

Recuperação de pastagens degradadas em biomas brasileiros: análise comparativa de estratégias sustentáveis

*Restoration of degraded pastures in Brazilian biomes: a comparative analysis of
sustainable strategies*

Marcos Vinícius Pereira Silva^{1*}; Ossival Lolato Ribeiro²; Emellinne Ingrid de Sousa Costa³

^{1*}(autor correspondente) Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB, Cruz das Almas - Bahia, Brasil, 44380-000, vius.marcos@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0001-3156-7179>; ²Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB, Cruz das Almas - Bahia, Brasil, 44380-000, ossival@ufrb.edu.br; <https://orcid.org/0000-0001-8275-4954>; ³Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB, Cruz das Almas - Bahia, Brasil, 44380-000, emellinneingrid@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-1553-4462>

Resumo

A degradação de pastagens no Brasil compromete a produtividade agropecuária e os serviços ecossistêmicos, afetando os principais biomas nacionais. Este estudo teve como objetivo analisar comparativamente a eficácia das estratégias de recuperação de pastagens degradadas nos biomas Amazônia, Cerrado, Caatinga e Mata Atlântica. Foi realizada uma revisão de literatura com artigos publicados entre 2014 e 2024, obtidos em bases como Scopus, Web of Science e Google Scholar, considerando estudos com resultados mensuráveis de recuperação. As estratégias foram avaliadas quanto à eficiência produtiva, recuperação do solo, custo de implementação e tempo de resposta. Os resultados indicam que sistemas integrados, como integração lavoura-pecuária-floresta e sistemas agroflorestais, apresentam maior eficiência global, promovendo ganhos simultâneos de produtividade e qualidade do solo. No entanto, essas práticas demandam maior investimento inicial e suporte técnico. Estratégias naturais, como regeneração secundária, mostram elevada eficiência ecológica, porém com resposta lenta. Observou-se que a eficácia das estratégias varia conforme as condições edafoclimáticas e socioeconômicas de cada bioma. Conclui-se que a recuperação de pastagens no Brasil depende da combinação de estratégias adaptadas regionalmente, sendo necessária a ampliação de políticas públicas para viabilizar sua adoção em larga escala.

Palavras-chave: pastagens degradadas, manejo sustentável, sistemas integrados, recuperação do solo, biomas brasileiros.

Abstract

Pasture degradation in Brazil compromises agricultural productivity and ecosystem services, affecting major biomes such as the Amazon, Cerrado, Caatinga, and Atlantic Forest. This study aimed to comparatively analyze the effectiveness of sustainable strategies for the recovery of degraded pastures in these biomes. A literature review was conducted based on studies published between 2014 and 2024 in indexed databases, focusing on interventions with measurable results related to soil recovery, productivity, and ecological indicators. The findings showed that integrated systems, especially crop-livestock-forest integration and agroforestry systems, presented the most comprehensive results, promoting simultaneous improvements in soil quality, biomass production, and environmental sustainability. However, these strategies require greater initial investment and technical support. Natural and ecological approaches, such as secondary regeneration and grazing exclusion, showed positive effects on soil restoration and biodiversity, although with slower responses. The effectiveness of the recovery strategies varied according to the edaphoclimatic and socioeconomic conditions of each biome. Overall, the results indicate that the recovery of degraded pastures in Brazil depends on regionally adapted strategies and on public policies capable of supporting their implementation on a broader scale.

Keywords: degraded pastures, sustainable management, soil recovery, Brazilian biomes, integrated systems.

1. Introdução

A degradação de pastagens no Brasil constitui um problema ambiental e produtivo de grande relevância, sobretudo nos biomas Amazônia, Cerrado, Caatinga e Mata Atlântica, que juntos representam cerca de 96% do território nacional e exercem papel central na manutenção de serviços ecossistêmicos e na economia brasileira (IBGE, 2023). Apesar dessa importância, esses biomas vêm sendo submetidos a pressões crescentes decorrentes da expansão agropecuária, do manejo inadequado do solo e das pastagens e das mudanças climáticas, fatores que comprometem sua sustentabilidade em longo prazo (Caballero et al., 2023; Almada et al., 2024; Correia et al., 2024).

Estima-se que mais da metade das pastagens brasileiras apresente algum nível de degradação, com aproximadamente 44 milhões de hectares severamente impactados, o que resulta em redução da produtividade, perda de carbono no solo, aumento das emissões de gases de efeito estufa e diminuição da biodiversidade (Han et al., 2020; Cruz et al., 2022; Lyu et al., 2022; Gianetti & Ferreira Filho, 2024).

