

Ciências Agrárias e Sustentabilidade dos Sistemas Produtivos

Inovação, manejo, tecnologia e desafios do desenvolvimento rural contemporâneo



Igor Madruga de Oliveira
Rodrigo Oliveira Miranda
Leonardo Corrêa Costa

Conselho Editorial

Everton Henrique Mesquita De
Arruda
Andressa Santana Batista
Marcelo Carvalho da
Conceição
Patricia da Silva

Avaliadores

Maria Gabrielle Fernandes
Vieira de Sousa

Amanda Veríssimo

Publicação: Editora Publique-se

Número do volume: 01

Páginas: 01 à 650.

Número da edição/revisão: 01

Série: 01.

Cidade: Capão Bonito - SP.

ISBN: 978-65-979876-5-8

DOI: 10.5281/zenodo.19853749

MANEJO DA FERTILIDADE DO SOLO E FIXAÇÃO BIOLÓGICA DE NITROGÊNIO EM PASTAGENS DEGRADADAS: ESTRATÉGIAS PARA RECUPERAÇÃO DA PRODUTIVIDADE DE FORRAGEIRAS.



10.5281/zenodo.19856004

Joacir Morais.

Graduado em Engenharia Agrônoma pela Universidade Estadual do Maranhão (UEMA) (2007–2012). Possui mestrado em Agronomia/Fitotecnia (2017–2019) e doutorado em Ciências Agrárias (2020–2024), ambos pela Universidade Federal do Piauí (UFPI). Atua na área de Ciências Agrárias, com ênfase em produção vegetal, manejo de culturas e desenvolvimento de práticas agrícolas voltadas à sustentabilidade e à produtividade. Currículo Lattes: <https://lattes.cnpq.br/2658219960114244>. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8399-9929>. E-mail: marais.joacir@gmail.com

INTRODUÇÃO

A expansão da pecuária em regiões tropicais esteve historicamente vinculada à conversão de extensas áreas naturais em pastagens, frequentemente conduzidas sob práticas que desconsideraram a capacidade de suporte dos solos e a dinâmica dos nutrientes. Esse modelo de uso intensivo, associado à ausência de manejo sistemático, contribuiu para a instalação de processos de degradação caracterizados pela redução da cobertura vegetal e pela queda da produtividade das forrageiras, como evidenciado em diferentes contextos regionais por Flávio Pereira, Carlos Ferreira e Fiúza Guimarães (2018). Arruda et al. (2018) demonstram que o uso contínuo do solo sem reposição adequada de nutrientes resulta em empobrecimento progressivo da fertilidade, comprometendo a sustentabilidade dos sistemas pastorais. Esse processo é acompanhado por alterações na estrutura física do solo, com aumento da compactação e limitação do crescimento radicular, fatores que restringem a absorção de água e nutrientes, conforme discutido por Gurgel et al. (2020). A degradação, portanto, não se restringe à dimensão produtiva, mas envolve mudanças estruturais que afetam o funcionamento do sistema solo-planta, repercutindo na eficiência do uso da terra e na estabilidade da produção pecuária.

Entre os fatores que explicam a perda de produtividade das pastagens, destaca-se a redução da fertilidade do solo, sobretudo em relação ao nitrogênio, nutriente diretamente associado ao crescimento vegetativo das gramíneas forrageiras. Em solos tropicais altamente intemperizados, a disponibilidade natural de nutrientes é limitada, sendo agravada pelo manejo inadequado do pastejo e pela ausência de práticas de adubação, o que acelera o esgotamento da capacidade produtiva do sistema, conforme apontado por Soares et al. (2018). Cherubin et al. (2023) destacam que a redução da matéria orgânica compromete a retenção de nutrientes e

a atividade biológica do solo, afetando diretamente a dinâmica da fertilidade. Nesse contexto, a baixa disponibilidade de nitrogênio impacta processos fisiológicos das plantas, reduzindo a produção de biomassa e a qualidade da forragem, como discutido por Pimentel et al. (2016). A ciclagem de nutrientes também é prejudicada em sistemas degradados, uma vez que a menor produção vegetal reduz o retorno de resíduos orgânicos ao solo, limitando a reposição natural de nutrientes, conforme descrito por De Sá Souza et al. (2018). Assim, a degradação da fertilidade não se configura como um fenômeno isolado, mas como parte de um processo integrado que compromete a funcionalidade do sistema produtivo.

Nesse cenário, o manejo da fertilidade do solo assume papel relevante na recuperação das pastagens, ao permitir a recomposição das condições químicas necessárias ao desenvolvimento das forrageiras. Práticas como correção da acidez, adubação e manejo da matéria orgânica contribuem para restabelecer a disponibilidade de nutrientes e melhorar a estrutura do solo, como evidenciado por Carvalho et al. (2017). Paralelamente, a fixação biológica de nitrogênio tem sido incorporada como estratégia complementar, baseada na atuação de microrganismos capazes de converter o nitrogênio atmosférico em formas assimiláveis pelas plantas, conforme discutido por Dos Santos Branco e Júnior (2022). De Oliveira et al. (2021) destacam que a associação entre leguminosas e bactérias fixadoras amplia a disponibilidade de nitrogênio no sistema, favorecendo a recuperação da produtividade das forrageiras. A integração entre gramíneas e leguminosas em sistemas consorciados tem sido apontada como alternativa viável, ao promover a transferência gradual de nutrientes por meio da ciclagem da biomassa vegetal e da atividade microbiológica do solo, como indicado por Terra et al. (2019). Dessa forma, a articulação entre manejo da fertilidade e processos biológicos permite a construção de sistemas mais equilibrados, nos quais a produtividade é sustentada por interações ecológicas e práticas de manejo ajustadas às condições do ambiente.

2. DEGRADAÇÃO DE PASTAGENS E DINÂMICA DA FERTILIDADE DO SOLO

2.1 PROCESSOS DE DEGRADAÇÃO EM SISTEMAS PASTORAIS TROPICAIS

Os processos de degradação em sistemas pastorais tropicais decorrem, em grande medida, da combinação entre uso contínuo do solo, ausência de reposição adequada de nutrientes e manejo inadequado da carga animal, configurando um cenário em que a capacidade produtiva das pastagens é progressivamente comprometida. Em estudos conduzidos na Mata Atlântica de Minas Gerais, Flávio Pereira, Carlos Ferreira e Fiúza Guimarães (2018) demonstram que a degradação se estabelece inicialmente pela redução do vigor das gramíneas

e pela diminuição da cobertura vegetal, fenômenos que se intensificam quando não há intervenções corretivas no manejo da fertilidade. De forma convergente, Arruda et al. (2018) evidenciam que a degradação está diretamente associada ao uso da terra sem planejamento, resultando em empobrecimento nutricional do solo e perda da capacidade de suporte animal. Esse processo é agravado pela baixa eficiência na ciclagem de nutrientes, uma vez que sistemas degradados apresentam menor retorno de matéria orgânica ao solo, reduzindo a disponibilidade de elementos essenciais ao crescimento vegetal, como discutido por De Sá Souza et al. (2018). A persistência dessas condições conduz à substituição de espécies forrageiras mais exigentes por plantas menos produtivas e, em muitos casos, por espécies invasoras, consolidando um ciclo de retroalimentação negativa que dificulta a recuperação espontânea das áreas.

