonicum* e duas de *A. brasilenseA. brasilense* apresentou maior massa seca de nódulos e rendimento	Indireta: efeito microbiológico; sem avaliação de plantas de cobertura
Pedrozo et al. (2025)	Aveia-branca, ervilhaca e nabo forrageiro	*A. brasilenseA. brasilense* e *B. amyloliquefaciensB. amyloliquefaciens*	Plantas de cobertura avaliadas por tratamento de sementes; sem avaliação de cultura sucessora.	Retenção de calda, germinação e desenvolvimento inicial; respostas distintas entre espécies, inoculantes e doses	Direta para inoculação de coberturas, mas não comprova persistência ou efeito na cultura sucessora
Frasca et al. (2023)	Espécies de cobertura de entressafra (não discriminadas nesta síntese).	*Serratia marcescensSerratia marcescens* e *Bacillus sp.Bacillus sp.*	Experimentos na região do Cerrado; avaliação das coberturas na entressafra, sem cultura sucessora identificada nesta síntese.	Produção de fitomassa e acúmulo de nutrientes; respostas favoráveis em determinadas combinações	Direta para inoculação de coberturas; sinergia na cultura sucessora não demonstrada

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 24/09/2026 - **Accepted:** 25/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/tv4eye32
Pages: 1-35

Escobar Ortega et al. (2021)	Aveia e centeio	*A. brasilenseA. brasilense* e *Pseudomonas fluorescensPseudomonas fluorescens*	Sistema cobertura–soja; manejo e coinoculação	Biomassa e perfis estruturais e funcionais da microbiota da rizosfera; alterações microbiológicas sem aumento generalizado das populações	Direta para manejo microbiológico das coberturas; sem comprovação de sinergia produtiva
Monteiro et al. (2025)	Arroz, milho, milheto, *Urochloa ruziziensisUrochloa ruziziensis* e mistura de plantas de cobertura.	*Bacillus sp.Bacillus sp.* e *Serratia marcescensSerratia marcescens*	Soja; experimento de campo durante cinco safras	Componentes de rendimento e produtividade; ausência de efeito significativo das coberturas e resposta favorável a determinados tratamentos microbianos	Direta: coberturas e manejo microbiológico no mesmo experimento; respostas individuais descritas. A significância da interação entre fatores deve ser conferida no artigo original.
Ferreira et al. (2026)	Trigo-mourisco, milheto-pérola, duas misturas de cobertura e pousio.	Tratamentos com microrganismos da Embrapa, produtos comerciais e manejo padrão; composição de cada tratamento a verificar no artigo.	Soja; campo em Santo Antônio de Goiás (GO), safras 2021/22, 2022/23 e 2023/24.	Produtividade e retorno econômico; diferenças entre manejos microbiológicos, sem efeito consistente das coberturas sobre o rendimento	Direta: coberturas e manejos microbiológicos avaliados conjuntamente; não inferir sinergia sem verificar o termo de interação.

Fonte: Elaborado pelos autores, com base nos estudos experimentais discutidos na revisão.

Evidência indireta refere-se aos estudos que avaliaram isoladamente plantas de cobertura ou bioinsumos microbianos, sem investigar sua associação. Evidência direta refere-se aos estudos que contemplaram a inoculação de plantas de cobertura ou a utilização das duas práticas em um mesmo sistema experimental. Entretanto, a presença simultânea desses fatores não comprova interação estatística ou sinergia.

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 24/09/2026 - **Accepted:** 25/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/tv4eye32
Pages: 1-35

A demonstração de efeito sinérgico exige comparação apropriada entre tratamentos individuais e combinados, com análise do termo de interação entre os fatores.

A interpretação dessas respostas exige considerar a diferença entre efeitos individuais, aditivos e sinérgicos. A ocorrência de benefícios associados às plantas de cobertura ou à inoculação microbiana não constitui, por si só, evidência de sinergia entre as tecnologias. Para demonstrar essa interação, são necessários delineamentos experimentais que permitam comparar os tratamentos individuais e combinados e verificar se a resposta da associação difere daquela esperada a partir dos efeitos de cada prática. Nesse sentido, os resultados de Monteiro et al. (2025) e Ferreira et al. (2026) reforçam a importância de avaliações que contemplem diretamente a interação entre os fatores de manejo, evitando atribuir à integração incrementos produtivos decorrentes predominantemente da atuação dos bioinsumos.