Entre os principais fatores associados a este processo destacam-se o manejo inadequado do solo, o superpastejo, a compactação e a redução da matéria orgânica, que comprometem a capacidade de recuperação das áreas e a oferta de serviços ecossistêmicos essenciais, como a regulação hídrica e climática (Castellini et al., 2021).

A intensidade e a forma de manifestação da degradação variam conforme as condições ambientais de cada bioma. No Cerrado, a sazonalidade acentuada interfere na dinâmica das pastagens; na Amazônia, a fragilidade dos solos amplia a vulnerabilidade à degradação; na Caatinga, as secas prolongadas agravam a perda de cobertura vegetal; e, na Mata Atlântica, a elevada pressão antrópica dificulta a conservação e a recuperação das áreas utilizadas para produção (Andrade, 2017; Lapola et al., 2023; Conceição et al., 2024). Além disso, a substituição da vegetação nativa por espécies exóticas e práticas inadequadas de manejo agravam a vulnerabilidade do solo e dificultam sua regeneração natural (Ravi et al., 2009; Antonelli et al., 2018).

Diante desse cenário, a recuperação de pastagens degradadas demanda estratégias compatíveis com as particularidades ecológicas, edáficas, climáticas e socioeconômicas de cada região. Diferentes abordagens vêm sendo empregadas, incluindo correção e fertilização do solo, sistemas agroflorestais, integração lavoura-pecuária-floresta, regeneração natural e tecnologias de monitoramento, com resultados distintos quanto à eficiência, aplicabilidade e custo. Assim, a análise integrada da literatura sobre esses biomas torna-se relevante para compreender os principais fatores de degradação, as tecnologias adotadas e os desafios associados à recuperação dessas áreas.

Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo identificar e analisar estratégias de recuperação de pastagens degradadas nos biomas Amazônia, Caatinga, Cerrado e Mata Atlântica, considerando suas especificidades regionais, as principais causas da degradação, as práticas e tecnologias empregadas, os resultados obtidos e os desafios relacionados à sua implementação.

2. Material e Métodos

Este estudo consistiu em uma revisão de literatura voltada à identificação e à análise de

estratégias de recuperação de pastagens degradadas nos biomas Amazônia, Caatinga, Cerrado e Mata Atlântica. A escolha desses biomas considerou sua relevância ecológica, territorial e produtiva no contexto brasileiro, bem como a diversidade de condições ambientais, climáticas e socioeconômicas associadas às áreas de pastagem.

A busca bibliográfica foi realizada nas bases Scopus, Web of Science, Google Scholar e ScienceDirect, abrangendo publicações do período de 2014 a 2024. Foram utilizados, de forma isolada e combinada, os descritores “recuperação de pastagens degradadas”, “estratégias de manejo sustentável”, “biomas brasileiros” e “solos degradados”, selecionados por sua relação direta com o objetivo do estudo.

Na etapa inicial, os estudos recuperados foram organizados de acordo com o bioma de interesse. Em seguida, procedeu-se à leitura de títulos e resumos para triagem dos trabalhos potencialmente relevantes. Nessa etapa, foram priorizados estudos que abordassem diretamente a degradação de pastagens e respectivas estratégias de recuperação, com ênfase em práticas de manejo sustentável, sistemas agroflorestais, fertilização, regeneração natural, integração de sistemas produtivos e tecnologias de monitoramento.

Como critérios de inclusão, foram considerados artigos que apresentassem: a) diagnóstico explícito das causas e dos níveis de degradação das pastagens; b) descrição das estratégias ou tecnologias empregadas na recuperação das áreas; c) resultados mensuráveis, qualitativos ou quantitativos, relacionados à recuperação do solo, da vegetação, da produtividade ou de indicadores ecológicos; e d) discussão dos desafios, limitações ou implicações regionais das práticas analisadas. Foram excluídos estudos duplicados, trabalhos com baixa aderência ao tema central e publicações que não apresentavam informações metodológicas mínimas para interpretação dos resultados.

Após a triagem, os estudos selecionados foram lidos integralmente. A extração das informações concentrou-se em quatro eixos analíticos: principais causas da degradação, estratégias de recuperação adotadas, resultados obtidos e desafios ou limitações relatadas. Os dados foram então organizados comparativamente por bioma, com o objetivo de identificar padrões, especificidades regionais e potencial de aplicação das práticas descritas na literatura.