No âmbito dos fatores estruturais que sustentam esse processo, a degradação das pastagens tropicais também se articula com alterações significativas na dinâmica da matéria orgânica e na funcionalidade do solo como sistema vivo. Cherubin et al. (2023) indicam que a redução dos estoques de matéria orgânica compromete não apenas a fertilidade química, mas também a estabilidade física e a atividade biológica do solo, elementos que são indissociáveis da produtividade das forrageiras. Em paralelo, Oliveira (2018) destaca que a perda de carbono no solo em áreas degradadas reflete a interrupção dos fluxos naturais de ciclagem, impactando diretamente a sustentabilidade dos sistemas pecuários. Esses efeitos são reforçados por práticas como o superpastejo e o pisoteio excessivo, que intensificam a compactação do solo e limitam o crescimento radicular das plantas, reduzindo sua capacidade de absorção de água e nutrientes, conforme discutido por Gurgel et al. (2020). A degradação, portanto, não se restringe à dimensão produtiva, mas envolve a reconfiguração das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, comprometendo a resiliência dos sistemas pastorais frente às variações ambientais.

Além disso, os processos de degradação em sistemas pastorais tropicais devem ser compreendidos em uma perspectiva mais ampla, que envolve tanto fatores de manejo quanto dinâmicas territoriais e ambientais. Carvalho et al. (2017) apontam que a ausência de práticas de recuperação e o uso contínuo de áreas sem planejamento contribuem para a expansão de pastagens de baixa produtividade, aumentando a pressão sobre novos territórios e, consequentemente, sobre os recursos naturais. Nesse sentido, Kohler et al. (2021) relacionam a degradação de pastagens à intensificação de processos como desmatamento e degradação de recursos hídricos, evidenciando que o problema extrapola o âmbito agrônomo e alcança dimensões ambientais mais amplas. Por outro lado, abordagens que integram diferentes componentes produtivos, como sistemas agrossilvipastoris, têm demonstrado potencial para

alterar essa dinâmica, ao promover melhorias na fertilidade do solo e na eficiência do uso dos recursos, conforme discutido por Veloso, Carvalho e Silveira Filho (2024) e Assis et al. (2019). Ainda assim, a persistência de práticas inadequadas e a limitação no acesso a tecnologias de manejo continuam sendo entraves para a reversão desse quadro, reforçando a necessidade de estratégias que articulem conhecimento técnico, gestão do solo e planejamento produtivo de longo prazo.

2.2 ALTERAÇÕES FÍSICAS, QUÍMICAS E BIOLÓGICAS DO SOLO EM PASTAGENS DEGRADADAS

As alterações físicas do solo em pastagens degradadas constituem uma das manifestações mais evidentes da perda de funcionalidade desses sistemas, estando diretamente relacionadas ao manejo inadequado e à pressão contínua exercida pelo pastejo. A compactação do solo, frequentemente observada em áreas com alta lotação animal, modifica a distribuição dos poros, aumentando a microporosidade e reduzindo os espaços responsáveis pela aeração e pela infiltração de água, o que compromete o desenvolvimento radicular das forrageiras, conforme discutido por Gurgel et al. (2020). Estudos conduzidos por Rosa (2016) demonstram que a elevação da densidade do solo está associada à diminuição da qualidade física, refletindo diretamente na capacidade de suporte das pastagens. Em análises realizadas por Furquim et al. (2018), observa-se que pastagens degradadas apresentam maior retenção de água decorrente da compactação, o que não representa uma condição favorável, mas sim um indicativo de restrição estrutural. Esse conjunto de alterações reduz a eficiência do uso da água e dos nutrientes pelas plantas, estabelecendo um ambiente limitante ao crescimento vegetal. Flávio Pereira, Carlos Ferreira e Fiúza Guimarães (2018) apontam que tais modificações físicas não ocorrem de forma isolada, mas se articulam com outros processos de degradação, intensificando a perda de produtividade das pastagens ao longo do tempo.

No que se refere às alterações químicas, a degradação das pastagens implica uma redução progressiva da fertilidade do solo, marcada pela diminuição da disponibilidade de nutrientes essenciais e pela intensificação da acidez. Arruda et al. (2018) evidenciam que áreas submetidas a uso contínuo sem adubação apresentam esgotamento de elementos como fósforo e potássio, comprometendo a nutrição das plantas forrageiras. Soares et al. (2018) destacam que a ausência de práticas de manejo da fertilidade impede a reposição dos nutrientes exportados pelo sistema, agravando o desequilíbrio químico do solo. Esse cenário é agravado pela baixa eficiência da ciclagem de nutrientes, uma vez que sistemas degradados apresentam menor retorno de resíduos orgânicos ao solo, conforme apontado por De Sá Souza et al. (2018).

A redução da matéria orgânica, discutida por Cherubin et al. (2023), compromete a capacidade de retenção de nutrientes e a estabilidade dos agregados, afetando simultaneamente as dimensões química e física do solo. Oliveira (2018) acrescenta que a diminuição dos estoques de carbono em áreas degradadas reflete a perda de qualidade do sistema, reduzindo sua capacidade de sustentar processos produtivos contínuos. Nesse contexto, a baixa fertilidade não apenas limita o crescimento das forrageiras, mas também restringe a eficiência de práticas de recuperação quando não acompanhadas de intervenções adequadas.

As alterações biológicas do solo, por sua vez, representam um aspecto frequentemente menos visível, porém decisivo na dinâmica da degradação das pastagens. A atividade microbiana é diretamente afetada pela redução da matéria orgânica e pela deterioração das condições físicas e químicas do solo, resultando em menor diversidade e funcionalidade dos microrganismos. Alves (2022) demonstra que alterações antrópicas nos sistemas de manejo reduzem significativamente os atributos biológicos do solo, comprometendo processos como a decomposição da matéria orgânica e a ciclagem de nutrientes. Em sistemas degradados, a biomassa microbiana tende a ser inferior à observada em sistemas manejados de forma integrada, como evidenciado por Assis et al. (2019), o que implica menor eficiência na transformação de nutrientes em formas assimiláveis pelas plantas. De Oliveira et al. (2021) reforçam que a avaliação de parâmetros biológicos constitui um indicador sensível do grau de degradação das pastagens, permitindo identificar alterações que não são imediatamente perceptíveis por análises convencionais. A interrupção desses processos biológicos compromete a resiliência do sistema, dificultando a recuperação natural das áreas degradadas. Nesse sentido, abordagens que promovem a diversificação dos sistemas produtivos, como os sistemas silvipastoris, têm sido apontadas como alternativas capazes de restabelecer parcialmente a atividade biológica do solo, conforme discutido por Luke et al. (2025) e Veloso, Carvalho e Silveira Filho (2024), ao favorecer a incorporação de matéria orgânica e a reativação dos ciclos ecológicos fundamentais ao funcionamento do solo.

2.3 IMPACTOS DA DEFICIÊNCIA DE NITROGÊNIO NA PRODUTIVIDADE DAS FORRAGEIRAS

A deficiência de nitrogênio nos sistemas de pastagens tropicais constitui um dos principais condicionantes da redução da produtividade das forrageiras, uma vez que esse nutriente está diretamente envolvido nos processos metabólicos relacionados à síntese de proteínas, crescimento vegetativo e formação de tecidos. Em condições de baixa disponibilidade, observa-se redução no perfilhamento e no acúmulo de biomassa,

comprometendo a capacidade de renovação da pastagem ao longo dos ciclos de pastejo. Resultados experimentais apresentados por De Freitas Martins, Neto e De Oliveira (2025) evidenciam diferenças expressivas entre plantas cultivadas com e sem adubação, com menor número de perfilhos e produção de matéria seca nas condições de deficiência nutricional, o que reforça a dependência das gramíneas forrageiras em relação ao nitrogênio disponível no solo. Essa limitação afeta não apenas o crescimento, mas também a qualidade da forragem, uma vez que a redução do teor de proteínas impacta diretamente o desempenho animal, como discutido por Pimentel et al. (2016), ao abordar as bases ecofisiológicas das plantas forrageiras em ambientes tropicais.

