

---

## Biotecnologias e procedimentos alternativos na recuperação de pastagens

Priscilla de Oliveira Nascimento, Otacílio José Passos Rangel, Maurício Novaes Souza, Thaís de Souza Pastor, Gilmara da Silva Rangel, Aline Marchiori Crespo, Geisa Corrêa Louback, Larissa Viana Bruneli, Monique Moreira Moulin

<https://doi.org/10.69570/mp.978-65-84548-25-1.c3>

### Resumo

A degradação do solo, particularmente nas pastagens brasileiras, representa um desafio fundamental para a produção de alimentos e a sustentabilidade ambiental, afetando metade das pastagens do país. Isso resulta em prejuízos econômicos, sociais e ambientais significativos para a pecuária. A recuperação das pastagens degradadas é essencial para tornar a agropecuária mais sustentável, proporcionando benefícios como a preservação dos biomas, aumento da produtividade animal, redução da erosão e do impacto na qualidade da água, além do sequestro de carbono. Diversas técnicas, incluindo o uso de insumos biológicos como enzimas, microrganismos, biofertilizantes e extratos de plantas; microrganismos multifuncionais; e substâncias húmicas, são fundamentais para promover o controle biológico, o crescimento das plantas e a resistência a estresses, complementando a adubação tradicional. Essas abordagens, que podem ser consideradas práticas agroecológicas, portanto, oferecendo uma visão holística e sustentável para recuperar a resistência dos ecossistemas, são fundamentais para promover uma agropecuária sustentável, incluindo a agricultura familiar, reduzindo assim os impactos e as externalidades ambientais negativos, fortalecendo a resiliência dos sistemas agropecuários.

**Palavras-chave:** Degradação de pastagens. Recuperação ambiental. Técnicas alternativas. Práticas agroecológicas. Biotecnologias.

## 1. Introdução

O solo é um recurso natural essencial para o funcionamento dos ecossistemas, sendo a qualidade do mesmo um atributo fundamental para o desenvolvimento das espécies que ali habitam, assim como para a manutenção sustentável das culturas e, conseqüentemente, para a garantia de alimentos para a população global (Vieira, 1975; Silva *et al.*, 2021; Souza, 2018; 2024). No entanto, é comum observar extensas áreas de solos expostos com indicativos de degradação (Souza, 2015; 2023). Grande parte dessas áreas corresponde a pastagens mal manejadas, algumas em estágio avançado de degradação (Figura 1).



**Figura 1.** Pastagem degradada em Santa Rita do Sapacuaí, MG. Fonte: Acervo Leonardo Cardoso Gonçalves, 2024.

Atualmente, diversas técnicas alternativas de recuperação estão disponíveis. Os insumos biológicos, por exemplo, abrangem produtos ou processos agroindustriais derivados de enzimas, extratos (de plantas ou microrganismos), microrganismos, macrorganismos (como invertebrados), metabólitos secundários e feromônios, com o propósito de controle biológico. Além disso, esses insumos atuam como agentes nutricionais, promotores de crescimento de plantas, mitigadores de estresses bióticos e abióticos, e também como substitutos para antibióticos. Esses recursos biológicos desempenham um

papel fundamental na agricultura sustentável, oferecendo alternativas mais naturais e menos impactantes ao meio ambiente (Figuras 2).



**Figuras 2.** Insumos biológicos. Fonte: Embrapa/SPD, 2021.

Um exemplo adicional é o biofertilizante, um tipo de adubo orgânico líquido que complementa a adubação com fertilizantes sólidos. Pode ser produzido dentro da propriedade rural, utilizando materiais facilmente encontrados no comércio ou na própria propriedade (Stuchi, 2015). Esse tipo de adubo fornece nutrientes essenciais para as plantas e também auxilia no controle de doenças e insetos, pois contém microrganismos benéficos para o solo (Figura 3).



**Figura 3.** Biofertilizante adubo orgânico que foi submetido ao processo de fermentação: Fonte: Stuchi, 2015.

De acordo com essa mesma autora, o biofertilizante pode ser aplicado por meio de pulverizações nas folhas ou misturado à água de irrigação, proporcionando uma resposta mais rápida do que os fertilizantes sólidos. Geralmente, é utilizado em concentrações de 2% para mudas e 5% para plantas já no campo (Figura 4).



**Figura 4.** Aplicação do biofertilizante diretamente na lavoura: Fonte: Revista A Lavoura, 2012.

## 2. Pastagens degradadas no Brasil

As pastagens constituem uma parte importante dos agroecossistemas do mundo, ocupando cerca de um quarto da área terrestre. Uma parcela significativa da economia nacional depende diretamente das condições ambientais e do manejo adequado desses agroecossistemas (Silva *et al.*, 2021).

No Brasil, as gramíneas forrageiras mais importantes cultivadas são nativas da África e pertencem, em sua maioria, aos gêneros *Brachiaria*, *Panicum* e *Andropogon* (Macedo; Araújo, 2019). Espécies como *Brachiaria brizantha* cv. Marandu e *Stylosanthes* sp. cv. Campo Grande são adaptadas e amplamente utilizadas na região sul do Estado do Espírito Santo (Burak *et al.*, 2021).

O Brasil possui quase 180 milhões de hectares de pastagens, dos quais 50% estão em franco processo de degradação (Bendito *et al.*, 2017; Silva *et al.*,

2021). Devido ao seu desenvolvimento predominantemente extensivo, a degradação de pastagens tem sido um grande desafio para a pecuária brasileira, acarretando prejuízos econômicos, sociais e ambientais (Salomão; Barbosa; Cordeiro, 2020).

Em geral, as causas mais importantes da degradação das pastagens incluem a escolha incorreta da espécie ou cultivar forrageira para uma determinada situação de manejo, clima ou fertilidade do solo onde serão implantadas; a má formação inicial; a falta de adubação de manutenção; e o manejo inadequado da pastagem (Vilela *et al.*, 2017).

Práticas inadequadas de pastoreio, como o uso de taxas de lotação ou períodos de descanso que desconsideram o ritmo de crescimento da pastagem, a não reposição adequada de nutrientes e o uso de fogo, destacam-se como contribuintes para a degradação (Terra *et al.*, 2019).

O superpastejo é uma das principais causas da degradação, pois o grande número de animais reduz o vigor das plantas, sua capacidade de rebrota e produção de sementes, diminuindo a quantidade de material vegetal para captação de luz solar e realização da fotossíntese, o que pode levar à morte das plantas (Vilela *et al.*, 2017).

A degradação de solos em pastagens é um processo contínuo de alterações, iniciado com a perda de vigor e produtividade das plantas, sendo a degradação física um dos últimos estágios desse processo. A densidade do solo é o parâmetro físico mais utilizado para avaliar a degradação física dos solos de pastagens (Neves Junior *et al.*, 2013).

Outro problema no Brasil é a destinação preferencial de áreas marginais, de difícil acesso e de baixo potencial agrícola para a formação de pastagens. A principal consequência dessa situação tem sido a alta incidência de pastagens degradadas e a estigmatização da pecuária desenvolvida a pasto como atividade improdutiva e essencialmente danosa ao meio ambiente (Dias-Filho, 2014).

O manejo inadequado altera a densidade natural do solo, causando redução em sua qualidade física e, conseqüentemente, implicando em efeitos negativos no desenvolvimento de culturas (Farias *et al.*, 2013). A compactação do solo, definida como o aumento da densidade do solo causado por humanos

ou animais, resulta no rearranjo das partículas do solo e agregados (Bonfim-Silva *et al.*, 2013; Almeida *et al.*, 2021). A densidade do solo compactado é capaz de inibir o crescimento das plantas e varia conforme a classe de solo, a espécie plantada e as condições de umidade do solo (Bonfim-Silva *et al.*, 2013).