Para o gerenciamento e a organização das referências bibliográficas, foram utilizados os

softwares Mendeley e Zotero, conforme descrito no trabalho original. A sistematização final buscou construir uma visão integrada das soluções relatadas para a recuperação de pastagens degradadas nos principais biomas brasileiros.

3. Resultados

Os estudos analisados evidenciam que a degradação de pastagens nos biomas brasileiros apresenta causas recorrentes, como manejo inadequado, compactação do solo, perda de fertilidade, redução da matéria orgânica e substituição da vegetação nativa por espécies exóticas.

No entanto, a intensidade desses processos e as estratégias de recuperação adotadas variam conforme as condições ecológicas, climáticas e produtivas de cada bioma. De modo geral, os trabalhos revisados apontam que a recuperação dessas áreas depende da combinação de práticas de manejo, intervenções tecnológicas e abordagens ecológicas ajustadas às especificidades regionais.

3.1 Amazônia

No bioma Amazônia, os estudos selecionados mostram que a degradação das pastagens está associada, principalmente, à baixa fertilidade do solo, à compactação, à perda de matéria orgânica, ao desmatamento e ao avanço de sistemas produtivos conduzidos sem reposição adequada de nutrientes. Também se observam a redução da biodiversidade e o aumento de emissões de gases de efeito estufa em áreas com pastagens degradadas.

As principais estratégias relatadas para recuperação nesse bioma incluem fertilização química, uso de Terra Preta de Índio, regeneração secundária, sistemas agroflorestais, integração lavoura-pecuária-floresta e sistemas integrados de produção. Em conjunto, os estudos apontam aumento da produtividade, melhoria das propriedades químicas e biológicas do solo, recuperação de funções ecológicas e ganhos ambientais associados à redução de emissões e ao incremento da biodiversidade. Por outro lado, também são recorrentes limitações relacionadas ao custo de implantação, à necessidade de assistência técnica e às dificuldades de expansão em larga escala. Esses achados estão sintetizados no Quadro 1.

Quadro 1. Síntese dos estudos sobre recuperação de pastagens no bioma Amazônia.

Artigo	Diagnóstico	Estratégias	Resultados	Desafios
Teixeira et al. (2014)	Baixa fertilidade e acidez do solo	NPK e fosfato de Arad	Aumento de até 60% na produtividade do milho	Altos custos e baixa solubilidade do fosfato de Arad
Freitas et al. (2023)	Compactação e perda de biodiversidade	Terra Preta de Índio (ADE)	Aumento da fertilidade e diversidade microbiana	Desafios logísticos e custos elevados para escalabilidade
Rego et al. (2023)	Perda de nutrientes e matéria orgânica	Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF)	Melhorias substanciais no solo após 8 anos	Necessidade de investimento inicial e assistência técnica
Santana et al. (2023)	Desmatamento e baixa biodiversidade	Sistemas Agroflorestais (SAFs)	Taxa interna de retorno >30% e aumento da biodiversidade	Altos custos iniciais e complexidade de manejo
Pedrinho et al. (2020)	Perda de carbono e nitrogênio	Regeneração secundária	Recuperação gradual de funções ecológicas	Tempo prolongado para impactos significativos
Cândido et al. (2024)	Altas emissões de CO ₂ e CH ₄	Sistemas integrados	Redução nas emissões e aumento da produtividade	Resistência dos produtores à adoção de novos sistemas
Mazzetto et al. (2016)	Emissões de N ₂ O associadas a fertilizantes	Ajuste de doses de fertilização	Redução de emissões por kg de forragem	Necessidade de equilíbrio entre custo e produtividade
Almeida et al. (2023)	Altos níveis de degradação	Mapeamento com imagens de satélite	Diagnósticos precisos e personalizados	Falta de recursos para implementação prática

Fonte: Dados da pesquisa, 2024.

3.2 Caatinga

Na Caatinga, a degradação das pastagens está relacionada sobretudo ao superpastejo, à retirada da vegetação nativa, à compactação do solo, à baixa fertilidade e às condições climáticas restritivas, especialmente secas prolongadas e irregularidade das chuvas. Os estudos também destacam efeitos sobre erosão, perda de biodiversidade e redução da capacidade de regeneração natural das áreas degradadas.

