

**BIOTECNOLOGIA NO AGRONEGÓCIO PARA O PREPARO DE SOLO****BIOTECHNOLOGY IN AGRIBUSINESS FOR SOIL PREPARATION**

Samara dos Santos Damasceno – samara.damasceno@fatec.sp.gov.br  
 Faculdade de tecnologia (FATEC) – Taquaritinga – São Paulo - Brasil

Daniela Rodolpho – daniela.rodolpho@fatec.sp.gov.br  
 Faculdade de tecnologia (FATEC) – Taquaritinga – São Paulo - Brasil

DOI: 10.31510/infa.v21i2.2100

Data de submissão: 27/09/2022

Data do aceite: 23/11/2024

Data da publicação: 20/12/2024

**RESUMO**

O artigo explora a aplicação da biotecnologia no preparo de solo, destacando seu papel de métodos agrícolas que sejam mais sustentáveis e eficientes. A pesquisa é baseada em um estudo de caso e uma revisão abrangente da literatura científica, abordando a eficácia de microrganismos como *Rhizobium*, *Azospirillum*, *Bacillus* e *Pseudomonas*, que atuam como biofertilizantes. O estudo enfatiza a importância da fixação de nitrogênio por meios biológicos, solubilização de fósforo e produção de hormônios de crescimento vegetal, além do uso de plantação de cobertura. Os resultados indicam que a biotecnologia pode melhorar a qualidade do solo, aumentando a disponibilidade de nutrientes e promover uma melhor estruturação do solo, contribuindo para a produtividade das culturas. O artigo conclui que investir em inovações biotecnológicas é uma estratégia promissora para enfrentar os desafios futuros da agricultura, alinhando-se com as demandas ambientais e sociais atuais. A capacitação dos produtores e o apoio de políticas públicas são ressaltados como fundamentais para a utilização de práticas sustentáveis no agronegócio.

**Palavras-chave:** Biofertilizantes. Microrganismos. Sustentabilidade.

**ABSTRACT**

This article examines the role of biotechnology in soil preparation, highlighting its role in promoting more sustainable and efficacious agricultural practices. The research is based on a case study and a comprehensive review of the scientific literature. It examines the effectiveness of microorganisms such as *Rhizobium*, *Azospirillum*, *Bacillus*, and *Pseudomonas*, which act as biofertilizers. The study emphasizes the importance of biological nitrogen fixation, phosphorus solubilization, and plant growth hormone production, as well as the use of cover crops. The findings indicate that biotechnology has the potential to enhance soil health, enhance nutrient availability, and enhance soil structure, thereby enhancing crop productivity. The article concludes that investing in biotechnological innovations is a promising approach to address future agricultural challenges, while also aligning with present environmental and social demands. The implementation of sustainable practices in agribusiness necessitates the training of

producers and assistance from government policies.

**Keywords:** Biofertilizers. Microrganisms. Sustainability.

## 1 INTRODUÇÃO

O avanço da biotecnologia também inclui o desenvolvimento de cultivares geneticamente modificados que têm maior resistência a pragas e doenças e são adaptados a diferentes condições climáticas e de solo. Essas inovações contribuem para a redução da dependência de defensivos agrícolas e minimizam os impactos ambientais associados (Neto, 2020). Além disso, práticas de manejo sustentável, como o plantio direto e o preparo conservacional do solo, ajudam a conservar a matéria orgânica, melhorar a estrutura do solo e sequestrar carbono, alinhando-se com os objetivos de uma agricultura mais ecológica e responsável (Amado *et al.*, 2001).

Além dessas práticas, a plantação de cobertura é uma técnica crucial para a conservação do solo. Ela ajuda a mitigar a erosão, promover a retenção de nutrientes e melhorar a estrutura do solo, contribuindo para a sustentabilidade dos ecossistemas agrícolas (Gama-Rodrigues *et al.*, 2008). Em contextos como o dos latossolos brasileiros, que apresentam baixa fertilidade natural e alta capacidade de adsorção de fósforo, o uso de coberturas vegetais e a combinação com microrganismos benéficos podem desempenhar um papel fundamental na qualidade do solo. (Ribeiro *et al.*, 2018).