Em solos compactados, o número de macroporos é reduzido e a densidade é maior, conferindo maior resistência física à penetração das raízes (Farias *et al.*, 2013). Como consequência, há restrição ao crescimento do sistema radicular, diminuindo a absorção de água e nutrientes, resultando em um menor crescimento da parte aérea (Bonfim-Silva *et al.*, 2013; Farias *et al.*, 2013). Almeida *et al.* (2021) afirmam que a compactação do solo interfere nas relações entre ar, água e temperatura, e essas influenciam praticamente todas as fases do desenvolvimento vegetal (Figura 5).



**Figura 5.** Solo compactado em pastagem degradada, Santa Rita do Sapacuaí, MG. Fonte: Acervo Leonardo Cardoso Gonçalves, 2024.

Farias *et al.* (2013), ao avaliarem características morfológicas e produtivas de feijão guandu anão cultivado em solo compactado, observaram que o aumento da densidade do solo promoveu diminuição do número de ramos e folhas, bem como reduções no diâmetro do caule em função do aumento dos níveis de compactação do solo. Resultados semelhantes foram observados por Bonfim-Silva *et al.* (2013) ao avaliarem cultivares de trigo submetidas à compactação do solo.

Almeida *et al.* (2021), ao avaliarem a compactação do solo e seus efeitos no crescimento inicial do milho, observaram decréscimo em altura, número de folhas e diâmetro das plantas em solos com maior compactação.

Colombo *et al.* (2017) conduziram um estudo avaliando os atributos físicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico em diferentes sistemas de manejo e uso do solo. Os sistemas investigados incluíram o Sistema de Plantio Direto, implantado há três anos, e uma Pastagem degradada, com mais de 10 anos de cultivo. A pesquisa focou na análise da macroporosidade, microporosidade, porosidade total, densidade do solo e resistência à penetração. Os resultados indicaram que os valores desses atributos não apresentaram diferenças significativas entre os sistemas de manejo, todos sendo considerados limitantes para o bom desenvolvimento vegetal.

De acordo com esses mesmos autores, embora os valores mais baixos de Resistência à Penetração tenham sido registrados na área de Plantio Direto, ainda foram considerados altos em ambos os sistemas, indicando a presença de uma camada compactada. Essa semelhança nos atributos sugere a possibilidade de compactação do solo em um sistema de plantio direto quando o manejo é inadequado.

Para Ferreira, Tavares Filho e Ferreira (2010), dentre os parâmetros propostos para o estudo da qualidade do solo com pastagens, incluem-se a cobertura vegetal, a erosão hídrica, a matéria orgânica, a estabilidade de agregados, a macrofauna do solo, a densidade, a porosidade e a retenção de água no solo, pois permitem distinguir os efeitos proporcionados pelos sistemas de manejo nos solos e contribuem para o monitoramento do manejo das pastagens.

A recuperação das pastagens degradadas representa um passo importante para tornar a agropecuária brasileira mais justa e sustentável ambientalmente. Entre os benefícios da incorporação de áreas degradadas aos sistemas produtivos, destacam-se: redução da abertura de novas áreas de cultivo, preservação dos biomas (sistema poupa-terra), aumento da lotação animal por área, redução do processo erosivo e de suas consequências para a qualidade do solo e da água, e sequestro de carbono, entre outros (Souza, 2015; 2018; 2022).

De acordo com Cerri *et al.* (2005), caso toda a área de pastagem degradada da Amazônia (13 milhões de hectares) recebesse manejo adequado e fosse recuperada, haveria a possibilidade de obter uma taxa de acúmulo de  $0,27 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  de carbono na camada de 0-30 cm, o que aumentaria os estoques de carbono dos solos dessa região e deixaria de emitir aproximadamente 3,5 milhões de toneladas de carbono por ano para a atmosfera. Nesse sentido, a recuperação de pastagens degradadas se torna fundamental e é um dos principais pilares capazes de sustentar e tornar eficientes os planos de mitigação de gases de efeito estufa gerados pela agricultura brasileira, além de mudar a imagem desse setor como um dos vilões do aquecimento global no Brasil.

Não diferente da realidade brasileira, no Estado do Espírito Santo, 18,1% de sua área agrícola com pastagens está degradada, sendo o manejo inadequado o principal fator responsável (Burak *et al.*, 2021). No Brasil Central, estima-se que 80% dos 50 a 60 milhões de hectares de pastagens cultivadas se encontram em algum estágio de degradação, sendo vários os fatores que podem levar a essa situação (Bendito *et al.*, 2017; Vilela *et al.*, 2017).

Segundo Macedo e Araújo (2019), a degradação das pastagens é o fator mais importante na atualidade que compromete a sustentabilidade da produção animal, sendo um processo dinâmico de queda relativa da produtividade. Terra *et al.* (2019) apontam que práticas agropecuárias intensivas têm ocasionado alterações nas características e na qualidade do solo, surgindo a necessidade de adoção de técnicas de manejo sustentáveis.

O manejo inadequado das pastagens, como superpastejo, superlotação e a não reposição de nutrientes, causa drásticas alterações nos atributos físicos do solo, prejudicando o desenvolvimento do sistema radicular das forrageiras. A compactação do solo diminui a sua porosidade, criando condições desfavoráveis à difusão de oxigênio, à drenagem da água pluvial na superfície e ao desenvolvimento das plantas, pois pode ocorrer o aumento da resistência do solo ao crescimento radicular, tornando a planta mais suscetível a déficits hídricos e com limitada capacidade de absorver nutrientes em camadas subsuperficiais do solo (Ferreira *et al.*, 2010; Bonfim-Silva *et al.*, 2013).

Neste sentido, com uma maior conscientização da sociedade, é fundamental o uso de práticas de manejo mais sustentáveis e que possibilitem a

recuperação de áreas de pastagem degradadas por meio da adoção de tecnologias que promovam a recuperação da qualidade química, física e biológica dos solos (Terra *et al.*, 2018).

### 3. Técnicas de recuperação de pastagens degradadas

As propriedades biológicas do solo, como a abundância de diferentes organismos (minhocas, nematoides, térmitas, formigas, actinomicetos, entre outros), a biomassa microbiana e a atividade enzimática, são indicadores importantes da sua qualidade. Enquanto isso, atributos físicos como textura, porosidade, densidade e estabilidade de agregados são frequentemente utilizados como indicadores físicos de qualidade. A acidez (pH e  $Al_{3+}$ ), salinidade, teor de carbono total ou orgânico, fósforo disponível e capacidade de troca iônica são exemplos de atributos químicos associados à qualidade do solo (Silva *et al.*, 2021).

A escolha da técnica de recuperação de pastagens depende do estágio de degradação (Townsend *et al.*, 2012; Terra *et al.*, 2019). A recuperação ou renovação pode ser realizada de forma direta ou indireta (Souza, 2018; Terra *et al.*, 2019). Os métodos diretos são utilizados quando as pastagens estão em grau inicial de degradação e incluem práticas mecânicas e químicas. As técnicas indiretas podem ser aplicadas em pastagens mais degradadas, e consistem em consorciar a pastagem com outras culturas para viabilizar economicamente sua recuperação (Figura 6).

A degradação pode ser evitada com o uso de tecnologias que mantenham a produção no patamar desejado (Terra *et al.*, 2019). Os casos mais simples podem ser resolvidos com o manejo correto do pastejo e uma lotação animal adequada (Salomão; Barbosa; Cordeiro, 2020). Porém, em situações mais específicas, podem ser necessárias práticas mais eficientes para melhorar as características físico-químicas do solo, como descompactação, calagem e adubações de estabelecimento e manutenção (Townsend *et al.*, 2012).