A duração das avaliações também deve ser considerada, uma vez que os efeitos das plantas de cobertura sobre determinados atributos do solo podem se manifestar gradualmente, enquanto as respostas à inoculação microbiana podem ocorrer em períodos mais curtos. Os resultados de Michelon et al. (2019), obtidos após três anos de manejo com coberturas de inverno, evidenciam a importância da continuidade dessas práticas. Por outro lado, Monteiro et al. (2025), ao avaliarem cinco safras, demonstraram que a utilização recorrente de plantas de cobertura não assegura incrementos significativos na produtividade da soja em todas as condições. Portanto, o potencial agronômico da integração deve ser investigado em diferentes escalas temporais, considerando tanto as respostas das culturas comerciais quanto a evolução das condições do solo.

Embora a retenção inicial do inoculante nas plantas de cobertura represente uma condição importante para sua aplicação, esse processo não assegura a sobrevivência dos microrganismos, sua colonização no solo ou a manutenção da atividade funcional após a dessecação. Romano, Ventorino e Pepe (2020) destacam a importância da colonização e da persistência dos microrganismos benéficos, enquanto Poppeliers, Sánchez-Gil e de Jonge (2023) ressaltam que seu estabelecimento depende das interações com a planta hospedeira e a microbiota

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 24/09/2026 - **Accepted:** 25/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/tv4eye32
Pages: 1-35

residente. Assim, essas etapas devem ser avaliadas separadamente, pois a eficiência inicial da aplicação não constitui evidência suficiente da permanência dos inoculantes.

Os métodos de eliminação das coberturas também podem influenciar as comunidades microbianas do solo. Romdhane et al. (2019) observaram alterações na abundância de grupos relacionados ao ciclo do nitrogênio após diferentes métodos de manejo, sem efeito sobre a abundância bacteriana total. Centurión et al. (2022) verificaram que as respostas microbiológicas variaram conforme o método de eliminação, a disponibilidade hídrica e o momento de avaliação durante o cultivo sucessor de milho. Em estudo de campo, Bernier Brillon et al. (2025) investigaram os efeitos da utilização de plantas de cobertura e da aplicação de herbicida à base de glifosato sobre as comunidades microbianas do solo, identificando alterações na abundância de determinados grupos, sem diferenças significativas na riqueza microbiana geral entre os sistemas com e sem coberturas.

A permanência dessas alterações após o manejo vegetal apresenta respostas temporais distintas. Cazzaniga et al. (2023) identificaram modificações nas comunidades microbianas que permaneceram detectáveis durante o cultivo sucessor de batata, sem incremento significativo na produtividade de tubérculos. Por outro lado, Ogunleye et al. (2023) observaram alterações na abundância de grupos microbianos após 36 dias da eliminação das coberturas, sem persistência generalizada após um ano. Entretanto, esses estudos não acompanharam estirpes previamente inoculadas nas plantas de cobertura, de modo que seus resultados não comprovam a sobrevivência ou a atividade funcional desses microrganismos após a dessecação.

A demonstração da persistência dos inoculantes requer métodos capazes de diferenciá-los das populações naturalmente presentes no solo. Romano, Ventorino e Pepe (2020) e Manfredini et al. (2021) discutem a utilização complementar de métodos de cultivo, técnicas moleculares e microscopia para acompanhar a presença e a colonização dos microrganismos introduzidos. Indicadores como biomassa microbiana e respiração do solo, empregados por Centurión et al. (2022), permitem avaliar respostas biológicas gerais, mas não atribuir a atividade observada

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 24/09/2026 - **Accepted:** 25/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/tv4eye32
Pages: 1-35

a uma estirpe específica. Portanto, estudos futuros devem associar o monitoramento da viabilidade e da colonização dos inoculantes a indicadores de suas funções biológicas, investigando se essas características permanecem após a dessecação e se estão relacionadas a efeitos agronômicos na cultura sucessora.