A dinâmica do nitrogênio nos solos de pastagens está intrinsecamente associada à matéria orgânica e à eficiência da ciclagem de nutrientes, fatores que são profundamente alterados em sistemas degradados. Cherubin et al. (2023) destacam que a matéria orgânica atua como reservatório de nitrogênio, sendo responsável pela liberação gradual desse nutriente por meio da atividade microbiana. No entanto, em áreas degradadas, a redução desses estoques limita a disponibilidade de nitrogênio mineral às plantas, comprometendo a fertilidade do solo. De Sá Souza et al. (2018) reforçam que a ciclagem de nutrientes em ecossistemas de pastagens depende do equilíbrio entre entrada e saída de biomassa, sendo prejudicada quando há baixa produção vegetal e menor retorno de resíduos ao solo. Nesse contexto, Oliveira (2018) aponta que a perda de carbono e a simplificação dos sistemas radiculares reduzem a eficiência dos processos biogeoquímicos, restringindo a capacidade do solo de sustentar níveis adequados de nitrogênio. Assim, a deficiência desse nutriente não deve ser compreendida de forma isolada, mas como parte de um processo mais amplo de degradação da fertilidade.

Além das limitações químicas, a deficiência de nitrogênio interage com alterações físicas e biológicas do solo, ampliando seus efeitos sobre a produtividade das forrageiras. A compactação do solo, discutida por Gurgel et al. (2020), reduz a exploração radicular e dificulta a absorção de nutrientes, agravando os efeitos da baixa disponibilidade de nitrogênio. Em paralelo, alterações na microbiota do solo, descritas por Assis et al. (2019) e Alves (2022), comprometem os processos de mineralização e disponibilização de nutrientes, limitando ainda mais o acesso das plantas ao nitrogênio. Flávio Pereira, Carlos Ferreira e Fiúza Guimarães (2018) observam que a deficiência nutricional está diretamente associada à perda de vigor das pastagens e à diminuição da cobertura vegetal, o que intensifica o processo de degradação. Esse quadro contribui para a redução da capacidade de suporte animal e para a expansão de áreas de baixa produtividade, como destacado por Carvalho et al. (2017), além de reforçar pressões ambientais mais amplas, incluindo a necessidade de abertura de novas áreas, conforme

discutido por Kohler et al. (2021). Nesse cenário, estratégias de manejo que visem restabelecer a disponibilidade de nitrogênio, seja por adubação ou por práticas que favoreçam a ciclagem e a fixação biológica, tornam-se indispensáveis para reverter o quadro de baixa produtividade das pastagens tropicais.

3. FIXAÇÃO BIOLÓGICA DE NITROGÊNIO EM SISTEMAS DE PASTAGENS

3.1 FUNDAMENTOS MICROBIOLÓGICOS DA FIXAÇÃO BIOLÓGICA DE NITROGÊNIO

A fixação biológica de nitrogênio constitui um processo microbiológico complexo que envolve a conversão do nitrogênio atmosférico em formas assimiláveis pelas plantas, sendo conduzido por microrganismos diazotróficos capazes de operar em condições específicas do ambiente radicular. Esse mecanismo depende da atuação da enzima nitrogenase, cuja atividade exige elevado aporte energético e condições controladas de oxigenação, uma vez que sua estrutura é sensível à presença de oxigênio livre, conforme discutido por Dias (2020) ao abordar os aspectos moleculares das bactérias fixadoras. A literatura clássica sobre microbiologia do solo demonstra que a transformação do nitrogênio está inserida em um conjunto mais amplo de processos biogeoquímicos que regulam a disponibilidade desse nutriente no sistema, envolvendo mineralização, imobilização e assimilação microbiana, como descrito por Dias (2016). Nesse contexto, Cavalcante et al. (2023) destacam que os grupos funcionais microbianos desempenham papéis distintos e complementares na ciclagem de nutrientes, sendo a fixação biológica um dos mecanismos mais relevantes em sistemas com baixa disponibilidade de nitrogênio mineral. A compreensão desses processos exige considerar o solo como um ambiente biologicamente ativo, no qual interações entre microrganismos, raízes e matéria orgânica determinam a eficiência da fixação e sua contribuição para a fertilidade.

No âmbito das interações simbióticas, a fixação biológica de nitrogênio em sistemas pastorais ocorre predominantemente por meio da associação entre bactérias do grupo dos rizóbios e plantas leguminosas, resultando na formação de nódulos radiculares especializados. Esses nódulos funcionam como estruturas fisiológicas onde o nitrogênio atmosférico é reduzido e disponibilizado à planta em troca de compostos orgânicos derivados da fotossíntese, estabelecendo uma relação metabólica interdependente, conforme descrito por De Oliveira et al. (2021) e Tavares et al. (2023). Estudos sobre a biodiversidade de rizóbios indicam que a eficiência desse processo varia conforme a compatibilidade entre estirpes bacterianas e espécies vegetais, sendo influenciada por fatores edáficos e ambientais, como evidenciado por Dias et al. (2018) e Chaves et al. (2018). Amaral et al. (2023) ressaltam que leguminosas

forrageiras tropicais apresentam elevada capacidade de associação com bactérias fixadoras, o que amplia o potencial de fornecimento biológico de nitrogênio em sistemas de pastagens. Essa interação simbiótica é considerada um dos fundamentos para a construção de sistemas produtivos com menor dependência de fertilizantes nitrogenados, como discutido por Bourscheidt et al. (2019) ao comparar estratégias de fornecimento de nitrogênio em pastagens. A utilização de inoculantes específicos, por sua vez, tem sido apontada como estratégia para aumentar a eficiência da fixação, desde que haja adaptação das estirpes às condições locais, conforme destacado por Delbon (2023).

Além da simbiose clássica, a fixação biológica de nitrogênio também pode ocorrer por meio de bactérias associativas ou de vida livre, ampliando a complexidade das interações no sistema solo-planta. Martins (2021) evidencia que bactérias diazotróficas associadas às raízes podem contribuir para o fornecimento de nitrogênio mesmo na ausência de nodulação típica, atuando de forma complementar ao processo simbiótico. Nesse sentido, Hayashi (2023) demonstra que a reinoculação e coinoculação com diferentes microrganismos podem alterar indicadores microbiológicos do solo, refletindo mudanças na dinâmica do nitrogênio e na eficiência do sistema produtivo. Pires et al. (2026) argumentam que bioinsumos microbianos têm ampliado o entendimento das interações entre solo, planta e microrganismos, ao evidenciar que a fixação biológica deve ser interpretada dentro de uma rede de processos ecológicos interdependentes. A contribuição desses microrganismos está relacionada à capacidade de modular a disponibilidade de nutrientes e de influenciar o metabolismo vegetal, como também observado por Casarin (2019) ao analisar a integração entre diferentes fontes de nitrogênio e o metabolismo do nutriente em sistemas agrícolas. Nesse cenário, a fixação biológica de nitrogênio se consolida como um processo que ultrapassa a dimensão isolada da nutrição vegetal, inserindo-se em uma lógica de funcionamento sistêmico dos agroecossistemas, na qual a atividade microbiana assume papel determinante na manutenção da fertilidade e na sustentabilidade dos sistemas de produção.