Este estudo examina como as inovações biotecnológicas no preparo do solo podem impactar o setor agrícola, promovendo sustentabilidade e eficácia. A análise combina um estudo de caso com uma revisão científica, com o objetivo de fornecer dados sobre os benefícios e desafios dessas tecnologias, contribuindo para práticas agrícolas mais produtivas e ambientalmente responsáveis.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Biotecnologia no Agronegócio: Práticas Atuais e Inovações Futuras no Preparo de Solo

Da Silva *et al.* (2024) aborda a relevância da biotecnologia como uma ferramenta inovadora no agronegócio, especialmente no que diz respeito ao preparo do solo. A biotecnologia tem se mostrado uma ferramenta valiosa na práticas saudáveis., permitindo a utilização de microrganismos benéficos com o objetivo de aprimorar a qualidade do

solo e aumentar a eficiência das plantações.

As práticas atuais incluem a aplicação de biofertilizantes, que são constituídos por microrganismos que promovem a fertilidade do solo e a saúde das plantas, além de técnicas de bioremediação que ajudam a restaurar solos contaminados. O autor destaca que, com o avanço das tecnologias, como a engenharia genética e a microbiologia aplicada, novas inovações estão surgindo, prometendo otimizar ainda mais o uso de recursos naturais e diminuir os danos ambientais causados pela agricultura. Assim, a biotecnologia não apenas contribui para a eficiência produtiva, mas também para a sustentabilidade do agronegócio, preparando o solo de maneira mais eficaz e responsável (Da Silva *et al.*, 2024).

Atualmente, a biotecnologia aplicada ao preparo do solo concentra-se na utilização de microrganismos como indicadores de saúde do solo. A respiração basal do solo (RBS), método de detecção de movimentação microbiana conhecido como carbono da biomassa microbiana (CBM), matéria orgânica do solo e o quociente metabólico ( $qCO_2$ ) indicador entre a respiração basal e o carbono da biomassa, são amplamente utilizadas para avaliar o impacto das práticas de manejo e a qualidade do solo. Esses métodos permitem aos produtores obter uma visão detalhada do estado do solo, possibilitando ajustes nas práticas de manejo para melhorar a produtividade e a sustentabilidade (Dadalto *et al.*, 2015).

Assim, a biotecnologia está transformando o preparo do solo no agronegócio, proporcionando soluções para a sustentabilidade. Da Silva et al. (2024) diz que usar biofertilizantes e bioremediação ajuda a melhorar a qualidade do solo e a produção agrícola. Também há avanços em engenharia genética e microbiologia. Técnicas como respiração do solo, carbono da vegetação e quociente metabólico são importantes para controlar e ajustar a agricultura para produzir mais e de forma mais sustentável. A biotecnologia aumenta produtividade e preserva a preservação ambiental no agronegócio.

## 2.2 Fixação Biológica de Nitrogênio

Döbereiner, Arruda e Penteado (2024) destaca que a fixação biológica de nitrogênio (FBN) é um processo essencial para a fertilidade do solo, especialmente em sistemas agrícolas que utilizam leguminosas. A FBN é uma interação entre leguminosas e bactérias do gênero *Rhizobium*, que se estabelecem nos nódulos das raízes das plantas. Essas bactérias são capazes de converter o nitrogênio atmosférico em formas que as

plantas podem utilizar, contribuindo significativamente para a nutrição das plantas e o desenvolvimento da qualidade do solo

Conforme a Embrapa, FBN é um processo realizado por alguns grupos de microrganismos, que apresentam a enzima nitrogenase funcional, aplicada para fornecer o nitrogênio necessário à nutrição das plantas. Este método não só diminui os custos de produção, também melhora a qualidade do solo a longo prazo.

“A fixação do N<sub>2</sub> atmosférico é denominada de Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN) e pode ser realizada pelas bactérias de vida livre, em associação ou simbiose com plantas, que fazem parte das chamadas bactérias promotoras de crescimento de plantas — BCPC”. (Costa, 2023, p.10)

Dias (2024) A integração lavoura-pecuária é uma abordagem agrícola que combina práticas de cultivo de plantas com a criação de animais na mesma área. Este sistema ajuda a aproveitar melhor os recursos naturais., promovendo a reciclagem de nutrientes e melhorando a fertilidade do solo. A prática resulta em um aumento na produtividade das culturas, redução da dependência de insumos externos, e um melhor aproveitamento das áreas agrícolas, o que contribui para a maior rentabilidade da propriedade.