Além dos efeitos produtivos, a adoção conjunta de plantas de cobertura e bioinsumos microbianos deve considerar sua viabilidade econômica e suas contribuições à sustentabilidade agrícola. A produtividade representa apenas uma dimensão do desempenho do sistema, uma vez que maiores rendimentos não asseguram, necessariamente, maior rentabilidade. Ferreira et al. (2026) identificaram diferenças no retorno econômico entre estratégias de manejo microbiológico utilizadas na cultura da soja, demonstrando a importância de avaliar os resultados financeiros associados às práticas adotadas.

Os benefícios ambientais também devem ser considerados independentemente das respostas produtivas imediatas. Yousefi, Dray e Ghazoul (2024), em revisão sobre serviços ecossistêmicos, identificaram contribuições das plantas de cobertura para a ciclagem de nutrientes, a biodiversidade do solo e a conservação de seus atributos. Contudo, os efeitos sobre a produtividade das culturas comerciais não foram uniformes. Esses resultados indicam que a ausência de incremento produtivo imediato não significa, necessariamente, ausência de benefícios ambientais.

A dimensão temporal constitui outro aspecto relevante para a avaliação da sustentabilidade. Raveloaritiana e Wanger (2026), em uma síntese de meta-análises, identificaram benefícios de longo prazo da diversificação agrícola relacionados à rentabilidade, à biodiversidade e aos serviços ecossistêmicos, sem aumentos generalizados na produtividade. Entretanto, esses resultados abrangem diferentes estratégias de diversificação e não podem ser atribuídos diretamente à integração entre plantas de cobertura e bioinsumos microbianos.

A análise conjunta dos estudos permite distinguir diferentes níveis de evidência sobre a utilização de plantas de cobertura e bioinsumos microbianos. Entre os mecanismos com fundamentação científica mais consistente, destacam-se a produção e a decomposição da biomassa vegetal, a ciclagem de nutrientes e a

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 24/09/2026 - **Accepted:** 25/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/tv4eye32
Pages: 1-35

capacidade de determinados microrganismos de influenciar processos relacionados à nutrição e ao desenvolvimento das plantas (Michelon et al., 2019; Frasca et al., 2023; Romano, Ventorino e Pepe, 2020). Entretanto, o conhecimento desses mecanismos não constitui evidência suficiente de que sua associação proporcione benefícios agronômicos superiores aos obtidos com a utilização isolada das práticas.

As respostas agronômicas representam um segundo nível de evidência, caracterizado pela variabilidade dos resultados. Frasca et al. (2023) identificaram crespostas na produção de biomassa e no acúmulo de nutrientes em plantas de cobertura inoculadas, enquanto Escobar Ortega et al. (2021) observaram modificações nas comunidades microbianas da rizosfera e no desenvolvimento vegetal. Por outro lado, Monteiro et al. (2025) e Ferreira et al. (2026) não demonstraram incrementos produtivos consistentes atribuíveis especificamente à interação entre as práticas. Essas diferenças reforçam a necessidade de distinguir alterações fisiológicas e microbiológicas de efeitos efetivos sobre a produtividade das culturas sucessoras.

Por fim, permanecem como hipóteses a serem investigadas a persistência funcional dos microrganismos introduzidos após o manejo das coberturas, a manutenção de seus efeitos nas culturas sucessoras e a ocorrência de benefícios sinérgicos, econômicos e ambientais decorrentes especificamente da integração. Romano, Ventorino e Pepe (2020) e Manfredini et al. (2021) destacam a importância do acompanhamento da colonização e da persistência dos inoculantes, bem como da utilização de métodos capazes de diferenciá-los das comunidades residentes. Nesse contexto, a comprovação dos efeitos integrados requer experimentos de campo que comparem tratamentos individuais e combinados e avaliem respostas agronômicas e ambientais ao longo de diferentes safras. Assim, esta revisão distingue mecanismos conhecidos, respostas dependentes do contexto e efeitos integrados que ainda necessitam de comprovação experimental.

4. Considerações Finais

A literatura analisada evidencia que as plantas de cobertura desempenham funções importantes na sustentabilidade dos sistemas agrícolas, contribuindo para a

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 24/09/2026 - **Accepted:** 25/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/tv4eye32
Pages: 1-35

proteção do solo, a produção de biomassa, a ciclagem de nutrientes e a manutenção de processos físicos, químicos e biológicos. Esses efeitos podem favorecer as condições de desenvolvimento das culturas cultivadas em sucessão, especialmente soja e milho. Entretanto, a magnitude das respostas depende das espécies utilizadas, da composição e decomposição dos resíduos vegetais, das condições edafoclimáticas e da continuidade das práticas de manejo, não resultando necessariamente em incrementos de produtividade.