Entre as estratégias mais frequentes de recuperação destacam-se a exclusão do pastoreio, regeneração natural, uso de espécies nativas, aditivos orgânicos, práticas agroecológicas, raleamento e enriquecimento por sistemas agroflorestais. Os resultados apontam melhoria da fertilidade do solo, aumento da cobertura vegetal, incremento dos estoques de carbono e recuperação gradual da funcionalidade ecológica. No entanto, parte dos estudos também relata que essas respostas podem ser lentas e condicionadas por limitações climáticas, custos iniciais e resistência à adoção de novas práticas. A síntese desses achados encontra-se no Quadro 2.

Quadro 2. Síntese dos estudos sobre recuperação de pastagens no bioma Caatinga.

Artigo	Diagnóstico	Estratégias	Resultados	Desafios
Lima et al. (2024)	Compactação do solo devido ao superpastejo.	Exclusão do pastoreio.	Melhorias na densidade do solo e carbono em 21 anos.	Custos iniciais e resistência cultural.
Silva et al. (2024)	Perda de carbono e nutrientes no solo.	Regeneração natural.	Aumento de 115% no SOC após 35 anos.	Tempo prolongado de recuperação.
Souza et al. (2024)	Compactação e baixa fertilidade.	Aditivos orgânicos (esterco e leguminosas).	Melhoria rápida na fertilidade do solo.	Regeneração natural lenta e custos elevados.
Carvalho et al. (2022)	Solo exposto e perda de biodiversidade.	Uso de espécies nativas	Cobertura eficiente do solo com espécies nativas.	Desafios climáticos e conhecimento limitado.
Oliveira Neto et al. (2018)	Superpastejo e baixo teor de fósforo.	Exclusão do pastoreio e fertilização fosfatada.	Massa de forragem acima de 7950 kg/ha.	Custos da fertilização e resistência cultural.
Almeida et al. (2017)	Erosão e perdas de carbono.	Pousio por 10 anos.	Redução significativa na erosão.	Vulnerabilidade social e lacunas de pesquisa.
Alves et al. (2023)	Manejo inadequado e superpastejo.	Agroecologia e reflorestamento.	Melhoria na qualidade do solo e biodiversidade.	Condições climáticas extremas.
Ferreira et al. (2014)	Retirada e queima da vegetação nativa.	Conservação e regeneração natural.	Maior diversidade florística em áreas regeneradas.	Uso do fogo e manejo inadequado.
Campos &	Conflitos de uso	Zoneamento	Potencial aumento	Escassez de

Lima (2020)	da terra.	ambiental e manejo sustentável.	da conservação e biodiversidade.	recursos e resistência comunitária.
Luna et al. (2019)	Superpastejo por caprinos.	Indicadores microbianos para manejo.	Sugestões para manejo com base na biomassa microbiana.	Necessidade de pesquisa adicional.
Lucena et al. (2021)	Superpastejo e vegetação desbalanceada.	Raleamento (remoção seletiva de plantas).	Melhora na estrutura do solo e aumento da biodiversidade.	Custos de implementação e resistência dos produtores.
Oliveira et al. (2020)	Degradação e perda de biodiversidade.	Enriquecimento (uso de SAFs com espécies nativas).	Aumento da fertilidade do solo e biodiversidade.	Custo inicial elevado e escassez de sementes nativas.

Fonte: Dados da pesquisa, 2024.

3.3 Cerrado

No Cerrado, os estudos apontam que a degradação das pastagens decorre principalmente da baixa fertilidade dos solos, do manejo inadequado, da compactação, da substituição de espécies nativas por gramíneas exóticas e da forte sazonalidade climática. Também são relatadas perdas de biodiversidade, redução da biomassa e maior vulnerabilidade do solo à erosão.

As estratégias de recuperação identificadas incluem sistemas agroflorestais, integração lavoura-pecuária, aplicação de corretivos e fertilizantes, uso de geotecnologias para monitoramento, semeadura de espécies nativas, restauração passiva, adubação verde e transferência de solo superficial e feno. Os resultados descritos pelos estudos mostram aumento da biomassa, melhoria da fertilidade do solo, recuperação da microbiota e avanços na identificação de áreas críticas por ferramentas de monitoramento remoto. Os principais achados para esse bioma estão resumidos no Quadro 3.

Quadro 3. Síntese dos estudos sobre recuperação de pastagens no bioma Cerrado.