3.2 LEGUMINOSAS FORRAGEIRAS E SIMBIOSE COM BACTÉRIAS FIXADORAS

A utilização de leguminosas forrageiras em sistemas de pastagens está diretamente associada à capacidade dessas espécies de estabelecer relações simbióticas com bactérias fixadoras de nitrogênio, promovendo a incorporação desse nutriente ao sistema de forma biologicamente mediada. Essa associação ocorre a partir de um processo de reconhecimento bioquímico entre a planta hospedeira e os microrganismos do grupo dos rizóbios, resultando

na formação de nódulos radiculares onde se desenvolve a fixação do nitrogênio atmosférico, conforme descrito por De Oliveira et al. (2021) e Tavares et al. (2023). Dias (2020) aponta que a eficiência dessa simbiose depende de mecanismos moleculares específicos, incluindo a sinalização entre flavonoides vegetais e fatores Nod bacterianos, que determinam o sucesso da colonização radicular. Nesse contexto, Döbereiner e Baldani (2024) destacam que a compreensão dessas interações foi fundamental para o avanço da agricultura biológica, ao evidenciar o papel das bactérias fixadoras na substituição parcial de fertilizantes nitrogenados. A relevância dessa associação é particularmente evidente em sistemas tropicais, nos quais a baixa disponibilidade natural de nitrogênio limita o desenvolvimento das forrageiras, tornando a simbiose um mecanismo estratégico para o suprimento desse nutriente.

A eficiência da fixação biológica em leguminosas forrageiras está diretamente relacionada à diversidade e à adaptação das estirpes bacterianas presentes no solo, bem como à compatibilidade com as espécies vegetais utilizadas. Estudos conduzidos por Dias et al. (2018) demonstram que a biodiversidade de rizóbios em ambientes semiáridos influencia significativamente a eficiência simbiótica, evidenciando variações na capacidade de nodulação e fixação entre diferentes isolados. Chaves et al. (2018) reforçam que a caracterização genotípica de rizóbios permite identificar estirpes com maior eficiência, especialmente em espécies como *Stylosanthes*, amplamente utilizadas em pastagens tropicais. Amaral et al. (2023) destacam que leguminosas como *Arachis pintoi* e outras fabáceas forrageiras apresentam elevado potencial de associação simbiótica, contribuindo para o incremento da fertilidade do solo. Nesse cenário, a inoculação com estirpes selecionadas surge como estratégia para otimizar a fixação biológica, sobretudo em solos onde a população microbiana nativa não apresenta alta eficiência, conforme discutido por Delbon (2023). A introdução controlada desses microrganismos permite aumentar a disponibilidade de nitrogênio no sistema e favorecer o estabelecimento das leguminosas em consórcios com gramíneas.

A inserção de leguminosas forrageiras em pastagens consorciadas amplia a complexidade das interações ecológicas no sistema solo-planta, promovendo efeitos que transcendem a fixação direta de nitrogênio. Terra et al. (2019) evidenciam que a presença dessas espécies contribui para a melhoria do valor nutritivo da forragem e para a diversificação da dieta animal, ao mesmo tempo em que favorece a ciclagem de nutrientes. De Sá (2017) ressalta que a eficiência da fixação em sistemas consorciados depende da proporção de leguminosas na pastagem e da interação com a comunidade microbiana do solo. Bourscheidt et al. (2019) demonstram que sistemas que combinam leguminosas, inoculantes bacterianos e manejo adequado apresentam maior eficiência no fornecimento de nitrogênio quando

comparados ao uso exclusivo de fertilizantes minerais. Pinaffi et al. (2021) acrescentam que a integração entre fixação biológica e adubação nitrogenada pode resultar em respostas produtivas diferenciadas, indicando que a dinâmica do nitrogênio deve ser analisada de forma integrada. Além disso, a atuação de bactérias diazotróficas associativas, discutida por Martins (2021), amplia as possibilidades de fornecimento biológico de nitrogênio, enquanto Hayashi (2023) evidencia que práticas de coinoculação podem modificar indicadores microbiológicos do solo. Pires et al. (2026) destacam que bioinsumos microbianos têm contribuído para a reconfiguração das interações no agroecossistema, reforçando o papel das leguminosas como mediadoras de processos biológicos. Nesse contexto, a fixação biológica associada às leguminosas forrageiras não se restringe à nutrição vegetal, mas integra uma rede de processos ecológicos que sustentam a fertilidade e a funcionalidade dos sistemas de pastagens.

3.3 CONTRIBUIÇÕES DA FBN PARA A CICLAGEM DE NUTRIENTES NO SOLO

A fixação biológica de nitrogênio contribui para a ciclagem de nutrientes no solo ao inserir nitrogênio reativo em sistemas que, em condições naturais, apresentam limitação desse elemento, promovendo uma dinâmica de incorporação e redistribuição que ultrapassa a absorção direta pelas plantas. O nitrogênio fixado pelas bactérias simbióticas é inicialmente assimilado pelas leguminosas e, posteriormente, transferido ao sistema por meio da senescência de tecidos, exsudação radicular e deposição de resíduos orgânicos, conforme discutido por Dos Santos Branco e Júnior (2022) ao abordar a produção sustentável de forragem. Esse fluxo contínuo de entrada de nitrogênio contribui para a manutenção da fertilidade do solo, especialmente em sistemas onde a adubação mineral é limitada ou inexistente, como ressaltado por De Oliveira et al. (2021) e Tavares et al. (2023). A ciclagem de nutrientes, nesse contexto, está diretamente associada à capacidade do sistema em transformar a biomassa vegetal em matéria orgânica, ampliando a disponibilidade de nitrogênio mineral ao longo do tempo, processo descrito por Dias (2016) ao tratar das transformações do nitrogênio no solo. Assim, a fixação biológica não atua de forma isolada, mas integra um conjunto de processos que sustentam a dinâmica nutricional dos agroecossistemas.

A presença de leguminosas forrageiras desempenha papel relevante na intensificação desses processos, ao promover maior aporte de resíduos orgânicos e estimular a atividade microbiana responsável pela decomposição e mineralização dos nutrientes. Amaral et al. (2023) destacam que leguminosas tropicais apresentam elevada capacidade de fixação, o que resulta em maior acúmulo de nitrogênio na biomassa vegetal e, conseqüentemente, maior

retorno desse nutriente ao solo. Esse mecanismo é reforçado pela atuação de comunidades microbianas especializadas, cuja diversidade e funcionalidade são determinantes para a eficiência da ciclagem, conforme evidenciado por Cavalcante et al. (2023). Bicalho (2022) demonstra que a presença de leguminosas altera atributos biológicos do solo, favorecendo processos de decomposição e disponibilização de nutrientes. Nesse sentido, Döbereiner e Baldani (2024) argumentam que a fixação biológica deve ser compreendida como parte de uma agricultura baseada em processos biológicos, na qual a fertilidade do solo é sustentada por interações entre plantas e microrganismos. A introdução de inoculantes, conforme discutido por Delbon (2023), pode potencializar esses processos ao aumentar a eficiência da fixação e a quantidade de nitrogênio incorporado ao sistema.

Além da incorporação direta de nitrogênio, a fixação biológica contribui para a reorganização das interações no sistema solo-planta, promovendo efeitos indiretos sobre a ciclagem de outros nutrientes e sobre a estrutura do solo. Pires et al. (2026) destacam que bioinsumos microbianos influenciam a dinâmica da rizosfera, alterando a disponibilidade de nutrientes e a atividade enzimática do solo. Martins (2021) aponta que bactérias diazotróficas associativas podem atuar em conjunto com microrganismos simbióticos, ampliando o fornecimento de nitrogênio e favorecendo a eficiência do sistema. Hayashi (2023) evidencia que práticas de coinoculação modificam indicadores microbiológicos, refletindo mudanças na ciclagem de nutrientes e na interação entre solo e planta. Em sistemas consorciados, De Sá (2017) observa que a diversidade de leguminosas e bactérias fixadoras contribui para maior estabilidade da ciclagem, enquanto Bourscheidt et al. (2019) demonstram que estratégias integradas de fornecimento de nitrogênio apresentam maior eficiência quando comparadas ao uso isolado de fertilizantes minerais. Pinaffi et al. (2021) indicam que a integração entre fixação biológica e adubação pode otimizar a disponibilidade de nutrientes, enquanto Casarin (2019) destaca que diferentes fontes de nitrogênio influenciam o metabolismo vegetal e a dinâmica do nutriente no solo. Nesse cenário, a fixação biológica de nitrogênio se insere como um mecanismo que reorganiza os fluxos de nutrientes, contribuindo para a manutenção da fertilidade e para a funcionalidade dos sistemas de pastagens.