Os bioinsumos microbianos, por sua vez, apresentam potencial para contribuir com a nutrição vegetal, a promoção do crescimento e o manejo fitossanitário, por meio de mecanismos como fixação biológica de nitrogênio, solubilização de nutrientes, produção de fitormônios e antagonismo a fitopatógenos. Contudo, sua eficiência agronômica está condicionada à interação entre o microrganismo, a espécie vegetal e o ambiente, além de fatores relacionados à formulação, à dose e à tecnologia de aplicação. Dessa forma, os resultados favoráveis observados em determinados sistemas não devem ser generalizados para diferentes culturas e condições de produção.

A integração entre plantas de cobertura e bioinsumos representa uma possibilidade de associar os benefícios do manejo vegetal à atuação de microrganismos benéficos, incluindo a utilização das próprias espécies de cobertura como veículos para sua introdução no solo. Os estudos analisados demonstram respostas favoráveis em determinadas combinações de espécies vegetais e agentes biológicos, especialmente quanto ao desenvolvimento das coberturas, à produção de biomassa e às modificações nas comunidades microbianas da rizosfera. Entretanto, as evidências de incrementos na produtividade das culturas de verão decorrentes especificamente dessa associação ainda são limitadas e não permitem afirmar a ocorrência generalizada de efeitos sinérgicos.

Conclui-se que a integração entre plantas de cobertura e bioinsumos microbianos apresenta potencial para complementar estratégias de manejo agrícola e favorecer a sustentabilidade dos sistemas produtivos. Contudo, sua contribuição efetiva para o desempenho das culturas de verão depende de maior validação experimental. Nesse sentido, são necessários estudos conduzidos em condições de

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 24/09/2026 - **Accepted:** 25/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/tv4eye32
Pages: 1-35

campo, preferencialmente ao longo de diferentes safras, que permitam distinguir os efeitos individuais e combinados dessas práticas, considerando as espécies vegetais, os microrganismos utilizados, as condições edafoclimáticas e as respostas agronômicas e microbiológicas do sistema. Essas investigações poderão subsidiar recomendações técnicas mais consistentes e identificar as condições em que a integração proporciona benefícios efetivos à produção agrícola.

5. Referências

Araujo-Junior, Cezar Francisco, et al. “Long-Term Winter Cover Crops Alter the Soil Microbial Biomass and Enzyme Activities in Brazilian Oxisols.” *Agronomy*, vol. 15, no. 10, Sept. 2025, p. 2323. https://doi.org/10.3390/agronomy15102323.

BRASIL. Lei nº 15.070, de 23 de dezembro de 2024. Dispõe sobre a produção, a importação, a exportação, o registro, a comercialização, o uso, a inspeção, a fiscalização, a pesquisa, a experimentação e outras disposições relativas aos bioinsumos para uso agrícola, pecuário, aquícola e florestal. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 24 dez. 2024. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2024/lei/l15070.htm.

Bernier Brillon, J., Lucotte, M., Giusti, B., Tremblay, G., & Moingt, M. (2025). Cross-effect between cover crops and glyphosate-based herbicide application on microbiote communities in field crops soils. *Agriculture*, *15*(4), 432. https://doi.org/10.3390/agriculture15040432

Cazzaniga, Sara Giulia , van, Lombaers, C., Kroonen, M., Visser, J., Postma, J., Mommer, L., & Helder, J. (2023). On the legacy of cover crop-specific microbial footprints. *Soil Biology & Biochemistry*, *184*, 109080–109080. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2023.109080

Centurión, N., Ulcuango, K., Navas, M., Mariscal-Sancho, I., Ibáñez, M. A., Moliner, A., & Hontoria, C. (2022). Soil microbial response to cover crop termination methods under two water levels. *Agronomy*, *12*(12), 3002. https://doi.org/10.3390/agronomy12123002

Coradini, Brenner Yuri Prado, et al. “Densidades De Semeadura De Espécies Vegetais Para a Composição De Mix De Plantas De Cobertura Do Solo.”