**Figura 6.** Pastagem degradada e compactada: cochinos consorciados com culturas - viabilidade econômica, Atílio Vivácqua, ES. Fonte: Acervo Márcio Menegucci, 2023.

Práticas como integração agricultura/pecuária e uso de consórcio com leguminosas podem reduzir o custo de recuperação de uma pastagem, já que a área pode ser utilizada para produção de grãos e posteriormente revertida para pastagem (Salomão; Barbosa; Cordeiro, 2020). Outra prática é a arborização das pastagens, que pode aumentar o estoque de carbono e a massa do dossel forrageiro (Crespo; Souza; Silva, 2023).

Uma ferramenta biotecnológica possível é o uso de microrganismos promotores de crescimento vegetal. Esses bioinsumos podem aumentar a eficiência da produção de forragem e proteína animal, além de acelerar o crescimento de espécies anuais e arbóreas de interesse econômico (Lopes *et al.*, 2021). Também é importante promover a adoção de técnicas de manejo que visem à conservação do solo e da água, como o plantio direto e a construção de terraços e barraginhas (Figura 7).



**Figura 7.** Pastagem degradada recuperada com cochinos e barraginhas, Atílio Vivácqua, ES. Fonte: Acervo Márcio Menegucci, 2023.

#### **4. Biotecnologias e recuperação de pastagens degradadas**

A crescente demanda por produção agrícola, aliada à necessidade de redução do uso de fertilizantes e pesticidas sintéticos, apresenta um desafio significativo nos dias atuais. Por isso, a pesquisa sobre microrganismos multifuncionais está recebendo cada vez mais atenção devido ao potencial dessa tecnologia em diminuir os custos de produção, enquanto aumenta a produtividade e a rentabilidade do agronegócio (Rezende *et al.*, 2021).

Para esses mesmos autores, a aplicação desses microrganismos, que operam por meio de mecanismos tanto diretos quanto indiretos, tem demonstrado a viabilidade de tornar as práticas de manejo das culturas mais sustentáveis ambientalmente. Esses mecanismos incluem a regulação do equilíbrio hormonal, a solubilização de nutrientes no solo e a indução de resistência contra patógenos.

A busca por tecnologias sustentáveis que promovam uma maior resiliência na produção animal a pasto e que sejam benéficas ao meio ambiente, como o uso de microrganismos, é promissora, uma vez que pode auxiliar as espécies forrageiras a tolerar efeitos adversos, como o estresse hídrico (Porto *et al.*, 2022).

Os processos biológicos apresentam grande potencial no processo de recuperação de pastagens e são extensivamente estudados no contexto dos insumos biológicos (Burak *et al.*, 2021). No Brasil, desde 2018, foram estabelecidas e implementadas políticas específicas para incentivar o desenvolvimento de bioinsumos, uma categoria que engloba tanto o controle biológico quanto os fertilizantes biológicos (Goulet, 2021).

De acordo com o Decreto Nº 10.375, de 26 de maio de 2020, que instituiu o Programa Nacional de Bioinsumos e o Conselho Estratégico do Programa Nacional de Bioinsumos, considera-se bioinsumo o produto, processo ou tecnologia de origem vegetal, animal ou microbiana, destinado ao uso na produção, armazenamento e beneficiamento de produtos agropecuários, em sistemas de produção aquáticos ou de florestas plantadas, que interfira positivamente no crescimento, desenvolvimento e mecanismo de resposta de animais, plantas, microrganismos e substâncias derivadas e que interaja com os produtos e processos físico-químicos e biológicos (Figura 8).



**Figura 8.** Bioinseticida para o controle de pragas em plantações de soja, milho e algodão: Fonte: Revista Globo Rural/Pesquisa e Tecnologia, 2021.

A diversidade de produtos reconhecidos como bioinsumos atualmente pode ser categorizada em diferentes grupos, tais como inoculantes, ativadores, biodefensivos e repositores. Outras terminologias também utilizadas incluem bioestimulantes microbianos, bioestimulantes não microbianos, biofertilizantes,

bioinoculantes e biopesticidas, havendo certa complexidade na classificação de novos produtos dentro dessas categorias (Burak *et al.*, 2021).

O Programa Nacional de Bioinsumos tem como um de seus objetivos incentivar a adoção de sistemas de produção sustentáveis que promovam o uso adequado de bioinsumos e aumentem a renda dos produtores, especialmente por meio da implementação de tecnologias como a recuperação de pastagens degradadas, além de outras práticas sustentáveis (Brasil, 2020).

A parte ativamente funcional da microbiota presente no solo, rizosfera, rizoplane e dentro das plantas hospedeiras desenvolvem processos naturais bem conhecidos que auxiliam no desenvolvimento das plantas, tanto de maneira direta quanto indireta, por meio de efeitos biofertilizantes (como a fixação biológica de nitrogênio, solubilização de fosfatos e potássio, disponibilização de enxofre), bioestimulantes (com efeito semelhante aos reguladores de crescimento vegetal) e biocontrole (mecanismos relacionados à proteção das plantas contra microrganismos fitopatogênicos) (Burak *et al.*, 2021).

O uso intensivo de fertilizantes inorgânicos tem impactos negativos sobre os microrganismos benéficos do solo, além de tornar as culturas mais susceptíveis ao ataque de patógenos. Portanto, é fundamental considerar tecnologias ambientalmente sustentáveis que não apenas aumentem o rendimento das culturas, mas também controlem pragas e doenças de forma sustentável, protegendo a saúde humana (Yatoo *et al.*, 2021).

#### **4.1. Insumos biológicos**

Conceitualmente, insumos biológicos ou bioinsumos são produtos de origem biológica que substituem, total ou parcialmente, os de origem sintética no processo produtivo agropecuário. Esses insumos são compostos por microrganismos, materiais vegetais, orgânicos ou inorgânicos naturais, caracterizados por apresentarem baixa toxicidade e por gerarem serviços ambientais, como a manutenção da biodiversidade e a ciclagem de nutrientes (Burak *et al.*, 2021).

Os microrganismos desempenham um papel fundamental nos processos de mineralização, constituindo uma fonte significativa de nutrientes

potencialmente disponíveis para as plantas. A biomassa microbiana do solo, onde as bactérias e fungos representam cerca de 90% da atividade microbiana, é essencial nesse contexto (Andreola; Fernandes, 2007).

A recuperação de pastagens degradadas por meio de biotecnologias baseadas em insumos biológicos pode ser tanto economicamente viável quanto ecologicamente correta, ao priorizar os processos microbianos e a ciclagem de nutrientes. No entanto, há lacunas a serem preenchidas quanto ao seu uso em diferentes variedades de forragem e condições edafoclimáticas. Assim, é fundamental realizar estudos contínuos dessas biotecnologias em diferentes contextos, desde experimentos em casa de vegetação até ensaios a campo, em nível regional, e sob diversas práticas de manejo (Burak *et al.*, 2021).

O entendimento das interações, especialmente aquelas que envolvem a microbiota do solo, e o desenvolvimento de tecnologias que maximizem seus benefícios em benefício da agricultura sustentável representam um dos grandes desafios da pesquisa na área agrônômica (Andreola; Fernandes, 2007; Porto *et al.*, 2022)

Fungos de solo, como o *Trichoderma* sp., e diversos gêneros de rizobactérias, como *Acetobacter*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Bacillus*, *Burkholderia*, *Klebsiella*, *Pseudomonas* e *Serratia*, têm sido reconhecidos por promover o crescimento das plantas, aumentar a produtividade de grãos, melhorar a emergência de sementes, aumentar a biomassa vegetal, elevar o rendimento da colheita e conferir resistência às doenças (Rezende *et al.*, 2021).