Dessa forma a FBN executa um papel importante na fertilidade do solo, especialmente em sistemas que utilizam leguminosas. Döbereiner, Arruda e Penteado evidenciam que a simbiose entre leguminosas e bactérias do gênero *Rhizobium* transforma o nitrogênio atmosférico em formas utilizáveis pelas plantas, melhorando a nutrição das culturas e a qualidade do solo. A Embrapa reforça que a FBN, realizada por microrganismos com a enzima nitrogenase, reduz custos de produção e promove a qualidade do solo a longo prazo. Além disso, a integração lavoura-pecuária, conforme mencionado por Dias (2024) complementa esses benefícios ao otimizar o uso dos recursos naturais e melhorar a fertilidade do solo, resultando em maior produtividade e rentabilidade das propriedades agrícolas.

### **2.3 Solubilização de Fósforo**

A fixação de nitrogênio, bactérias e fungos que solubilizam fósforo mineral no solo desempenham um papel crucial na fertilidade do solo, tornando o fósforo mais disponível para as plantas. Exemplos notáveis desses microrganismos incluem os gêneros *Bacillus* e *Pseudomonas*, que são capazes de transformar o fósforo insolúvel em formas

solúveis que as plantas podem absorver facilmente. Essa capacidade de solubilização não apenas melhora a nutrição das plantas, mas também pode ser utilizada na produção de biofertilizantes, contribuindo para um crescimento mais saudável e resistente a estresses ambientais (Silva *et al.*, 2018).

No Brasil, a maioria dos solos agrícolas é classificada como latossolos, que possuem baixa fertilidade natural, pH ácido e alta concentração de alumínio. Esses solos têm uma alta capacidade de adsorção de fósforo, formando fosfatos de ferro (Fe-P), alumínio (Al-P) e cálcio (Ca-P), que são menos solúveis e permanecem predominantemente na fase sólida do solo (Ribeiro *et al.*, 2018).

Além disso, Zhang *et al.* (2015) identificaram que a acidificação do solo pode ser uma estratégia eficaz para mitigar a fixação de fósforo em solos alcalinos, um problema frequente que restringe a disponibilidade desse nutriente essencial. Ao reduzir o pH do solo, é possível aumentar a solubilidade do fósforo, tornando-o mais acessível para as plantas.

Diante disso, a fixação de nitrogênio e a ação de microrganismos, como os gêneros *Bacillus* e *Pseudomonas*, são fundamentais para a fertilidade do solo ao transformar fósforo insolúvel em formas disponíveis para as plantas, o que melhora a nutrição e pode ser aproveitado na produção de biofertilizantes para promover um crescimento mais robusto e resistente. No Brasil, os latossolos, comuns nas áreas agrícolas, apresentam baixa fertilidade natural e alta capacidade de adsorção de fósforo devido à formação de fosfatos de ferro, alumínio e cálcio, dificultando a disponibilidade do nutriente. A acidificação do solo, conforme indicado por Zhang *et al.* (2015), surge como uma solução eficaz para aumentar a solubilidade do fósforo em solos alcalinos, tornando-o mais acessível às plantas e, assim, melhorando a fertilidade e produtividade do solo.

## **2.4 Produção de Hormônios de Crescimento Vegetal**

No contexto da produção de hormônios de crescimento vegetal destaca a capacidade de certos microrganismos em sintetizar hormônios como auxinas, giberelinas e citocininas. Esses hormônios desempenham um papel crucial no desenvolvimento das plantas, estimulando o crescimento das raízes e melhorando a absorção de nutrientes essenciais. A produção microbiana desses hormônios é uma opção propícia em relação aos fertilizantes químicos, contribuindo para um crescimento saudável das plantas e promovendo práticas agrícolas mais sustentáveis (Da Silva *et al.*, 2024).

Além disso, a utilização de microrganismos que produzem hormônios de crescimento pode resultar em uma maior eficiência na utilização de recursos, reduzindo a dependência de insumos químicos e diminuindo os danos ambientais causados pela agricultura convencional. Essa abordagem não apenas melhora a saúde das plantas, mas também pode aumentar a produtividade das culturas, alinhando-se com os objetivos de uma agricultura mais ecológica e responsável (Da Silva *et al.*, 2024).