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 24/09/2026 - **Accepted:** 25/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/tv4eye32
Pages: 1-35

OBSERVATÓRIO DE LA ECONOMÍA LATINOAMERICANA, vol. 23, no. 9, Sept. 2025, p. e11488. https://doi.org/10.55905/oelv23n9-097.

Da Silva, Ana Caroline Batista, et al. “USO E EFEITO DOS BIOINSUMOS NA AGRICULTURA.” *Editora Científica Digital eBooks*, 2022, pp. 192–205. https://doi.org/10.37885/220709308.

Da Silva, Felipe Israel, et al. “Contribuição De Diferentes Mix De Plantas De Cobertura Na Infiltração Da Água No Solo.” *OBSERVATÓRIO DE LA ECONOMÍA LATINOAMERICANA*, vol. 23, no. 10, Oct. 2025, p. e11676. https://doi.org/10.55905/oelv23n10-010.

De Aguiar, Daniel Pereira Gasparoto, et al. “CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DA CULTURA DO MILHO EM SUCESSÃO A PLANTAS DE COBERTURA.” *Veredas Do Direito Direito Ambiental E Desenvolvimento Sustentável*, vol. 23, no. 10, June 2026, p. e236930. https://doi.org/10.18623/rvd.v23.6930.

De Lima, Pedro Soares, et al. “USO DE BIOINSUMOS NA AGRICULTURA: UMA REVISÃO SOBRE SUSTENTABILIDADE E PROCESSOS QUÍMICOS DO SOLO.” *Revista Tópicos.*, vol. 4, no. 34, June 2026, pp. 1–30. https://doi.org/10.70773/revistatopicos/781365493.

Dressler, Andressa Lançanova, et al. “Eficácia Da Inoculação E Coinoculação De Bactérias Na Semente E Por Pulverização Na Cultura Da Soja.” *OBSERVATÓRIO DE LA ECONOMÍA LATINOAMERICANA*, vol. 23, no. 10, Oct. 2025, p. e11773. https://doi.org/10.55905/oelv23n10-047.

Ecco, Martios, et al. “INOCULAÇÃO POR DIFERENTES PRODUTOS a BASE DE Azospirillum Brasilense NA CULTURA DO TRIGO.” *Revista Ciência Agrícola*, vol. 20, no. 1, Apr. 2022, pp. 9–17. https://doi.org/10.28998/rca.v20i1.10537.

Escobar Ortega, Jhovana S., et al. “Impact of Management of Cover Crop–soybean Agroecosystems on Rhizosphere Microbial Communities.” *European Journal of Soil Science*, vol. 72, no. 3, Dec. 2021, pp. 1154–76. https://doi.org/10.1111/ejss.13057.

Ferreira, Izabely V. L., et al. “Agronomic and Economic Evaluation of Soybean Under Beneficial Microorganism and Cover Crop Management.” *Revista Caatinga*, vol. 39, Jan. 2026, https://doi.org/10.1590/1983-21252026v3914216rc.

Frasca, Laylla Luanna De Mello, et al. “Plantas De Cobertura Inoculadas Com Microrganismos Multifuncionais Na Entressafra Em Sistemas De Produção Da

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 24/09/2026 - **Accepted:** 25/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/tv4eye32
Pages: 1-35

Região Do Cerrado." *Semina Ciências Agrárias*, vol. 44, no. 4, Oct. 2023, pp. 1489–506. https://doi.org/10.5433/1679-0359.2023v44n4p1489.

Glick, Bernard R. "Plant Growth-Promoting Bacteria: Mechanisms and Applications." *Scientifica*, vol. 2012, Jan. 2012, pp. 1–15. https://doi.org/10.6064/2012/963401.

Jiang, M., Delgado-Baquerizo, M., Yuan, M. M., Ding, J., Yergeau, E., Zhou, J., Crowther, T. W., & Liang, Y. (2023). Home-based microbial solution to boost crop growth in low-fertility soil. *New Phytologist*, *239*(2), 752–765. https://doi.org/10.1111/nph.18943

Junges, Emanuele, et al. "Biopriming in Black Oat Seeds." *Científica*, vol. 47, no. 1, Mar. 2019, pp. 104–13. https://doi.org/10.15361/1984-5529.2019v47n1p104-113.