4. ESTRATÉGIAS DE MANEJO PARA RECUPERAÇÃO PRODUTIVA DAS PASTAGENS

4.1 CORREÇÃO DA ACIDEZ E MANEJO DA FERTILIDADE DO SOLO

A correção da acidez do solo constitui uma etapa estruturante nos processos de recuperação de pastagens degradadas, especialmente em ambientes tropicais onde predominam

solos naturalmente ácidos, com elevada saturação por alumínio e baixa disponibilidade de nutrientes essenciais. Borghi et al. (2018) destacam que a limitação química do solo compromete diretamente o desenvolvimento radicular das forrageiras, restringindo a exploração do perfil e a absorção de água e nutrientes. Nesse contexto, a calagem atua na neutralização do alumínio tóxico e no aumento do pH, promovendo maior disponibilidade de fósforo, cálcio e magnésio, o que favorece a retomada do crescimento vegetal. Kerkhoff et al. (2024) demonstram que a aplicação de corretivos, mesmo em superfície, pode alterar significativamente os atributos químicos do solo, contribuindo para a melhoria das condições de fertilidade ao longo do tempo. Zapotoski e Ferreira (2023) ressaltam que o uso de agrominerais como corretivos amplia as possibilidades de manejo, permitindo ajustes conforme as características específicas do solo. A relevância dessas práticas é reforçada por Dias Filho et al. (2023), ao apontarem que a ausência de correção da acidez figura entre os principais fatores associados à degradação de pastagens, evidenciando a necessidade de intervenções sistemáticas para restabelecer a funcionalidade do sistema edáfico.

O manejo da fertilidade do solo, por sua vez, não se limita à correção inicial, exigindo uma abordagem contínua baseada na reposição de nutrientes exportados e no monitoramento das condições químicas do solo. De Sousa et al. (2021) indicam que a recuperação produtiva das pastagens depende da adoção de estratégias integradas que incluam adubação de formação e manutenção, ajustadas às exigências das espécies forrageiras. A variabilidade espacial dos atributos químicos, evidenciada por Da Silva Carneiro et al. (2016), reforça a necessidade de manejo localizado, no qual técnicas de agricultura de precisão permitem identificar zonas de fertilidade e orientar a aplicação diferenciada de insumos. Guarçoni et al. (2019) argumentam que a construção da fertilidade do solo deve ser compreendida como um processo acumulativo, no qual práticas de manejo promovem a melhoria gradual dos atributos químicos e biológicos. Nesse sentido, De Resende et al. (2016) introduzem o conceito de solos de fertilidade construída, caracterizados pela ação contínua de intervenções que elevam a capacidade produtiva ao longo do tempo. A importância desse manejo é corroborada por Carvalho et al. (2017), ao destacarem que sistemas sem reposição adequada de nutrientes tendem a apresentar declínio progressivo da produtividade, mesmo em condições favoráveis de clima.

Além dos aspectos químicos, o manejo da fertilidade deve considerar a integração com práticas agronômicas que ampliem a eficiência do sistema e favoreçam a sustentabilidade da produção. Do Nascimento et al. (2025) apontam que a recuperação de pastagens exige a articulação entre correção da acidez, adubação e manejo do pastejo, de modo a evitar a recorrência dos processos de degradação. De Araújo et al. (2023) destacam que, em ambientes

semiáridos, a eficiência do manejo da fertilidade está condicionada à adaptação das práticas às limitações hídricas e às características edafoclimáticas locais. Magalhães (2016) demonstra que a combinação entre adubação fosfatada e sistemas de manejo do solo contribui para a melhoria da produtividade das forrageiras, especialmente em áreas previamente degradadas. Nesse cenário, práticas complementares, como o uso de fontes alternativas de corretivos, conforme discutido por Galvão et al. (2020), e a adoção de sistemas consorciados com leguminosas, apontada por Terra et al. (2019), ampliam as possibilidades de manejo. Dos Anjos et al. (2020) ressaltam que o ajuste do manejo do pastejo é indispensável para garantir que os ganhos obtidos com a melhoria da fertilidade sejam convertidos em produtividade animal. Assim, a correção da acidez e o manejo da fertilidade do solo configuram-se como processos interdependentes, cuja efetividade depende da integração entre práticas químicas, biológicas e de manejo, orientadas por diagnóstico técnico e acompanhamento contínuo.

4.2 SISTEMAS CONSORCIADOS GRAMÍNEAS–LEGUMINOSAS

Os sistemas consorciados entre gramíneas e leguminosas têm sido amplamente reconhecidos como estratégia agrônômica capaz de reconfigurar a dinâmica produtiva das pastagens, ao promover interações complementares entre espécies com diferentes exigências nutricionais e padrões de crescimento. Borghi et al. (2018) destacam que a introdução de leguminosas em pastagens degradadas possibilita o incremento do nitrogênio no sistema por meio da fixação biológica, reduzindo a dependência de fertilizantes minerais e favorecendo o restabelecimento da produtividade. Essa abordagem está diretamente associada à diversificação funcional do sistema, uma vez que as leguminosas apresentam maior teor proteico e contribuem para o equilíbrio nutricional da forragem, como apontado por Terra et al. (2019) ao discutir seu papel na recuperação de áreas degradadas. Nesse contexto, Dias Filho et al. (2023) indicam que a consorciação representa alternativa relevante para interromper o ciclo de degradação, ao promover maior eficiência no uso de nutrientes e melhor aproveitamento dos recursos disponíveis no solo. A integração entre espécies, portanto, não apenas amplia a produção de biomassa, mas também altera a dinâmica ecológica do sistema, favorecendo condições mais estáveis de crescimento das forrageiras.

A eficiência dos sistemas consorciados depende, entretanto, de um conjunto de fatores relacionados à escolha das espécies, ao manejo do solo e à condução do pastejo, que determinam o equilíbrio entre competição e complementaridade entre as plantas. Vieira et al. (2023) ressaltam que a seleção de espécies adaptadas às condições edafoclimáticas é determinante para o sucesso do consórcio, especialmente em ambientes semiáridos, onde a

disponibilidade hídrica limita o desenvolvimento vegetal. Nesse sentido, De Araújo et al. (2023) destacam que a adoção de espécies tolerantes a estresses ambientais contribui para a estabilidade do sistema produtivo. A dinâmica entre gramíneas e leguminosas requer manejo adequado da altura de pastejo e da lotação animal, de modo a evitar a supressão de uma das espécies, conforme discutido por Dos Anjos et al. (2020). Além disso, Magalhães (2016) demonstra que a consorciação associada à adubação fosfatada favorece o estabelecimento das leguminosas, uma vez que esse nutriente é essencial para o desenvolvimento radicular e para a atividade simbiótica. A interação entre manejo da fertilidade e consórcio também é evidenciada por Takasu (2019), ao observar que sistemas integrados apresentam maior eficiência produtiva quando comparados a monocultivos. Assim, o desempenho desses sistemas depende da articulação entre práticas de manejo que garantam a coexistência funcional das espécies.