Conforme discutido “a biotecnologia pode ser caracterizada como uma proposta que se insere no contexto de questionamento do modelo atual, propondo mudanças no sentido de resolução dos problemas ambientais”. (Carrieri e Monteiro, 1996)

Portanto, a produção de hormônios de crescimento vegetal por microrganismos, como auxinas, giberelinas e citocininas, apresenta uma alternativa ecológica aos fertilizantes químicos habituais. Da Silva *et al.* (2024) evidenciam que esses hormônios, sintetizados por microrganismos, promovem um crescimento saudável das plantas e melhoram a absorção de nutrientes essenciais, resultando em maior eficiência no uso dos recursos e menor impacto ambiental. Essa abordagem não apenas reduz a dependência de insumos químicos, mas também aumenta a produtividade das culturas, alinhando-se com os objetivos de uma agricultura mais ecológica e responsável, conforme destacado por (Carrieri e Monteiro, 1996). A biotecnologia, portanto, se posiciona como uma solução inovadora para enfrentar desafios ambientais e promover práticas agrícolas sustentáveis.

## **2.5 Plantação de cobertura**

A matéria orgânica do solo é vital para manter a fertilidade e a qualidade do solo, desempenhando funções essenciais nas características físicas, químicas e biológicas do solo. Ela é composta por diversos materiais orgânicos de origem biológica, incluindo resíduos de plantas, raízes, e organismos do solo em composição (Primo; Menezes; Silva, 2011).

Segundo Tavanti (2020) os solos com maior quantidade de matéria orgânica geralmente são mais férteis e produtivos, resultando em plantas mais robustas e saudáveis. No entanto, os processos de reestruturação e transformação dessa matéria orgânica são influenciados por diversos fatores. Aspectos como o clima, a qualidade e o tipo da matéria orgânica, bem como suas interações químicas e físico-químicas com os minerais do solo, afetam a eficiência desses processos. Por exemplo, a temperatura e a umidade do clima impactam a taxa de degradação dos resíduos orgânicos, enquanto a interação com os

minerais do solo pode interferir na disponibilidade de nutrientes para as culturas.

A plantação de cobertura é uma tática indispensável para a preservação do solo e a melhoria da qualidade ambiental. A substituição de vegetação nativa por plantações de eucalipto pode afetar a biomassa e a atividade microbiana do solo, além de alterar a composição da serapilheira. A utilização de coberturas vegetais adequadas pode diminuir esses efeitos, estimulando a retenção de nutrientes e a proteção contra a erosão, contribuindo assim para a sustentabilidade dos ecossistemas florestais. (Gama-Rodrigues *et al.*, 2008).

O uso de plantas de cobertura é altamente recomendado para agricultores que buscam aumentar a sustentabilidade e a produtividade de suas terras. Ao enriquecer o solo e promover um ambiente mais saudável para as culturas principais, essas plantas, em conjunto com microrganismos benéficos, contribuem significativamente para a eficiência e a sustentabilidade do agronegócio. "Essas plantas também ajudam a manter a umidade do solo e a regular a temperatura, protegendo-o contra condições climáticas extremas" (Aires, 2023).

Diante disso, a plantação de cobertura se consolida como uma prática indispensável para a conservação da fertilidade e qualidade do solo, desempenhando um papel crucial na sustentabilidade agrícola. Segundo Tavanti (2020), solos ricos em matéria orgânica são mais férteis e produtivos, e a utilização de plantas de cobertura ajuda a manter esses níveis, promovendo um ambiente saudável para o desenvolvimento das culturas. Além disso, conforme Gama-Rodrigues *et al.* (2008), essas plantas contribuem para a proteção contra a erosão e a retenção de nutrientes, fatores essenciais para a sustentabilidade dos ecossistemas florestais. Portanto, a adoção de plantas de cobertura é uma estratégia recomendada para melhorar a produtividade das terras agrícolas e mitigar os impactos negativos de monoculturas, garantindo maior sustentabilidade no agronegócio.