Autores	Diagnóstico	Estratégias	Resultados	Desafios
Benedito et al. (2017)	Compactação do solo e sazonalidade.	Sistemas Agroflorestais (SAFs).	Aumento da biomassa e ciclagem de nutrientes.	Custos elevados.

Oliveira et al. (2019)	Baixa fertilidade do solo.	Aplicação de siligesso.	Melhoria da fertilidade e aumento de massa seca.	Resistência cultural.
Andrade et al. (2017)	50% das pastagens degradadas (NDVI/ET).	Monitoramento com geotecnologias.	Mapas detalhados e identificação de hotspots.	Alto custo inicial.
D'Angioli et al. (2022)	Perda de biodiversidade.	Semeadura direta de espécies nativas.	Recuperação parcial da biodiversidade.	Falta de sementes nativas disponíveis.
Selari et al. (2021)	Compactação do solo e manejo inadequado.	Integração Lavoura-Pecuária (CLIS).	Recuperação da microbiota do solo.	Falta de adoção por pequenos produtores.
Cava et al. (2018)	Substituição de gramíneas nativas.	Restauração passiva.	Recuperação natural em até 50 anos.	Tempo prolongado sem intervenção ativa.
Pilon & Durigan (2017)	Invasão por gramíneas exóticas.	Transferência de solo e feno.	Reintrodução rápida de herbáceas nativas.	Custos elevados.
Bonini et al. (2023)	Baixa diversidade de macrofauna do solo.	Adubação verde e manejo integrado.	Aumento da macrofauna e fertilidade do solo.	Alto custo inicial

Fonte: Dados da pesquisa, 2024.

3.4 Mata Atlântica

Na Mata Atlântica, a degradação das pastagens está associada à fragmentação da vegetação, ao desmatamento, à compactação do solo, à perda de nutrientes e à presença de espécies invasoras. Os estudos também relatam redução da biomassa, comprometimento da fertilidade do solo e diminuição da funcionalidade ecológica em áreas manejadas inadequadamente.

As estratégias de recuperação mais citadas incluem uso de biofertilizantes, introdução de leguminosas, sistemas agroflorestais, regeneração natural, correção da fertilidade do solo e monitoramento com sensoriamento remoto. Os resultados mostram aumento do carbono orgânico do solo, melhoria da produtividade das pastagens, incremento da biodiversidade e

avanços na classificação dos níveis de degradação em áreas monitoradas. Ainda assim, os estudos relatam limitações ligadas ao custo de implantação, à persistência de espécies invasoras e à necessidade de manejo contínuo. A síntese dos trabalhos analisados para esse bioma é apresentada no Quadro 4.

Quadro 4. Síntese dos estudos sobre recuperação de pastagens no bioma Mata Atlântica

Artigo	Diagnóstico	Estratégias	Resultados	Desafios
Pinheiro et al. (2020)	Baixa fertilidade do solo, baixa cobertura vegetal e redução de estoques de carbono e nitrogênio.	Aplicação de biofertilizantes (ácidos húmicos e bactérias diazotróficas).	Aumento de carbono orgânico total (TOC), produtividade de forragem e absorção de nutrientes.	Exclusão de animais durante o experimento; ausência de fertilização nitrogenada.
Santos et al. (2015)	Redução de biomassa, atividade microbiana e depósitos orgânicos.	Cultivares de <i>Panicum maximum</i> com aplicação de calcário e fósforo.	Melhora em indicadores de saúde do solo e aumento da biomassa.	Faltam dados sobre replicabilidade e impacto econômico.
Fabrice et al. (2015)	Redução da produtividade e ausência de manejo adequado.	Introdução de leguminosas (<i>Stylosanthes</i>) e adubação fosfatada.	Aumento da biomassa e participação de leguminosas.	Custos iniciais e resistência dos produtores.
Laurindo et al. (2023)	Impacto de espécies invasoras (<i>Pinus taeda</i>), redução de biodiversidade e colonização micorrízica.	Sistemas agroflorestais (SAFs) com espécies nativas.	Melhora na diversidade micorrízica e na saúde do solo.	Presença de espécies invasoras e necessidade de regeneração de longo prazo.
Almeida et al. (2023)	Diferentes níveis de degradação em pastagens.	Mapeamento digital com imagens Sentinel-2 e Random Forest.	Classificação precisa dos níveis de degradação (93% de acurácia).	Ausência de estratégias específicas para recuperação; custos associados.
Alcântara et al. (2024)	Compactação do solo, presença de ervas	Regeneração natural com práticas de	Aumento de carbono orgânico total (TOC) e	Condições limitantes nas áreas de manejo;