Lowry, C. J., and D. C. Brainard. "Rye–Vetch Spatial Arrangement and Tillage: Impacts on Soil Nitrogen and Sweet Corn Roots." *Agronomy Journal*, vol. 109, no. 3, Apr. 2017, pp. 1013–23. https://doi.org/10.2134/agronj2016.09.0507.

Lussich, Facundo, et al. "Cover Crop Residue Decomposition Triggered Soil Oxygen Depletion and Promoted Nitrous Oxide Emissions." *Scientific Reports*, vol. 14, no. 1, Apr. 2024, p. 8437. https://doi.org/10.1038/s41598-024-58942-7.

Machado, Rafael Goulart, et al. "Avaliação de Plantas de Cobertura EM Sucessão À Cultura DA SOJA." *Revista Agrotecnologia - Agrotec*, vol. 16, no. FluxoCont, 2025, pp. 12–21. www.revista.ueg.br/index.php/agrotecnologia/en/article/view/16739.

Maciá-Vicente, Jose G., et al. "Cover Crop Mixtures Do Not Assemble Markedly Distinct Soil Microbiotas as Compared to Monocultures in a Multilocation Field Experiment." *Applied Soil Ecology*, vol. 202, Aug. 2024, p. 105573. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2024.105573.

Manfredini, A., Malusà, E., Costa, C., Pallottino, F., Mocali, S., Pinzari, F., & Canfora, L. (2021). Current methods, common practices, and perspectives in tracking and monitoring bioinoculants in soil. *Frontiers in Microbiology*, *12*. https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.698491

Michelon, Cleudson, Schott, Anderson Diego, Junges, Emanuele. "PHYSICAL ATTRIBUTES OF SOIL AND WHEAT PRODUCTIVITY AS a FUNCTION OF COVERING PLANTS AND MECHANICAL CHISELING." *Colloquium Agrariae*, vol. 19, no. 1, Sept. 2023, pp. 338–51. https://doi.org/10.5747/ca.2023.v19.h534.

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 24/09/2026 - **Accepted:** 25/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/tv4eye32
Pages: 1-35

Michelon, Cleudson J., et al. “Co-inoculation of Bradyrhizobium Japonicum and Azospirillum Brasilense in the Soybean Crop.” *Journal of Agricultural Science*, vol. 12, no. 10, Sept. 2020, p. 154. https://doi.org/10.5539/jas.v12n10p154.

Michelon, Cleudson José, et al. “Atributos Do Solo E Produtividade Do Milho Cultivado Em Sucessão a Plantas De Cobertura De Inverno.” *Revista De Ciências Agroveterinárias*, vol. 18, no. 2, June 2019, https://doi.org/10.5965/223811711812019230.

Monteiro, Natasha Ohanny Da Costa, et al. “Beneficial Rhizobacteria and Cover Crops on Soybean Development.” *Revista CERES*, May 2025, pp. 01–08. https://doi.org/10.71252/2177-34912025720016.

Morales, Marianela Estefanía, et al. “Winter Cover Crop Suppression Methods Influence on Sunflower Growth and Rhizosphere Communities.” *Frontiers in Microbiology*, vol. 15, June 2025, p. 1405842. https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1405842.

Neto, Lethícia, et al. “Decomposição De Resíduos Vegetais Em Ambiente Alagado E Sequeiro Sob Diferentes Manejos De Solo.” *Scientia Plena*, vol. 13, no. 12, Jan. 2018, https://doi.org/10.14808/sci.plena.2017.125301.

Ogunleye, A., Thapa, V. R., Aryal, D. R., Ghimire, R., & Acosta-Martinez, V. (2023). Microbial community response to cover cropping varied with time after termination. *Agricultural & Environmental Letters*, *8*(2), Article e20118. https://doi.org/10.1002/ael2.20118

Pedrozo, C. D., et al. “Cover Crops as a Vehicle for Soil Application of Bio-inputs Based on Azospirillum Brasilense and Bacillus Amyloliquefaciens.” *Brazilian Journal of Biology*, vol. 85, Jan. 2025, p. e299282. https://doi.org/10.1590/1519-6984.299282.