No entanto, conforme destacado por Freitas (2007) e Cargnelutti *et al.* (2021), os efeitos benéficos desses microrganismos nem sempre são imediatos ou replicáveis em condições de campo. Assim, compreender o modo de ação de cada isolado microbiano pode contribuir para aumentar a consistência ou a reprodutibilidade das respostas à inoculação. Além disso, para Freitas (2007), o estabelecimento bem-sucedido de um novo organismo pode ser prejudicado pela dinâmica do ecossistema em que está sendo introduzido, o que ressalta a importância de inoculá-lo o mais cedo possível, possivelmente nas sementes.

Portanto, apesar de se conhecerem os efeitos benéficos desses microrganismos no crescimento das plantas, ainda há necessidade de

aprofundar o conhecimento sobre seu uso em ambientes de produção. Além disso, seu emprego no desenvolvimento de tecnologias para a recuperação de solos degradados pode reduzir a dependência de insumos químicos, contribuindo significativamente para uma agricultura mais sustentável.

A recuperação de pastagens é essencial para melhorar a utilização da área, recuperar as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo e viabilizar a produção de proteína animal, resultando em um aumento da capacidade de suporte da pastagem (Vilela *et al.*, 2017). Além disso, a recuperação dessas áreas desempenha um papel fundamental na preservação da biodiversidade, impedindo novos desmatamentos e possibilitando o crescimento da produção sem a necessidade de expandir as áreas de pastagem (Dias-Filho, 2014; Souza, 2018).

Considerando a importância econômica da pecuária para o Brasil, é fundamental que a intensificação da produção em regime de pastagem seja conduzida de forma sustentável, aproveitando eficientemente os recursos ambientais e financeiros disponíveis (Terra *et al.*, 2019).

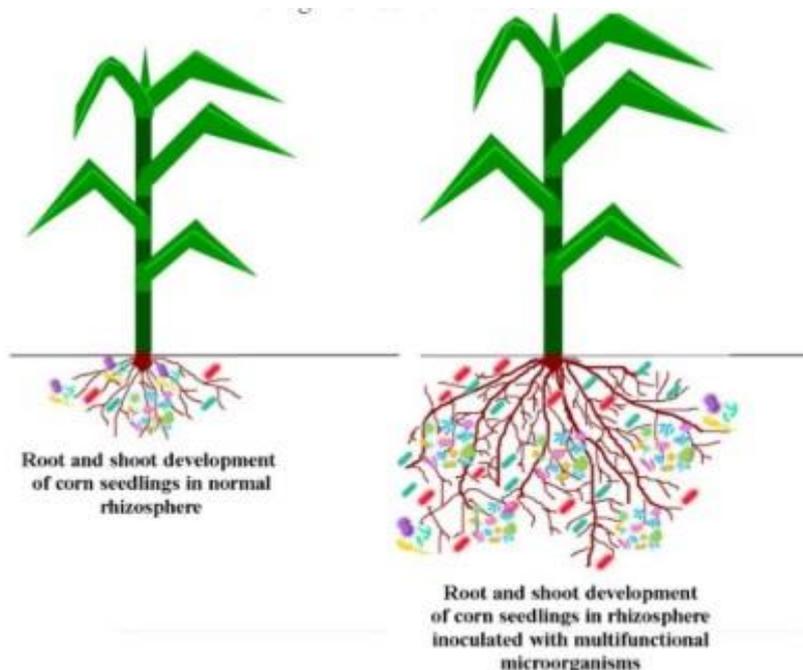
#### **4.2. Microrganismos multifuncionais**

Os microrganismos multifuncionais representam uma alternativa biotecnológica promissora para aumentar a produtividade vegetal de forma sustentável, reduzindo a necessidade de produtos químicos e minimizando os impactos ambientais (Lopes *et al.*, 2021) (Figura 9).

De acordo com esses mesmos autores, a disponibilidade limitada de fósforo para as plantas no solo é um problema significativo, pois apenas cerca de 20% do fósforo total aplicado é absorvido pelas plantas, devido a fatores como adsorção. Os microrganismos solubilizadores de fósforo (PSMs) têm a capacidade de solubilizar o fósforo inacessível, tornando-o disponível para as plantas. Essa solubilização é fundamental para o crescimento e desenvolvimento das plantas.

Para resolver a deficiência de fósforo, geralmente são aplicadas altas doses de fertilizantes fosfatados, mas os PSMs oferecem uma alternativa mais sustentável. Eles podem ser aplicados ao solo como bioinsumos, sem impactos

negativos significativos na sociedade ou no meio ambiente. Essas bactérias solubilizadoras de fósforo têm várias estratégias de solubilização, como a produção de ácidos orgânicos, fosfatases, sideróforos e troca catiônica (Cruz *et al.*, 2024).



**Figura 9.** Comparativo de crescimento entre uma planta com a rizosfera normal e uma planta inoculada com Microorganismos multifuncionais. Fonte: Cruz *et al.*, 2024.

De acordo com esses mesmos autores, a aplicação desses PSMs como bioinsumos no solo tem sido associada a melhorias no crescimento, rendimento e qualidade das plantas, tornando-se uma abordagem promissora para aumentar a disponibilidade de fósforo no solo e, conseqüentemente, a eficiência do uso de fertilizantes fosfatados.

A utilização de comunidades microbianas associadas às plantas, como os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) e as bactérias promotoras do crescimento vegetal (BPCV), emerge como uma estratégia eficaz para auxiliar as plantas a enfrentar condições de baixa disponibilidade hídrica, otimizando seu crescimento e desenvolvimento diante de diversos tipos de estresses abióticos e bióticos (Porto *et al.*, 2022).

Microrganismos do solo (rizosféricos) e do interior das plantas (endofíticos) com capacidade de promover o crescimento das plantas são considerados ferramentas valiosas na agricultura e no meio ambiente, proporcionando benefícios desde a germinação até as características desejáveis do produto pós-colheita (Rezende *et al.*, 2021).

De acordo com esses mesmos autores, entre os fungos com potencial para promover o crescimento vegetal, os do gênero *Trichoderma* se destacam como um dos mais explorados. Os *Trichoderma* spp. são fungos de vida livre que demonstram habilidade em diversos mecanismos de controle biológico, incluindo parasitismo, hiperparasitismo, antibiose, competição e indução de resistência das plantas a doenças (Figura 10).



**Figura 10.** Fungos do gênero *Trichoderma* spp.: eficiência e sustentabilidade. Fonte: <https://agro.genica.com.br/2019/09/27/trichoderma-ssp/>. Foto: Project Noah, 2023.

Inoculantes microbianos, como rizobactérias, micorrizas e fungos, podem ser aplicados de forma combinada ou separada, e sua inoculação pode ser realizada em sementes, raízes, solo ou folhas (Lopes *et al.*, 2021). É fundamental compreender as características do inoculante microbiano e da planta hospedeira para determinar o método de inoculação mais adequado.

Para esses mesmos autores, embora a inoculação na semente seja a opção mais comum, a inoculação foliar surge como uma alternativa viável,

especialmente para sementes tratadas quimicamente, onde o tratamento pode reduzir a sobrevivência bacteriana, conferindo tolerância adicional ao ataque de patógenos.

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) estabelecem uma associação simbiótica com as raízes das plantas, promovendo a absorção de fósforo (P), um macronutriente essencial com baixa mobilidade no solo (Lima, 2020). Em um estudo conduzido por esse mesmo autor, que avaliou a absorção de P pelas raízes e hifas de FMA em solos com diferentes capacidades de fixação de P, foi observado que, em solos com alta fixação de P, as plantas de braquiária que absorviam exclusivamente por meio das hifas de FMA apresentaram aumento na massa seca e no conteúdo de P.