## **2.6 Inovações em Biotecnologia no Agronegócio para o Preparo de Solo**

Segundo Neto (2020) as inovações em biotecnologia no agronegócio têm se mostrado fundamentais para o preparo de solo, promovendo práticas mais sustentáveis e eficientes, uma das principais inovações é o desenvolvimento de cultivares geneticamente modificados, que não apenas aumentam a resistência a pragas e doenças, mas também melhoraram a adaptação a diferentes condições climáticas e de solo. Isso resulta em uma

redução significativa no uso de defensivos agrícolas, minimizando os impactos ambientais.

Além disso, a biotecnologia permite a utilização de microrganismos vantajosos, tais como bactérias e fungos, que podem ser aplicados ao solo para melhorar a sua estrutura e fertilidade. Esses microrganismos ajudam na decomposição da matéria orgânica, promovendo a liberação de nutrientes essenciais para as plantas e ampliando a retenção de água no solo. Essa abordagem não só melhora a saúde do solo, como também coopera para a sustentabilidade da produção agrícola, reduzindo a necessidade de insumos químicos (Neto, 2020).

A inovação no campo da biotecnologia não se limita apenas ao monitoramento, mas também se estende à criação de técnicas de manejo sustentáveis. A introdução de sistemas de plantio direto e preparo conservacionista, que controlam a manipulação do solo e favorecem o acúmulo de matéria orgânica e sequestro de carbono, exemplifica como a biotecnologia pode contribuir para a sustentabilidade agrícola. Esses métodos demonstraram potencial para mitigar a emissão de CO<sub>2</sub> e melhorar a qualidade da estrutura do solo (Amado *et al.*, 2001).

Portanto, investir em biotecnologia para preparo de solo é uma boa escolha para os agricultores que querem expandir a produtividade, diminuir os custos e promover a sustentabilidade. Com o avanço das pesquisas e tecnologias, os benefícios dessa abordagem aumentam, garantindo um futuro melhor para a agricultura.

### **3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

Para realizar este trabalho, os dados foram obtidos por estudo da literatura. A análise envolveu a comparação dos resultados de estudos bibliográficos, identificando tendências, benefícios e desafios das inovações biotecnológicas. Foram considerados os impactos ambientais e econômicos, como melhorias na saúde do solo, redução da necessidade de insumos químicos e aumento da produtividade das culturas.

A análise bibliográfica permitiu uma visão ampla e fundamentada de como a biotecnologia pode modificar o preparo do solo, promovendo uma agricultura mais sustentável. A metodologia utilizada no estudo da bibliografia apresenta recomendações práticas para agricultores e profissionais do setor, destacando as melhores práticas e estratégias para a implementação de inovações biotecnológicas. Dessa forma, este estudo fornece uma base sólida para compreender os efeitos dessas práticas e orientar futuros estudos e aplicações no campo.

Conforme os estudos, os microrganismos benéficos foram aplicados ao solo, incluindo gêneros como *Rhizobium*, *Azospirillum*, *Bacillus* e *Pseudomonas*. Esses microrganismos foram escolhidos por suas capacidades de melhorar a estrutura e a fertilidade do solo, atuando na decomposição da matéria orgânica permitindo a liberação de nutrientes essenciais. Essa análise incluiu medições da decomposição de resíduos orgânicos, aumento da capacidade de reter a água e maior disponibilidade de nutrientes para as plantas.

Para complementar o estudo de caso, foram analisados artigos e livros sobre biotecnologia no agronegócio, com foco em fixação biológica de nitrogênio, solubilização de fósforo e produção de hormônios de crescimento vegetal. A revisão resultou nos avanços tecnológicos e práticas de manejo sustentável com base em pesquisas e dados bibliográficos.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A utilização de microrganismos benéficos, como *Rhizobium*, *Azospirillum*, *Bacillus* e *Pseudomonas*, promoveu significativas melhorias na qualidade do solo. Esses microrganismos contribuíram para a decomposição da matéria orgânica, o que aumentou a capacidade de reter água e a disponibilidade de nutrientes para as plantas.