Os efeitos dos sistemas consorciados estendem-se para além da produção de forragem, influenciando atributos do solo, qualidade nutricional e sustentabilidade do sistema produtivo. Galeano et al. (2021) destacam que a consorciação favorece a produção de volumosos com melhor composição nutricional, ampliando as possibilidades de uso na alimentação animal. Loures (2025) evidencia que a presença de leguminosas em consórcio com gramíneas melhora a composição bromatológica da forragem, refletindo em ganhos no desempenho animal. No âmbito do solo, Wruck et al. (2020) apontam que sistemas integrados promovem maior ciclagem de nutrientes e melhor aproveitamento da área agrícola, enquanto Guarçoni et al. (2019) reforçam que práticas que aumentam a diversidade vegetal contribuem para a sustentabilidade da produção agropecuária. A intensificação desses sistemas, conforme discutido por Da Silva Salvador et al. (2021), está associada à adoção de práticas como consórcios rotativos e uso de espécies adaptadas, capazes de aumentar a produtividade sem ampliar a área cultivada. Pasquini Neto (2022) demonstra que a integração de estratégias produtivas eleva a eficiência do sistema, ao mesmo tempo em que reduz impactos ambientais. Nesse cenário, os sistemas consorciados configuram-se como abordagem que integra produção e conservação, ao promover melhorias simultâneas na fertilidade do solo, na qualidade da forragem e na sustentabilidade dos sistemas pecuários.

4.3 INTENSIFICAÇÃO SUSTENTÁVEL E AUMENTO DA PRODUTIVIDADE FORRAGEIRA

A intensificação sustentável dos sistemas de pastagens tem sido discutida como estratégia para ampliar a produtividade forrageira em áreas já consolidadas, evitando a expansão da fronteira agrícola e promovendo maior eficiência no uso dos recursos disponíveis.

Borghi et al. (2018) destacam que a recuperação de pastagens degradadas, quando associada à intensificação do manejo, permite elevar significativamente a produção de biomassa por hectare, ao mesmo tempo em que reduz pressões ambientais relacionadas à abertura de novas áreas. Essa abordagem está alinhada ao conceito de uso eficiente do solo, no qual práticas de manejo visam otimizar a relação entre produtividade e conservação dos recursos naturais, conforme discutido por Dias Filho et al. (2023), ao enfatizar a necessidade de integrar estratégias de recuperação e prevenção da degradação. Nesse contexto, Do Nascimento et al. (2025) apontam que a intensificação não se limita ao aumento da produção, mas envolve a reorganização do sistema produtivo com base em práticas que promovam equilíbrio entre solo, planta e animal, garantindo maior estabilidade ao longo do tempo.

A adoção de tecnologias e práticas agrônômicas constitui um dos principais pilares da intensificação sustentável, envolvendo desde o manejo da fertilidade até a organização do sistema de produção. De Sousa et al. (2021) evidenciam que a recuperação produtiva das pastagens depende da implementação de planos de manejo que integrem adubação, correção do solo e controle do pastejo, permitindo maximizar a produção animal sem comprometer a qualidade do sistema. Nesse sentido, Dos Anjos et al. (2020) destacam que o manejo adequado do pastejo é determinante para transformar ganhos em fertilidade e produtividade vegetal em desempenho zootécnico, ajustando a lotação animal à capacidade de suporte da pastagem. A integração lavoura-pecuária, conforme discutido por Wruck et al. (2020), amplia a eficiência do uso da terra ao permitir a alternância de culturas e a recuperação de áreas degradadas por meio da diversificação produtiva. Takasu (2019) reforça que sistemas integrados apresentam maior produtividade quando comparados a sistemas convencionais, em função da melhoria dos atributos do solo e da maior eficiência na utilização de nutrientes. Assim, a intensificação depende da articulação entre diferentes práticas, ajustadas às condições específicas de cada sistema produtivo.

A intensificação sustentável também envolve a incorporação de estratégias que aumentem a resiliência dos sistemas frente às variações ambientais e às limitações edafoclimáticas. De Araújo et al. (2023) destacam que, em regiões semiáridas, a adoção de espécies adaptadas e o uso de práticas como irrigação complementar são fundamentais para reduzir a variabilidade da produção forrageira ao longo do ano. Evidências presentes na literatura indicam que a combinação de técnicas como consorciação, cobertura do solo e manejo hídrico contribui para o aumento da produtividade sem comprometer os ecossistemas, conforme demonstrado na revisão de Da Silva Salvador et al. (2021), que aponta ganhos produtivos associados à adoção de práticas resilientes. Leite et al. (2022) destacam que o uso

de biofertilizantes e indicadores agrometeorológicos pode auxiliar na intensificação de sistemas forrageiros irrigados, ampliando a eficiência produtiva. Nesse cenário, Pasquini Neto (2022) evidencia que a integração de estratégias produtivas resulta em maior desempenho animal e melhor aproveitamento da forragem, enquanto Mendes et al. (2024) ressaltam que a adoção de tecnologias intensivas deve estar associada à sustentabilidade dos sistemas. Dessa forma, a intensificação sustentável se configura como uma abordagem que articula produtividade, conservação e eficiência, permitindo a construção de sistemas pecuários mais adaptados às demandas contemporâneas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise desenvolvida ao longo deste capítulo permite compreender que a recuperação de pastagens degradadas não pode ser tratada como um processo pontual ou restrito a intervenções isoladas, mas como resultado de um conjunto articulado de práticas que envolvem a reestruturação da fertilidade do solo, a reorganização dos fluxos de nutrientes e a redefinição das estratégias de manejo do sistema produtivo. A degradação das pastagens está diretamente associada à ruptura de equilíbrios edáficos e biológicos que sustentam o crescimento das forrageiras, o que exige abordagens que considerem simultaneamente os aspectos físicos, químicos e microbiológicos do solo. Nesse sentido, a compreensão da dinâmica da fertilidade e das limitações impostas pela deficiência de nutrientes, especialmente do nitrogênio, revela que a baixa produtividade não decorre apenas da ausência de insumos, mas de um processo cumulativo de esgotamento e simplificação funcional do sistema solo-planta.

A incorporação de mecanismos biológicos, como a fixação biológica de nitrogênio, redefine a forma de manejo das pastagens ao introduzir uma lógica baseada na intensificação de processos naturais, capazes de sustentar a produtividade com menor dependência de insumos externos. A presença de leguminosas forrageiras e a interação com comunidades microbianas especializadas ampliam a capacidade do sistema de ciclar nutrientes e de manter níveis mais estáveis de fertilidade ao longo do tempo. Esse rearranjo funcional não apenas contribui para o aumento da produção de biomassa, mas também modifica a qualidade da forragem e a eficiência do uso dos recursos disponíveis, evidenciando que a recuperação produtiva depende da integração entre componentes biológicos e práticas de manejo agronômico.