As bactérias promotoras do crescimento vegetal (BCPV), também conhecidas como rizobactérias, compreendem um grupo diversificado de microrganismos que habitam a rizosfera das plantas, onde se beneficiam dos exsudados radiculares (Freitas, 2007; Rezende *et al.*, 2021). Essas bactérias desempenham funções cruciais no desenvolvimento das plantas e têm sido amplamente estudadas devido aos seus benefícios.

Os mecanismos pelos quais as bactérias podem influenciar o desenvolvimento das plantas variam entre as espécies e linhagens (Porto *et al.*, 2022). Esses mecanismos incluem efeitos diretos, como a otimização da absorção e acumulação de nutrientes, fixação biológica de nitrogênio (FBN), solubilização de fosfato, produção de fitormônios e efeitos indiretos, como o biocontrole de pragas e fitopatógenos, resistência a estresses bióticos e abióticos, e produção de biofilme (Rezende *et al.*, 2021).

As BPCV foram identificadas em associação com uma ampla variedade de espécies de cereais e gramíneas forrageiras, abrangendo diversos gêneros, como *Pseudomonas*, *Burkholderia*, *Bacillus*, *Bradyrhizobium*, *Rhizobium*, *Gluconacetobacter*, *Herbaspirillum* e *Azospirillum*, com destaque para este último (Porto *et al.*, 2022).

Para esses mesmos autores, o gênero *Azospirillum* tem sido amplamente estudado em gramíneas forrageiras devido à sua capacidade de produzir compostos reguladores de crescimento, como ácido indol-3-acético (AIA) e

giberelinas. Além disso, para Rezende *et al.* (2021), as bactérias desse gênero também podem promover a FBN em gramíneas, embora de forma menos eficiente do que outras bactérias dos gêneros *Rhizobium* spp. e *Bradyrhizobium* spp.

Morais *et al.* (2016) demonstraram que a aplicação de doses específicas de inoculante à base de *Azospirillum brasilense* no sulco de plantio de milho, em combinação com diferentes doses de adubo nitrogenado, resultou em melhorias significativas na germinação e no desenvolvimento inicial das plantas de milho. A dose de 200 ml ha<sup>-1</sup> de inoculante proporcionou um aumento de 4,7% na altura das plantas em comparação com o tratamento sem inoculação, e a melhor produtividade foi alcançada quando essa dose de inoculante foi associada a 225 kg de N ha<sup>-1</sup>.

Por sua vez, Brasil *et al.* (2021) constataram um aumento significativo na massa fresca e seca da parte aérea e das raízes, na altura, no volume de raízes e no número de perfilhos e folhas das plantas de arroz com a inoculação da estirpe de *Azospirillum* MAY12.

A pesquisa de Bulegon, Guimarães e Laureth (2016) destacou que a bactéria *A. brasilense* contribuiu para a manutenção dos teores de clorofila nas folhas de *Brachiaria ruzizienses*, aumentando assim a tolerância dessas plantas ao estresse hídrico.

Santos *et al.* (2022) afirmaram que a inoculação de sementes de gramíneas forrageiras com bactérias do gênero *Azospirillum* pode atender, pelo menos parcialmente, a necessidade de nitrogênio das plantas, reduzindo a quantidade desse nutriente aplicada de forma mineral. Além disso, observaram que a *A. brasilense* contribuiu positivamente para o desenvolvimento, produção e qualidade da *Brachiaria decumbens* quando associada a uma dose de até 80 kg ha<sup>-1</sup> de N.

Ou seja, os microrganismos multifuncionais desempenham papéis vitais na qualidade e produtividade dos ecossistemas, contribuindo para a sustentabilidade ambiental e a segurança alimentar global. Seu estudo e aplicação em práticas agrícolas sustentáveis são essenciais para promover uma agricultura mais eficiente e resiliente.

### 4.3. Substâncias húmicas

As substâncias húmicas são compostos orgânicos resultantes da decomposição de resíduos vegetais e animais no ambiente, podendo ser utilizadas como alternativas para o manejo de diversas culturas (Figura 11). Entre esses compostos, os ácidos húmicos e fúlvicos se destacam pela sua importância em termos de reatividade e ocorrência nos ecossistemas (Caron *et al.*, 2015).



**Figura 11.** Substâncias húmicas em fertilizantes orgânicos. Fonte: Professora Luciane Kaua, 2023.

Devido à sua elevada capacidade de troca catiônica, os ácidos húmicos e fúlvicos têm a capacidade de complexar e disponibilizar cátions para as plantas, especialmente micronutrientes. Além de seu papel nutricional, esses compostos também exercem um estímulo direto no desenvolvimento e metabolismo das plantas, promovendo efeitos positivos na germinação de sementes e no crescimento inicial das raízes (Caron *et al.*, 2015).

Os ácidos húmicos podem favorecer o estabelecimento do inóculo bacteriano dentro das plantas, alterando a arquitetura das raízes e sua dinâmica de crescimento. Isso pode resultar em um aumento na densidade e área superficial das raízes, devido ao estímulo no alongamento tanto do tronco principal quanto das raízes laterais (Baldotto *et al.*, 2012).

O uso de adubos orgânicos pode provocar alterações na microbiota do solo, como aumento nos teores de carbono orgânico e nitrogênio, bem como na biomassa microbiana. O aumento da atividade biológica, decorrente do incremento da matéria orgânica no solo, pode contribuir para aumentar a estabilidade dos agregados em água (Andreola; Fernandes, 2007).

Parreira *et al.* (2015) destacam que o uso de fertilizantes nitrogenados é uma prática comum, mas que pode elevar os custos da produção agrícola e gerar danos ao ambiente. Em seu estudo sobre o efeito da bactéria *Azospirillum brasilense* como coadjuvante no processo de adubação do solo em pastagens de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, em associação com adubação química ou orgânica, os autores observaram que a adubação orgânica com cama aviária, aliada à adição da bactéria *A. brasilense*, teve um impacto positivo na produção de biomassa da pastagem, reduzindo a necessidade de adubação química.

Melo *et al.* (2018) afirmam que o tratamento de sementes com inoculantes à base de Bactérias Promotoras do Crescimento Vegetal (BPCV) ou a aplicação de ácidos húmicos (AH) pode aumentar a produtividade de plantas agrícolas. Seu estudo evidenciou a possibilidade de combinar os efeitos dos AH com a inoculação de estirpes selecionadas de BPCV, resultando em respostas superiores à aplicação isolada de ambos. Concluíram que o uso de bioestimulantes à base de AH, combinado com BPCV, é positivo e complementar em comparação aos insumos comumente utilizados no tratamento de sementes de milho.

O uso de substâncias húmicas e biofertilizantes tem demonstrado resultados positivos no desenvolvimento de espécies vegetais. Os biofertilizantes, produtos naturais ricos em microrganismos e compostos derivados de seu metabolismo, podem favorecer o crescimento das plantas por meio de mecanismos diferenciados (Busato *et al.*, 2016).

O vermicomposto, produto da vermicompostagem utilizando minhocas para transformar resíduos orgânicos, é nutricionalmente rico e contém promotores de crescimento vegetal, como auxinas, giberelinas, citocininas e microrganismos benéficos (Blouin *et al.*, 2019). Além disso, aumenta a diversidade de microrganismos e nematoides antagonistas, que suprimem pragas e doenças causadas por fitopatógenos do solo (Yatoo *et al.*, 2021). Baldotto *et al.* (2012)

observaram um efeito sinérgico do vermicomposto combinado com bactérias promotoras do crescimento vegetal em plantas de milho, promovendo aumentos nos teores foliares de nitrogênio e fósforo, bem como nas características de crescimento.