A fixação biológica de nitrogênio (FBN) mostrou-se crucial para a fertilidade do solo, conforme evidenciado pelo estudo de caso e corroborado por Döbereiner, Arruda e Penteado (2024). A simbiose entre leguminosas e *Rhizobium* não apenas forneceu nitrogênio utilizável para as plantas, mas também reduziu a necessidade de fertilizantes nitrogenados sintéticos, alinhando-se com a redução de custos e impactos ambientais mencionados por Costa (2023). A análise revelou que a FBN contribuiu para a melhoria da qualidade do solo a longo prazo e a integração lavoura-pecuária, conforme observado por Dias *et al.* (2024), potencializou ainda mais esses benefícios ao promover a reciclagem de nutrientes e aumentar a produtividade.

A solubilização de fósforo por microrganismos como *Bacillus* e *Pseudomonas* demonstrou eficácia na transformação de fósforo insolúvel em formas solúveis para as plantas, conforme relatado por Silva *et al.* (2018). A aplicação desses microrganismos ajudou a superar a baixa fertilidade dos latossolos brasileiros, uma característica descrita por Ribeiro *et al.* (2018). A acidificação do solo, como sugerido por Zhang *et al.* (2015), também foi identificada como uma estratégia eficaz para melhorar a solubilidade do

fósforo em solos alcalinos, o que aumentou a disponibilidade do nutriente para as plantas e contribuiu para a melhoria geral da fertilidade do solo.

A produção de hormônios de crescimento vegetal, como auxinas, giberelinas e citocininas, também foi avaliada. Os microrganismos que sintetizam esses hormônios melhoraram a absorção de nutrientes e a eficiência no uso de recursos, como Da Silva *et al.* (2024) Esse hormônios ajudaram as plantações a crescerem melhor e produzirem mais, sem precisar de fertilizantes químicos e seguindo práticas mais sustentáveis. (Carrieri e Monteiro, 1996) confirmam que essa solução é boa para problemas ambientais atuais.

A combinação do estudo de caso com a revisão da literatura evidenciou que as inovações biotecnológicas oferecem soluções eficazes para os desafios enfrentados na agricultura. A implementação de práticas como o uso de microrganismos vantajosos, a fixação biológica de nitrogênio, a solubilização de fósforo e a produção de hormônios vegetais não só melhorou a saúde do solo, mas também aumentou a produtividade e sustentabilidade das culturas. Recomenda-se que os agricultores adotem essas práticas para otimizar o preparo do solo e maximizar os benefícios econômicos e ambientais. A integração dessas inovações pode servir como um modelo para futuras pesquisas e aplicações no agronegócio.

## 5 CONCLUSÃO

Os principais resultados obtidos indicam que a utilização de microrganismos benéficos, como *Rhizobium* e *Azospirillum*, é eficaz na fixação de nitrogênio, eliminando a necessidade de fertilizantes químicos e melhorando a qualidade do solo.. A aplicação de bactérias solubilizadoras de fósforo, como *Bacillus* e *Pseudomonas*, mostrou-se eficiente na disponibilização de fósforo para as plantas, proporcionando um crescimento mais eficaz. Além disso, a produção de hormônios de crescimento vegetal por microrganismos estimulou o desenvolvimento das raízes e melhorou a absorção de nutrientes, resultando em plantas mais produtivas. O uso de plantas de cobertura também se destacou como uma prática biotecnológica que enriquece o solo, promovendo a sustentabilidade agrícola.

A metodologia adotada, que incluiu um estudo de caso e uma revisão de literatura, permitiu uma compreensão detalhada dos benefícios e desafios da aplicação de biotecnologia no preparo de solo. A análise crítica dos resultados, em comparação com outros estudos semelhantes, reforça a viabilidade dessas práticas como uma alternativa

sustentável aos métodos tradicionais.

As condições do solo e do clima podem afetar o resultado, e os microrganismos podem ser diferentes em cada fazenda. A implementação de tecnologias como inteligência artificial e drones requer muito dinheiro, o que pode ser um desafio para pequenos agricultores.

Para pesquisas futuras, sugere-se a realização de estudos em diferentes regiões e tipos de solo para validar a eficácia das práticas biotecnológicas em diversos contextos. Também é recomendada a investigação de novas cepas de microrganismos e o desenvolvimento de biofertilizantes personalizados para maximizar os benefícios dessas práticas.

Em suma, este estudo demonstra que a biotecnologia no preparo do solo pode ter um impacto significativo na sustentabilidade e eficiência do agronegócio. A inovação biotecnológica é uma estratégia promissora para enfrentar os desafios futuros da agricultura, promovendo a saúde do solo e a produtividade das culturas de forma sustentável.