Por fim, a intensificação sustentável emerge como uma estratégia que articula a necessidade de elevar a produtividade com a manutenção das condições ecológicas do sistema,

evitando a expansão de áreas e promovendo maior eficiência no uso da terra. A adoção de sistemas consorciados, o manejo adequado do pastejo e a correção contínua da fertilidade do solo constituem caminhos convergentes para a construção de sistemas mais estáveis e produtivos. No entanto, a efetividade dessas estratégias depende da adaptação às condições locais, do acompanhamento técnico e da capacidade de integrar diferentes práticas de forma coerente. A recuperação de pastagens, portanto, não se resume ao restabelecimento da produção, mas implica a reconstrução das bases que sustentam o funcionamento do sistema, permitindo que a produtividade seja mantida de forma contínua e compatível com as limitações ambientais.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, Mateus Benchimol Ferreira de et al. Métodos de sensoriamento remoto orbital para o diagnóstico e monitoramento dos níveis de degradação de pastagens tropicais: uma contribuição ao plano de agricultura de baixa emissão de carbono. 2022.
- ALVES, Kira Figueredo. Alterações antrópicas nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo sob diferentes manejos no cerrado maranhense. 2022.
- AMARAL, Mayan Blanc et al. Fixação biológica de nitrogênio em leguminosas forrageiras tropicais. 2023.
- ARAÚJO, William Bruno Silva. Silício na mitigação dos efeitos da deficiência de nitrogênio, fósforo e cálcio em forrageiras. 2020.
- ARRUDA, Murilo Rodrigues de et al. Uso da terra, fertilidade do solo e degradação de pastagens: um estudo de caso em dois municípios no Cerrado brasileiro. 2018.
- ASSIS, Paula Camylla Ramos et al. Atributos físicos, químicos e biológicos do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. **Agrarian**, v. 12, n. 43, p. 57-70, 2019.
- BICALHO, Thaís Ferreira. Atributos agrofisiológicos do feijão-guandu e biológicos do solo sob manejos de adubação nitrogenada. 2022.
- BLANK, Fábio Júnior et al. AVALIAÇÃO DO MANEJO DO SOLO E DE MAPAS DE FERTILIDADE EM UMA ÁREA DE ABERTURA PARA O CULTIVO DE SOJA NO MUNICÍPIO DE PARAGOMINAS, PARÁ. **Revista Inovação: Gestão e Tecnologia no Agronegócio**, v. 3, p. 420-449, 2024.
- BORGHI, Emerson et al. Recuperação de pastagens degradadas. **Agricultura de baixo carbono: tecnologias e estratégias de implantação. Brasília, DF: Embrapa**, v. 4, p. 105-138, 2018.

BOURSCHEIDT, M. L. B. et al. Estratégias de fornecimento de nitrogênio em pastagens: fertilizante mineral, inoculante bacteriano e consórcio com amendoim forrageiro. **Scientific Electronic Archives**, v. 12, n. 3, p. 137-147, 2019.

BRUM, Lucas Nascimento. Estratégias de correção da acidez e modos de aplicação de fósforo e potássio: efeitos na variação vertical da acidez do solo, disponibilidade de nutrientes e produtividade de grãos. 2023.

BRUNETTO, Gustavo et al. Manejo da fertilidade de solos em pomares de frutíferas de clima temperado. **Manejo e conservação do solo e da água em pequenas propriedades rurais no sul do Brasil: práticas alternativas de manejo visando a conservação do solo e da água [recurso eletrônico]. Cap. 9, p. 141-158**, 2016.

CARREIRA, Emanuel Ruben dos Santos. Intensificação sustentável da produção de ovinos no montado: estudo da interação entre a produtividade de pastagens naturais e a gestão dinâmica do pastoreio. 2024.

CARVALHO, Wellington Tadeu Vilela et al. Pastagens degradadas e técnicas de recuperação: Revisão. 2017.

CASARIN, Nicolas Braga. **Contribuição de diferentes fontes de nitrogênio para a FBN e o metabolismo de N da soja**. 2019. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

CAVALCANTE, Fernando Gouveia et al. Grupos Funcionais do solo: papel das comunidades microbianas especializadas na ciclagem de nutrientes e sensores de distúrbios ambientais. **Cuadernos de Educación y Desarrollo-QUALIS A4**, v. 15, n. 9, p. 8676-8698, 2023.

CHAVES, Josimar da Silva et al. Caracterização genotípica de rizóbios e eficiência simbiótica em estilosantes (*Stylosanthes* spp.). 2018.

CHERUBIN, Maurício Roberto et al. Matéria orgânica do solo em áreas de pastagens no Brasil. **Entendendo a matéria orgânica do solo em ambientes tropical e subtropical. Brasília: Embrapa**, p. 601-625, 2023.

DA SILVA CARNEIRO, Jefferson Santana et al. Diagnóstico da variabilidade espacial e manejo da fertilidade do solo no Cerrado. **Scientia Agraria**, v. 17, n. 3, p. 38-49, 2016.

DA SILVA CARNEIRO, Jefferson Santana et al. Diagnóstico e manejo da variabilidade espacial da fertilidade do solo no cerrado do Piauí. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, v. 14, n. 2, 2016.

DA SILVA SALVADOR, Kaique Renan et al. Intensificação de sistemas de produção de palma forrageira por meio de consorciação rotativa com gramíneas, leguminosas e oleaginosas: uma revisão. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 04, p. 2322-2343, 2021.

DA SILVA, Wemerson Leonardo Cruz; DOS SANTOS, Lourenço Oliveira; DE SOUSA, Kessia Rosaria. Manejo E Fertilidade Do Solo: Abordando A Tématica Através De Uma Revisão De Literatura. **Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro**, v. 2, n. 01, p. 1-17, 2025.

DE ARAÚJO, Pedro Pereira et al. Estratégias de manejo de pastagens em condições semiáridas. **Editora Licuri**, p. 174-185, 2023.

DE FREITAS MARTINS, Tábada; NETO, Geyson Ribeiro; DE OLIVEIRA, Celso Pereira. Avaliação da produtividade do Capim Miyagui em solos com adubação e solo sem adubação: Impactos na qualidade da forrageira e no crescimento vegetativo. **NATIVA-Revista de Ciências, Tecnologia e Inovação (ISSN: 2764-1295)**, v. 7, n. 1, p. 81-96, 2025.

DE OLIVEIRA, Bárbara Ferreira et al. Caracterização da fertilidade do solo do município de São Vicente do Sul-RS. **Boletim Técnico-Científico**, v. 9, n. 1, p. 1-11, 2024.

DE OLIVEIRA, Francielle Santana et al. Microrganismos simbiotes: fixação biológica de nitrogênio e recuperação de pastagens degradadas. **Tópicos em recuperação de áreas degradadas**, v. 2, p. 243-275, 2021.

DE OLIVEIRA, Thiago Soares et al. Avaliação da degradação de pasto nativo embasada em parâmetros de solo. **Diversitas Journal**, v. 6, n. 2, p. 1871-1885, 2021.

DE RESENDE, Álvaro Vilela et al. Solos de fertilidade construída: características, funcionamento e manejo. **Inf. Agronômicas**, p. 1-19, 2016.

DE SÁ SOUZA, Marcondes et al. Ciclagem de nutrientes em ecossistemas de pastagens tropicais. **Pubvet**, v. 12, p. 172, 2018.

DE SA, OLAVO AUGUSTO ARQUIMED LOPES. Leguminosas forrageiras em pastos consorciados: Métodos para mensurar a composição botânica da dieta e diversidade e eficiência de bactérias fixadoras de nitrogênio em amendoim forrageiro. 2017.

DE SOUSA, Eudilene Dalet Vitor et al. Plano de recuperação de áreas de pastagem em vias de degradação para maximizar a produção animal. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, v. 19, n. 1, p. 51-57, 2021.

DELBON, Stéfani Lorraine de Oliveira. Utilização de inoculantes biológicos para fixação de nitrogênio em leguminosas. 2023.

DIAS FILHO, M. B. et al. Degradação de pastagens: conceitos, processos e estratégias de recuperação e de prevenção. 2023.

DIAS, Armando Cavalcante Franco. Transformações do nitrogênio no solo. **EJ Cardoso & FD Andreote, Microbiologia do solo**, p. 99-109, 2016.