De acordo com Burak *et al.* (2021), bioestimulantes ou bioinsumos ativadores, como o óleo essencial de eucalipto e substâncias húmicas, podem amenizar o estresse hídrico. As substâncias húmicas, juntamente com os aminoácidos, podem ter efeitos positivos no desenvolvimento das plantas (Caron *et al.*, 2015).

A introdução direta de microrganismos no ambiente de produção ainda é um desafio devido à competição e dificuldade de persistência do inóculo. Para superar esses problemas, a associação de microrganismos com substâncias húmicas tem mostrado ser promissora. As substâncias húmicas podem facilitar a introdução, estabelecimento e maximização da atividade das bactérias diazotróficas endofíticas, capazes de fixar o nitrogênio atmosférico e promover o crescimento das plantas (Burak *et al.*, 2021).

## 5. Biotecnologias e agroecologia

Associar essas práticas à agroecologia é uma abordagem holística que visa promover sistemas agrícolas sustentáveis, respeitando os princípios ecológicos e sociais. Algumas maneiras de integrar as práticas mencionadas à agroecologia merecem ser citadas (Martins; Souza, 2013; Souza, 2015; Souza, 2018; Crespo *et al.*, 2023; Souza, 2023; Gomes *et al.*, 2024; Malaquias *et al.*, 2024; Souza, 2024; Malaquias *et al.*, 2024):

- ✓ **Promoção da Biodiversidade:** as práticas de tratamento de sementes com inoculantes, o uso de biofertilizantes e vermicomposto podem aumentar a biodiversidade do solo, estimulando o crescimento de microrganismos benéficos e promovendo interações positivas entre os componentes do ecossistema;

- ✓ **Ciclagem de Nutrientes:** o uso de biofertilizantes, vermicomposto e ácidos húmicos promove a ciclagem de nutrientes no solo, reduzindo a dependência de fertilizantes químicos. Isso contribui para a construção de solos saudáveis e férteis, essenciais para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas e pecuários;

✓ **Resiliência aos Estresses Ambientais:** as práticas de uso de bioestimulantes, como os óleos essenciais de eucalipto e substâncias húmicas, podem aumentar a resiliência das plantas às condições ambientais adversas, como estresse hídrico. Isso é fundamental em sistemas agroecológicos, que valorizam a adaptação das culturas ao ambiente local;

✓ **Redução de Insumos Externos:** a utilização de bioinsumos e práticas sustentáveis de manejo, como o tratamento de sementes com inoculantes, contribuem para a redução da dependência de insumos externos, como fertilizantes químicos e pesticidas. Isso promove a autonomia dos agricultores e reduz os impactos negativos no meio ambiente;

✓ **Integração de Conhecimentos Tradicionais:** a agroecologia valoriza os conhecimentos tradicionais e indígenas sobre manejo sustentável dos recursos naturais. Ao integrar práticas de tratamento de sementes e uso de biofertilizantes com esses conhecimentos, é possível desenvolver sistemas agrícolas resilientes e culturalmente relevantes.

Ao associar essas práticas à agroecologia, os agricultores podem promover sistemas agrícolas e pecuários mais sustentáveis, resilientes e socialmente justos, contribuindo para a conservação da biodiversidade, a qualidade do solo e a segurança alimentar.

## **6. Considerações**

Os microrganismos multifuncionais, como os fungos micorrízicos arbusculares e as bactérias promotoras do crescimento vegetal, são uma alternativa biotecnológica promissora para otimizar a produtividade vegetal de forma sustentável. Esses microrganismos podem auxiliar no enfrentamento de desafios como a baixa disponibilidade hídrica, promovendo o crescimento e desenvolvimento das plantas sob diferentes tipos de estresses ambientais.

A inoculação de microrganismos benéficos, como as rizobactérias, micorrizas e fungos, combinados ou separados, em sementes, raízes, solo ou folhas, pode reduzir a dependência de produtos químicos e promover um ambiente mais equilibrado e sustentável para a agricultura. Além disso, o uso de substâncias húmicas e biofertilizantes, como o vermicomposto, também pode

contribuir para o desenvolvimento das plantas e a melhoria da qualidade do solo, tornando-se uma prática cada vez mais relevante na agricultura moderna.

Essas estratégias de manejo microbiológico e uso de substâncias húmicas destacam a importância da biotecnologia na agricultura, oferecendo alternativas sustentáveis para aumentar a produtividade das culturas e reduzir o impacto ambiental.

Portanto, o uso de microrganismos benéficos e substâncias húmicas na agricultura, podem não apenas aumentar a produtividade das culturas e reduzir o impacto ambiental, mas também contribuir para a construção de sistemas agrícolas mais sustentáveis e resilientes. Essas práticas representam uma abordagem inovadora e promissora para a agricultura moderna, que busca conciliar a produção de alimentos com a conservação dos recursos naturais.

Essas práticas podem ser associadas à recuperação de pastagens degradadas, fornecendo uma abordagem sustentável e eficaz para melhorar a produtividade e a saúde do solo, das seguintes formas:

- ✓ Tratamento de Sementes com Inoculantes e Ácidos Húmicos: o tratamento de sementes com inoculantes à base de BPCV e a aplicação de ácidos húmicos podem ser incorporados ao processo de semeadura de espécies forrageiras. Isso ajudará a estabelecer uma população de microrganismos benéficos no solo desde o início, promovendo o desenvolvimento saudável das plantas;

- ✓ Uso de Biofertilizantes e Vermicomposto: a aplicação de biofertilizantes, ricos em microrganismos benéficos, e vermicomposto, que fornece nutrientes e promotores de crescimento, pode melhorar a fertilidade do solo em áreas de pastagem degradadas. Isso contribui para a restauração da biomassa microbiana e a ciclagem de nutrientes, fundamentais para a saúde do solo e o crescimento das plantas forrageiras;

- ✓ Utilização de Bioestimulantes: bioestimulantes, como os óleos essenciais de eucalipto e substâncias húmicas, podem ser aplicados para amenizar o estresse hídrico e promover o desenvolvimento radicular das plantas de pastagem. Isso é fundamental para aumentar a capacidade das plantas de extrair nutrientes do solo e enfrentar condições adversas;

✓ **Integração com Práticas de Manejo Sustentável:** essas práticas devem ser integradas a um manejo sustentável da pastagem, que inclui rotação de culturas, controle de erosão, manejo adequado de pastoreio e conservação da biodiversidade. Isso cria um ambiente favorável para o estabelecimento e crescimento das espécies forrageiras, além de melhorar a resiliência do ecossistema como um todo.

Ao integrar as práticas sustentáveis de manejo do solo, como o uso de bioinsumos e substâncias húmicas, à recuperação de pastagens degradadas, os agricultores familiares podem adotar uma abordagem agroecológica para restaurar essas áreas. Além de promover a restauração da produtividade e da biodiversidade, essa abordagem valoriza os conhecimentos tradicionais e a sabedoria local, fortalecendo os vínculos entre as comunidades rurais e o ambiente em que vivem. Ao mesmo tempo, a recuperação de pastagens degradadas contribui para a sustentabilidade ambiental, reduzindo a erosão do solo, melhorando a qualidade da água e aumentando a resiliência dos sistemas agropecuários diante das mudanças climáticas.

A agricultura familiar desempenha um papel fundamental nesse processo, pois os agricultores têm um profundo conhecimento das paisagens locais e uma conexão íntima com a terra. Ao adotar práticas agroecológicas de recuperação de pastagens, esses agricultores podem não apenas revitalizar suas terras, mas também fortalecer suas comunidades e promover a segurança alimentar. Além disso, ao valorizar a diversidade biológica e cultural, a agricultura familiar contribui para a conservação dos ecossistemas e a promoção da resiliência socioeconômica das áreas rurais.