	daninhas e perda de carbono atmosférico.	manejo apropriadas.	melhoria na qualidade do solo após 4 anos.	lacunas em estudos de longo prazo.
Korys et al. (2021)	Degradação por manejo inadequado, redução da fertilidade e biomassa.	Restauração ativa com correção de solo e regeneração natural.	Recuperação lenta e sem diferenças significativas em 6 anos.	Altos custos de restauração ativa e baixa sobrevivência de árvores.
Martins et al. (2019)	Baixa diversidade da fauna do solo e perda de biodiversidade.	Sistemas agroflorestais diversificados (SAFs).	Melhora na fauna do solo e diversidade fúngica, embora abaixo de fragmentos florestais.	Custos elevados e incertezas sobre benefícios de longo prazo.
Rocha Júnior et al. (2017)	Redução da fitomassa, nutrientes e exposição do solo.	Indicadores de qualidade do solo baseados em campo.	Correlação significativa com dados laboratoriais; maior sensibilidade para avaliar degradação.	Ausência de análise de longo prazo; falta de recomendações para escalabilidade.

Fonte: Dados da pesquisa, 2024.

4. Discussão

Os estudos reunidos mostram que a recuperação de pastagens degradadas nos biomas brasileiros não depende apenas da correção de um fator isolado, mas da combinação entre manejo do solo, recomposição da cobertura vegetal e viabilidade de adoção no sistema produtivo. Na Amazônia, por exemplo, os resultados de Teixeira et al. (2014) indicam que a fertilização com NPK e fosfato de Arad pode elevar substancialmente a produtividade em áreas de baixa fertilidade, com aumento de até 60% na produtividade do milho, mas o próprio estudo evidencia um limite prático importante: o custo elevado e a baixa solubilidade do fosfato restringem a aplicabilidade dessa estratégia, sobretudo para pequenos produtores. No mesmo bioma, Freitas et al. (2023) mostraram que a Terra Preta de Índio melhora a fertilidade e a diversidade microbiana, o que reforça a relevância da recuperação biológica do solo, mas,

novamente, o entrave está na escalabilidade e nos custos logísticos.

Ainda na Amazônia, estudos sugerem que os sistemas integrados apresentam respostas mais amplas do que intervenções pontuais, porque atuam simultaneamente sobre atributos químicos, físicos e biológicos do solo, além de oferecerem retorno econômico. Rego et al. (2023) observaram melhorias substanciais no solo após oito anos de ILPF, enquanto Santana et al. (2023) relataram taxa interna de retorno superior a 30% em sistemas agroflorestais, associada ao aumento da biodiversidade. Isso indica que, nesse bioma, estratégias integradas tendem a ser mais consistentes que soluções baseadas apenas em insumos. Por outro lado, Pedrinho et al. (2020) mostram que a regeneração secundária recupera funções ecológicas gradualmente, mas em ritmo incompatível com sistemas que demandam resposta produtiva em menor prazo. Assim, os trabalhos da Amazônia apontam uma tensão clara entre eficácia ecológica, retorno econômico e viabilidade operacional.

Na Caatinga, a literatura analisada mostra um quadro distinto, em que a limitação hídrica e a irregularidade climática tornam menos realista depender exclusivamente de estratégias de alta exigência de insumos. Lima et al. (2024) demonstraram que a exclusão do pastoreio melhora a densidade do solo e o carbono orgânico ao longo de 21 anos, enquanto Oliveira Neto et al. (2018) obtiveram aumento expressivo de massa de forragem ao combinar exclusão do pastoreio com fertilização fosfatada. Esses estudos sugerem que, no semiárido, o descanso da área e o controle da pressão de pastejo são centrais para a recuperação, mas podem produzir respostas superiores quando associados a correções específicas da fertilidade. Ao mesmo tempo, Souza et al. (2024) indicam que aditivos orgânicos podem acelerar a recuperação da fertilidade, o que os torna particularmente relevantes em ambientes onde a resposta natural tende a ser lenta.