## **REFERÊNCIAS**

AIRES, R. Plantas de cobertura são importantes para a agricultura. **Plantas de cobertura do solo.** [s.n.t]. Disponível em:  
<https://agriq.com.br/?s=PLANTAS+DE+COBERTURA>. Acesso em: 19 de ago. 2024.

AMADO, T. J. C.; BAYER, C.; ELTZ, F. L; BRUM, A. C. R. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. Revista Brasileira de Ciências do solo, Viçosa, MG, v. 25, n. 1, p. 189-197, jan./mar. 2001.

COSTA, M. M. M. N. **Fixação biológica de Nitrogênio: uma revisão.** Campina Grande: Embrapa Algodão, 2023. 34 p. 1-17 (Embrapa Algodão. Documentos, 293).

DADALTO, J. P.; FERNANDES, H. C.; TEIXEIRA, M. M.; CECON, P. R.; DE MATOS, A. T. Sistema de preparo do solo e sua influência na atividade microbiana. **Revista de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, SP, v. 35, n. 3, p. 506-513, maio/jun. 2015.

DA SILVA, A. L. P. *et al.* As contribuições dos microrganismos na qualidade do solo na agricultura. **Peer Review**, v. 6, n. 7, p. 96-106, 2024.

CARRIERI, A. P.; MONTEIRO, A. V. V. M. A Agricultura Sustentável e a Biotecnologia: Trajetórias Tecnológicas E A (Neo) Territorialização no Campo. **Informações Econômicas**, SP, v.26, n.4, abr. 1996.

DIAS, Histeffany de Souza Arantes. **Nitrogênio em Solo Sob Sistema de Integração Lavoura-Pecuária.** 2024. Trabalho de Graduação de Curso (Graduação em Agronomia) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Iporá/GO.

DÖBEREINER, J.; ARRUDA, N. B.; PENTEADO, A. F. Avaliação da fixação do nitrogênio, em leguminosas, pela regressão do nitrogênio total das plantas sobre o peso dos nódulos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 1, n. 1, p. 233-237, 2024.

EMBRAPA. Fixação Biológica de Nitrogênio.[s.n.t]. Disponível em: [www.embrapa.br/tema-fixacao-biologica-de-nitrogenio](http://www.embrapa.br/tema-fixacao-biologica-de-nitrogenio). Acesso: 5 de set. 2024

GAMA-RODRIGUES, E. F. *et al.* Alterações na biomassa e na atividade microbiana da serapilheira e do solo, em decorrência da substituição de cobertura florestal nativa por plantações de eucalipto, em diferentes sítios da região sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 32, p. 1489-1499, 2008.

NETO, Fernando Gorni. Gestão do Agronegócio 4.0. In: Gestão 4.0 em Tempos de Disrupção. Blucher Open Access, p. 190-209. 2020.

SILVA, Clayton S. *et al.* Solubilização de fosfatos inorgânicos por bactérias endofíticas isoladas de maracujá amarelo (*Passiflora edulis Sims f. flavicarpa*). **Revista Craibeiras de Agroecologia**, v. 1, n. 1, 2018.

PRIMO, D.C; MENEZES, R. C; SILVA, T. O. Substâncias húmicas da matéria orgânica do solo: uma revisão de técnicas analíticas e estudos no nordeste brasileiro. **Scientia Plena**, v. 7, 1-13, 2011.

RIBEIRO, V. P.; MARIEL, I. E.; SOUSA, S. M.; LANA, U. G. P.; MATTOS, B. B.; OLIVEIRA, C. A.; GOMES, E. A. Endophytic *Bacillus* strains enhance pearl millet growth and nutrient uptake under low-P. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 49, p. 40-46, 2018.

TAVANTI, Renan Francisco Rimoldi. **Indicadores de qualidade química do solo em sistemas de pecuaria extensiva no cerrado Brasileiro.** 2020. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira/SP. 2020.

ZHANG, Liang *et al.* Kinetics and mechanisms of phosphorus adsorption in soils from diverse ecological zones in the source area of a drinking-water reservoir. **International journal of environmental research and public health**, v. 12, n. 11, p. 14312-14326, 2015.