## 7. Referências

ALMEIDA, M. de S.; CUNHA, M. B. M.; OLIVEIRA, M. S.; GOMES, K. J. S.; PAZ, J. A. A. da S.; CARNEIRO, M. V. B.; SILVESTRE, F. E. R. Soil compaction and the effects on initial corn growth. **Ciência Agrícola**, Rio Largo, v. 2, n. 19, p. 95-100, 2021.

ANDREOLA, F.; FERNANDES, S. A. P. A Microbiota do solo na agricultura orgânica e no manejo das culturas. In: SILVEIRA, A. P. D. da; FREITAS, S. dos S. (Eds.). **Microbiota do solo e qualidade ambiental**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 2007. p. 21-37.

BALDOTTO, L. E. B.; SILVA, L. G. Jr. S.; CANELLAS, L. P.; OLIVARES, F. L.; BALDOTTO, M. A. Initial growth of maize in response to application of rock phosphate, vermicompost and endophytic bacteria. **Revista Ceres**, v. 59, n. 2, p. 262-270, 2012.

BENDITO, B. C.; SOUZA, P. A. de; PEREIRA, M. A.; GONÇALVES, D. S. Diagnóstico ambiental e proposição de uso de SAF para área de pastagem degradada. **Geoambiente On-Line**, v. 29, p. 148-163, 2017.

BLOUIN, M.; BARRERE, J.; MEYER, N.; LARTIGUE, S.; BAROT, S.; MATHIEU, J. Vermicompost significantly affects plant growth: a meta-analysis. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 39, n. 34, p. 1-15, 2019.

BONFIM-SILVA, E. M.; ANICÉSIO, E. C. A.; SILVA, T. J. A. Características morfológicas de cultivares de trigo submetidas à compactação do solo. **Enciclopédia Biosfera**, v. 9, n. 17; p. 559-569, 2013.

BRASIL, M. da S.; SOUZA, M. S. T. de; GUIMARÃES, S. L.; K. JUNIOR, S. L.; BATISTELA, M. W. A. Initial development of upland rice plants inoculated with the MAY12 strain of *Azospirillum* spp. **Ciência Rural**, v. 51, n. 12, p. 1-18, 2021.

BRASIL. **Lei nº 10.375, de 26 de maio de 2020**. Institui o Programa Nacional de Bioinsumos e o Conselho Estratégico do Programa Nacional de Bioinsumos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, ed. 100, 27/06/2020.

BULEGON, L. G.; GUIMARÃES, V. F.; LAURETH, J. C. U. *Azospirillum brasilense* affects the antioxidant activity and leaf pigment content of *Urochloa ruziziensis* under water stress. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 46, n. 3, p. 343-349, 2016.

BURAK, D. L.; MENDONÇA, E. S.; PEÇANHA, A. L.; VALENTIM, S. B.; PRAÇA, N. M. P.; JÚNIOR, J. L. F.; THIENGO, C. C.; OLIVEIRA, D. M.; ROCHA, L. O.; OLIVARES, F. L. Insumos biológicos na recuperação de pastagens degradadas da região sul do Estado do Espírito Santo. **Sistemas integrados de produção: pesquisa e desenvolvimento de tecnologias**. 1.ed., vol. 1, p. 304-326, 2021.

BUSATO, J. G.; ZANDONADI, D. B.; SOUSA, I. M. de; MARINHO, E. B.; DOBBS, L. B.; MÓL, A. R. Efeito do extrato húmico solúvel em água e biofertilizante sobre o desenvolvimento de mudas de *Callophyllum brasiliense*. Pesquisa Florestal Brasileira: **Brazilian Journal of Forestry Research**, Colombo, v. 36, n. 86, p. 161-168, 2016.

CARGNELUTTI, D. *et al.* Soluções tecnológicas emergentes para uma agricultura sustentável: microrganismos eficientes. In: GARCÍA, L. M. H. (org.). **Agroecologia: princípios e fundamentos ecológicos aplicados na busca de uma produção sustentável**. Canoas, RS: Mérida Publishers, 2021. Cap. 2. p. 31- 62. <https://doi.org/10.4322/mp.978-65-991393-9-0>.

CARON, V. C.; GRAÇAS, J. P.; CASTRO, P. R. C. **Série produtor rural: condicionadores do solo: ácidos húmicos e fúlvicos**. n. 58, Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. 2015. 46 p.

CERRI, C. C.; MELILLO, J. M.; FEIGL, B. J.; PICCOLO, M. C.; NEILL, C.; STEUDLER, P. A.; CARVALHO, M. da C. S.; GODINHO, V. P.; CERRI, C. E. P.; BERNOUX, M. Recent history of the agriculture of the Brazilian Amazon Basin: prospects for sustainable and a first look at consequences of pasture reformation. **Outlook on Agriculture**, Elmsford, v. 34, n. 4, p. 215-223, 2005.

COLOMBO, G. A.; LOPES, M. B. S.; DOTTO, M. C.; CAMPESTRINI, R.; LIMA, S. de O. Atributos físicos de um latossolo vermelho-amarelo distrófico sob diferentes sistemas de manejo no cerrado tocantinense. **Revista Campo Digit@l**, v. 12, n. 1, p. 21-29, 2017. Disponível em: <http://revista.grupointegrado.br/revista/index.php/campodigital>. Acesso em: 20 nov. 2023.

CRESPO, A. M.; SOUZA, M. N.; SILVA, M. A. B. da. Ciclo do carbono e sistemas agroflorestais na sustentabilidade da produção agrícolas: revisão de literatura. **INCAPER EM REVISTA**, v. 13, p. 06-19, 2023. Disponível em: <https://editora.incaper.es.gov.br/incaper-em-revista>. DOI:10.54682/ier.v.13e14.p0 6.19.

CRUZ, D. R. C.; FERREIRA, I. V. L.; MONTEIRO, N. O. da C.; NASCENTE, A. S.; OLIVEIRA, R. B.; SANTOS, S. G. F. dos; ROSA, C. O.; VIEIRA, I. C. de O. Microorganismos multifuncionais na agricultura: uma revisão sistemática sobre bactérias solubilizadoras de fósforo. **Contribuciones a Las Ciencias Sociales**, São José dos Pinhais, v.17, n.3, p. 01-24, 2024.

DIAS-FILHO, M. B. **Diagnóstico das pastagens no Brasil**. Belém: Embrapa. 2014. 36 p.

FARIAS, L. N.; BONFIM-SILVA, E. M.; PIETRO-SOUZA, W.; VILARINHO, M. K. C.; SILVA, T. J. A.; GUIMARÃES, S. L. Características morfológicas e produtivas de feijão guandu anão cultivado em solo compactado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 5, p. 497-503, 2013.

FERREIRA, R. R. M.; TAVARES FILHO, J.; FERREIRA, V. M. Efeitos de sistemas de manejo de pastagens nas propriedades físicas do solo. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 31, n. 4, p. 913-932, 2010.

FREITAS, S. dos S. Microbiota do solo na agricultura orgânica e no manejo das culturas. In: SILVEIRA, A. P. D. da; FREITAS, S. dos S. (Eds.). **Microbiota do solo e qualidade ambiental**. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 2007. Cap. 1. p. 1-20.

GOMES, J. P. A.; LAMBERT, J. C.; SOUZA, M. N.; SANTOS JÚNIOR, A. C.; MOULIN, M. M. Use and quantification of efficient microorganisms in the development and production of peppers (*Capsicum* spp.). **DELLOS: DESARROLLO LOCAL SOSTENIBLE**, v. 17, p. e1389, 2024. DOI: 10.55905/rdelosv17.n54-008.