Pires, Bárbara Tainara Ferreira, et al. “BIOINSUMOS MICROBIANOS NA DINÂMICA SOLO-PLANTA-MICRORGANISMO: IMPLICAÇÕES NA FERTILIDADE, CICLAGEM DE NUTRIENTES, CONTROLE BIOLÓGICO E SUSTENTABILIDADE AGROECOSSISTÊMICA.” *Aurum Revista Multidisciplinar*, vol. 2, no. 2, Feb. 2026, pp. 1–14. https://doi.org/10.63330/armv2n2-002.

Poppeliers, S. W., Sánchez-Gil, J. J., & de Jonge, R. (2023). Microbes to support plant health: Understanding bioinoculant success in complex conditions. Current Opinion in Microbiology, 73, 102286. https://doi.org/10.1016/j.mib.2023.102286

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 24/09/2026 - **Accepted:** 25/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/tv4eye32
Pages: 1-35

Raniro, Henrique Rasera, et al. “Phosphorus Release Dynamics From Cover Crop Residues: A Comparison Between Single Species and Mixtures.” *Soil Use and Management*, vol. 41, no. 2, Apr. 2025, https://doi.org/10.1111/sum.70082.

Raveloaritiana, E., & Wanger, T. C. (2026). Long-term agricultural diversification increases financial profitability, biodiversity, and ecosystem services: A second-order meta-analysis. *Nature Communications*, *17*(1), Article 1016. https://doi.org/10.1038/s41467-025-67757-7

Rech, Luis Felipe, et al. “Tabaco Em Sistema De Cultivo Mínimo: Influência Das Plantas De Cobertura Nas Propriedades Físicas Do Solo E Produtividade.” *DELOS Desarrollo Local Sostenible*, vol. 18, no. 69, July 2025, p. e5756. https://doi.org/10.55905/rdelosv18.n69-022.

Romano, I., Ventorino, V., & Pepe, O. (2020). Effectiveness of plant beneficial microbes: Overview of the methodological approaches for the assessment of root colonization and persistence. *Frontiers in Plant Science*, *11*. https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00006

Romdhane, S., Spor, A., Busset, H., Falchetto, L., Martin, J., Bizouard, F., Bru, D., Breuil, M.-C., Philippot, L., & Cordeau, S. (2019). Cover crop management practices rather than composition of cover crop mixtures affect bacterial communities in no-till agroecosystems. Frontiers in Microbiology, 10, Article 1618. https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.01618

Schalemberguer, Julie Taís Simon, et al. “Plantas De Cobertura E Bionematicidas Como Alternativas De Manejo Em Áreas Olerícolas Com Nematoides Fitoparasitas.” *OBSERVATÓRIO DE LA ECONOMÍA LATINOAMERICANA*, vol. 23, no. 10, Oct. 2025, p. e11678. https://doi.org/10.55905/oelv23n10-012.

Seitz, Valerie A., et al. “Cover Crop Root Exudates Impact Soil Microbiome Functional Trajectories in Agricultural Soils.” *Microbiome*, vol. 12, no. 1, Sept. 2024, p. 183. https://doi.org/10.1186/s40168-024-01886-x.

Silva, Ana Kétilla de Paiva Carvalho, Costa, Rute Souza da, Chieza, Emerson Dalla. “CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DE PLANTAS DE COBERTURA DO SOLO PARA a REGIÃO DO MÉDIO MEARIM-MA.” *AGRI-ENVIRONMENTAL*

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 24/09/2026 - **Accepted:** 25/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/tv4eye32
Pages: 1-35

SCIENCES, vol. 11, no. 2, Oct. 2025, p. 13. https://doi.org/10.36725/agries.v11i2.10827.

Wang, Z., Chen, Z., Kowalchuk, G. A., Xu, Z., Fu, X., & Kuramae, E. E. (2021). Succession of the resident soil microbial community in response to periodic inoculations. Applied and Environmental Microbiology, 87(9), Article e00046-21. https://doi.org/10.1128/aem.00046-21

Yousefi, M., Dray, A., & Ghazoul, J. (2024). Assessing the effectiveness of cover crops on ecosystem services: A review of the benefits, challenges, and trade-offs. *International Journal of Agricultural Sustainability*, *22*(1), Article 2335106. https://doi.org/10.1080/14735903.2024.2335106

CC BY