DIAS, Marcos A. Moura. **Fixação Biológica de Nitrogênio: características moleculares e simbióticas de bactérias nativas do Semiárido Brasileiro**. Editora Dialética, 2020.

DIAS, Suelane de Melo et al. Rizóbios isolados de fabáceas forrageiras do semiárido: biodiversidade e eficiência simbiótica. 2018.

DO NASCIMENTO, Fátima Juliana Lacerda et al. DEGRADAÇÃO DE PASTAGENS: CAUSAS, CONSEQUÊNCIAS E CAMINHO PARA A RECUPERAÇÃO. **Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro**, v. 8, n. 1, p. 1-12, 2025.

DÖBEREINER, Johanna; BALDANI, José Ivo. Bases científicas para uma agricultura biológica. **Ciência e Cultura**, v. 76, n. SPE4, p. 01-16, 2024.

DOS ANJOS, Albert José et al. Estratégias de manejo do pastejo para produção intensiva de leite em pastos tropicais. **Pubvet**, v. 14, p. 157, 2020.

DOS SANTOS BRANCO, Jaisson; JÚNIOR, Paulo Prates. Fixação biológica de nitrogênio na produção sustentável de forragem. **Revista Edutec**, v. 3, n. 1, 2022.

DOS SANTOS BRANCO, Jaisson; JÚNIOR, Paulo Prates. Fixação biológica de nitrogênio na produção sustentável de forragem. **Revista Edutec**, v. 3, n. 1, 2022.

FLÁVIO PEREIRA, Luís; CARLOS FERREIRA, Cecilia Fátima; FIÚZA GUIMARÃES, Ricardo Morato. Manejo, qualidade e dinâmica da degradação de pastagens na Mata Atlântica de Minas Gerais-Brasil. **Nativa**, v. 6, n. 4, 2018.

FURQUIM, Leonnardo Cruvinel et al. Qualidade física, química e biológica do solo e sensoriamento remoto na recuperação de pastagens degradadas através de sistemas integrados. **Científic@-Multidisciplinary Journal**, v. 5, n. 3, p. 145-160, 2018.

GALEANO, Edgar Salvador Jara et al. Consórcio entre gramíneas e leguminosas para produção de silagens, fenos e pré-secados. 2021.

GALVÃO, Jessivaldo Rodrigues et al. Utilização da casca de ovo como fonte de correção da acidez do solo. **Nature and Conservation**, v. 13, n. 2, p. 77-81, 2020.

GUARÇONI, André et al. Manejo da fertilidade do solo para uma produção agropecuária mais sustentável. **Incaper em Revista**, p. 22-42, 2019.

GURGEL, Antonio Leandro Chaves et al. Compactação do solo: Efeitos na nutrição mineral e produtividade de plantas forrageiras. **Revista Científica Rural**, v. 22, n. 1, p. 13-29, 2020.

HAYASHI, Maria Giulia. Indicadores microbiológicos do solo reinoculado e coinoculado com bactérias fixadoras de nitrogênio associadas a micronutrientes na cultura da soja. 2023.

KERKHOFF, Marcelo et al. Corretivos da acidez do solo aplicados em superfície no sistema soja-milho. 2024.

KOHLER, Marisa Regina et al. O desmatamento da Amazônia brasileira sob o prisma da pecuária: a degradação dos recursos hídricos no contexto da região norte de Mato Grosso. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 11, p. e66101119252-e66101119252, 2021.

LEITE, Renan Matheus Cordeiro et al. Uso biofertilizantes para intensificação sustentável da produção de palma forrageira irrigada e uso indicadores agrometeorológicos para avaliação. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 1, n. 01, p. 4181-4201, 2022.

LOURES, Daniele RS. Composição bromatológica de Uruchloa em sistemas consorciados com leguminosas. **Latin American Archives of Animal Production**, v. 33, n. Supl 1, p. 495-496, 2025.

LUKE, Eliana et al. Sistemas silvipastoris como ferramenta na recuperação de pastagens degradadas: uma revisão de literatura. **Revista Brasileira de Ciência, Tecnologia e Inovação**, v. 10, p. e025009-e025009, 2025.

MAGALHÃES, Aline. Recuperação de pastagem com sistemas de manejo do solo, consorciação e adubação fosfatada. 2016.

MARTINS, Juliana Trindade. Uso de bactérias diazotróficas como técnica de fornecimento de nitrogênio no feijoeiro em sistema orgânico e soja. 2021.

MENDES, Danillo Valentim et al. Tecnologias e práticas intensivas rumo a uma produção eficiente e sustentável. **Observatório de la Economía Latinoamericana**, v. 22, n. 5, p. e4534-e4534, 2024.

OLIVEIRA, Daniele Costa de. **Potencial de sequestro de carbono no solo e dinâmica da matéria orgânica em pastagens degradadas no Brasil**. 2018. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

PALAMAR, Natália Giehl. Da pesquisa ao campo: estudo de tecnologias baseadas no conceito de intensificação sustentável. 2023.

PASQUINI NETO, Rolando. **Efeitos da intensificação e integração como estratégia para o manejo sustentável das pastagens nos sistemas de produção de bovinos de corte da raça Nelore: produtividade da forragem, desempenho animal e consumo alimentar**. 2022. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

PIMENTEL, Róberson Machado et al. Ecofisiologia de plantas forrageiras. **Pubvet**, v. 10, p. 636-720, 2016.

PINAFFI, Camila Dias et al. Adubação nitrogenada mineral e fixação biológica de N em sistemas de produção pastagem-soja. 2021.

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**, v. 2, n. 2, p. 1-14, 2026.

ROSA, Aline Rombega Tito. Diagnóstico de áreas de pastagem degradada e correlação com a qualidade física do solo no município de Veríssimo-MG. 2016.

ROZANE, Danilo Eduardo; BRUNETTO, Gustavo; NATALE, William. Manejo da fertilidade do solo em pomares de frutíferas. **Informações Agronômicas**, v. 160, p. 16-29, 2017.

SOARES, João PG et al. Manejo da fertilidade de solos em áreas de pastagem orgânica. **Solos e agroecologia**, p. 271-305, 2018.

TAKASU, Anderson Teruo. Manejo do solo e consórcio de gramíneas ou leguminosas no desenvolvimento e produtividade do milho primeira safra e feijão de inverno em sucessão no sistema plantio direto no cerrado. 2019.

TAVARES, L. R. et al. Microrganismos simbiotes: fixação biológica de nitrogênio e recuperação de pastagens degradadas. 2023.

TERRA, Ana BC et al. Leguminosas forrageiras na recuperação de pastagens no Brasil. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 42, n. 2, p. 11-20, 2019.

TERRA, Ana BC et al. Leguminosas forrageiras na recuperação de pastagens no Brasil. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 42, n. 2, p. 11-20, 2019.

VELOSO, CAC; CARVALHO, EJM; SILVEIRA FILHO, A. Dinâmica da fertilidade do solo em sistemas agrossilvipastoris na região Nordeste do estado do Pará. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 7, n. 4, p. e75229, 2024.

VIEIRA, Vanessa Alexandre et al. Utilização de sistemas forrageiros consorciados no semiárido: uma revisão. **Natural Resources**, v. 13, n. 4, p. 41-55, 2023.

WRUCK, F. J. et al. Integração lavoura-pecuária: consórcios forrageiros na entressafra. 2020.

ZAPOTOSKI, Robson Gustavo Trigo; FERREIRA, Kelly Cristina. Agrominerais-fertilizantes e corretivos de acidez do solo. **Revista Foco**, v. 16, n. 12, p. e3622-e3622, 2023.