GOULET, F. As políticas de promoção dos bioinsumos no Brasil: entre alternativas e alinhamentos. In: SABOURIN, E.; OLIVEIRA, L. M. R.; GOULET,

F.; MARTINS, E. S. (Org.). **A ação pública de adaptação da agricultura à mudança climática no Nordeste semiárido brasileiro**. Rio de Janeiro: E-papers, 2021. p. 179-192.

LIMA, R. L. F. de A. Micorrizas arbusculares e absorção de fósforo em função da capacidade de fixação de fósforo do solo e da competição com a microbiota. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.L.], v. 13, n. 3, p. 1062- 1079, 2020.

LOPES, M. J. dos S.; SANTIAGO, B. S.; SILVA, I. N. B. da; GURGEL, E. S. C. Biotecnologia microbiana: inoculação, mecanismos de ação e benefícios às plantas. **Research, Society And Development**, [S.L.], v. 10, n. 12, p. 1-13, 2021.

MACEDO, M. C. M.; ARAÚJO, A. R. **ILPF**: inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta. Brasília: Embrapa. 2019. p. 296-317.

MALAQUIAS, J. O. da S.; MARIANO, S. R.; GONÇALVES, J. M.; LOUBACK, G. C.; MENDONÇA, R. L. de P. D.; OLIVEIRA, S. R. dos S. M. de; EGIDIO, L. S.; VIEIRA, R. C.; CRESPO, A. M.; SOUZA, M. N. Degradação ambiental pelo fator antrópico e formas de mitigação: uma breve análise da agropecuária e seus impactos no meio ambiente. In: SOUZA, M. N. (Org.) **Tópicos em gestão ambiental**. Vol. I. Canoas, RS: Mérida Publishers, 2024. p. 34-66. **ISBN**: 978-65-84548-22-0. DOI: <https://doi.org/10.4322/mp.978-65-84548-22-0.c1>

MARTINS, M. C.; SOUZA, M. N. Uma análise das variáveis do desenvolvimento rural sustentável no uso da Integração Lavoura Pecuária e Floresta (ILPF) em municípios da Zona da Mata de Minas Gerais. Multifuncionalidades sustentáveis no campo: **Agricultura, pecuária e florestas**, v. 5, p. 10-15, 2013. Disponível em: <http://www.simbras-as.com.br>.

MELO, R. O. de; OLIVEIRA, H. P. de; SILVEIRA, K. C.; BALDOTTO, L. E. B.; BALDOTTO, M. A. Initial performance of maize in response to humic acids and plant growth-promoting bacteria. **Revista Ceres**, v. 65, n. 3, p. 271-277, 2018.

MORAIS, T. P. de; BRITO, C. H. de; BRANDÃO, A. M.; REZENDE, W. S. Inoculation of maize with *Azospirillum brasilense* in the seed furrow. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, n. 2, p. 290-298, 2016.

NEVES JUNIOR, A. F.; SILVA, A. P.; NORONHA, N. C.; CERRI, C. C. Sistemas de manejo do solo na recuperação de uma pastagem degradada em Rondônia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 37, n.1, p. 232-241, 2013.

PARREIRA, L. H. M.; MARTINS, M. E. P.; RIBEIRO, M. M.; S. JUNIOR, J. de M. Efeito da bactéria *Azospirillum brasilense* na adubação química e orgânica em pastagens constituídas de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. **Enciclopédia Biosfera: Centro Científico Conhecer**, Goiânia, v. 11, n. 21, p. 838-850, 2015.

PORTO, E. M. V.; TEIXEIRA, F. A.; FRIES, D. D.; JARDIM, R. R.; AMARO, H. T. R.; FILHO, J. R. dos S.; JESUS, F. M. de; SILVA, H. S.; VIEIRA, T. M. Microrganismos promotores de crescimento de plantas como mitigadores do estresse hídrico em pastagens: uma revisão narrativa. **Research, Society And Development**, [S.L.], v. 11, n. 11, p. 33448-34029, 2022.

REZENDE, C. C.; SILVA, M. A.; FRASCA, L. L. M.; FARIA, D. R.; FILIPPI, M. C. C.; LANNA, A. C.; NASCENTE, A. S. Microrganismos multifuncionais: utilização na agricultura. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 2, e50810212725, 2021.

SALOMÃO, P. E. A.; BARBOSA, L. C.; CORDEIRO, I. J. M. Recuperação de áreas degradadas por pastagem: uma breve revisão. **Research, Society And Development**, [S.L.], v. 9, n. 2, p. 1-16, 2020.

SANTOS, G. S.; TEIXEIRA, F. A.; JARDIM, R. R.; PIRES, A. J. V.; NASCIMENTO, P. V. N.; MIGUEL, D. L.; SANTOS, J. P. dos; NASCIMENTO, A. A.; BARRETO, F. O.; SILVA, H. S. da. Capim Braquiária inoculado com *Azospirillum brasilenses* submetido à adubação nitrogenada. **Research, Society and Development**, [S.L.], v. 11, n. 15, p. 1-10, 2022.

SILVA, M. O.; SANTOS, M. P.; SOUSA, A. C. P.; SILVA, R. L. V.; MOURA, I. A. A.; SILVA, R. S.; COSTA, K.D.S. Qualidade do solo: indicadores biológicos para um manejo sustentável. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 7, n. 1, p. 6853-6875, 2021.

SOUZA, M. N. (Org.) **Tópicos em gestão ambiental**. Vol. I. Canoas, RS: Mérida Publishers, 2024. 325 p. ISBN: 978-65-84548-22-0. DOI: <https://doi.org/10.4322/mp.978-65-84548-22-0>.

SOUZA, M. N. (Org.) **Tópicos em recuperação de áreas degradadas**. Vol. VII. – Canoas, RS: Mérida Publishers, 2023. 336 p. ISBN: 978-65-84548-18-3. DOI: <https://doi.org/10.4322/mp.978-65-84548-18-3>.

SOUZA, M. N. **Degradação antrópica e procedimentos de recuperação ambiental**. Balti, Moldova, Europe: Novas Edições Acadêmicas, 2018. 376 p.

SOUZA, M. N. **Mudanças no uso do solo e da água e a gestão dos recursos naturais**. Frankfurt, Alemanha: Novas Edições Acadêmicas, 2015. 376 p.

STUCHI, J. F. **Biofertilizante**: um adubo líquido de qualidade que você pode fazer. Editora técnica – Brasília, DF: Embrapa, 2015. 16 p. ISBN 978-85-7035-536-2.

TERRA, A. B. C.; FLORENTINO, L. A.; REZENDE, A. V. de; SILVA, N. C. D. de. Leguminosas forrageiras na recuperação de pastagens no Brasil. **Revista de Ciências Agrárias**, [S. L.], v. 42, n. 2, p. 305-313, 2019.

TOWNSEND, C. R.; COSTA, N. L.; PEREIRA, R. G. A. **Recuperação e práticas sustentáveis de manejo de pastagens na Amazônia**. Porto Velho: Embrapa, 2012. 28 p.

VIEIRA, L. S. **Manual da Ciência do Solo**. São Paulo: ed. Agron. Ceres Ltda. 1975. 464 p.

VILELA, W. T. C.; MINIGHIN, D. C.; GONÇALVES, L. C.; VILLANOVA, D. F. Q.; MAURICIO, R. M.; PEREIRA, R. V. G. Pastagens degradadas e técnicas de

recuperação: Revisão. **PUBVET: Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.11, n.10, p. 1036-1045, 2017.

YATOO, A. M.; ALI, M. N.; BABA, Z. A.; HASSAN, B. Sustainable management of diseases and pests in crops by vermicompost and vermicompost tea: a review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 41, n. 7, p. 1-26, 2021.