Também na Caatinga, os trabalhos de Lucena et al. (2021) e Oliveira et al. (2020) ampliam essa discussão ao mostrar que raleamento e enriquecimento com sistemas agroflorestais não apenas favorecem a cobertura vegetal e a estrutura do solo, mas também agregam função ecológica e potencial socioeconômico. Isso é importante porque desloca a recuperação de uma lógica puramente corretiva para uma lógica de reorganização do sistema produtivo. No entanto, a própria literatura do seu levantamento deixa claro que a regeneração natural, embora eficaz para estoques de carbono e recuperação ecológica, como observado por Silva et al. (2024),

demanda tempo prolongado. Na prática, isso significa que, para a Caatinga, estratégias baseadas exclusivamente em regeneração podem ser insuficientes quando o produtor precisa recompor rapidamente a capacidade de uso da área.

No Cerrado, a discussão precisa considerar que a degradação está fortemente associada à baixa fertilidade, à sazonalidade e à substituição de espécies nativas por gramíneas exóticas. Nesse contexto, Benedito et al. (2017) mostraram que sistemas agroflorestais elevam biomassa e ciclagem de nutrientes, enquanto Selari et al. (2021) relataram recuperação da microbiota do solo com integração lavoura-pecuária. Esses resultados sugerem que, assim como na Amazônia, os sistemas integrados tendem a produzir respostas mais completas do que intervenções isoladas, porque restauram processos ecológicos e melhoram o funcionamento do solo. Em contrapartida, Oliveira et al. (2019) mostram que o uso de siligesso melhora a fertilidade e aumenta a massa seca, evidenciando que a correção química continua sendo relevante, mas não resolve, sozinha, as perdas estruturais e biológicas da degradação.

Outro ponto importante no Cerrado é que parte dos trabalhos não discute apenas recuperação, mas também diagnóstico e priorização das áreas. Andrade et al. (2017) destacam a utilidade de geotecnologias e de índices como NDVI para identificar hotspots e áreas críticas. Isso é relevante porque, em um bioma com grande extensão territorial e forte heterogeneidade ambiental, monitorar bem pode ser tão importante quanto escolher a técnica de recuperação. Além disso, D'Angioli et al. (2022) e Pilon & Durigan (2017) apontam que a reintrodução de espécies nativas pode favorecer a recomposição ecológica, mas esbarra em dificuldades como disponibilidade de sementes e custos elevados. Já Cava et al. (2018) demonstram que a restauração passiva é possível, porém lenta, podendo levar décadas. Assim, no Cerrado, os estudos convergem para uma ideia central: recuperar não é apenas corrigir fertilidade, mas reconstituir funcionalidade ecológica em um sistema marcado por sazonalidade e perda de biodiversidade.

Na Mata Atlântica, os artigos analisados mostram uma interação particularmente forte entre degradação produtiva e degradação ecológica, já que a fragmentação da vegetação, a presença de invasoras e a pressão antrópica intensificam os efeitos do manejo inadequado. Pinheiro et al. (2020) verificaram que biofertilizantes, como ácidos húmicos e bactérias diazotróficas,

aumentam carbono orgânico total, absorção de nutrientes e produtividade da forragem, sugerindo que o componente biológico do solo é decisivo para a recuperação. Em direção semelhante, Fabrice et al. (2015) mostram que o uso de leguminosas contribui para elevar biomassa e melhorar os estoques de carbono e nitrogênio, o que reforça a importância de estratégias que combinem restauração produtiva com melhoria da fertilidade biológica.

Ainda nesse bioma, Laurindo et al. (2023) e Martins et al. (2019) mostram que os sistemas agroflorestais favorecem a diversidade micorrízica, a fauna do solo e a saúde edáfica, embora seus benefícios possam ser limitados por espécies invasoras e pelos custos de implantação. Já Koryś et al. (2021) observaram recuperação lenta mesmo sob restauração ativa, o que sugere que, em áreas mais degradadas ou ecologicamente simplificadas, o retorno funcional do sistema pode exigir maior tempo e manejo contínuo. Isso diferencia a Mata Atlântica de uma leitura excessivamente produtivista da recuperação: não basta recuperar biomassa ou lotação; em muitos casos, é necessário restaurar processos ecológicos mais profundos, especialmente em paisagens fragmentadas.

Comparando os quatro biomas, os artigos do seu levantamento permitem identificar um padrão consistente: sistemas integrados e agroflorestais aparecem como as estratégias mais completas, porque tendem a combinar ganhos produtivos, melhoria da fertilidade, aumento da biodiversidade e recuperação da qualidade do solo. Isso aparece na Amazônia com Rego et al. (2023) e Santana et al. (2023), no Cerrado com Benedito et al. (2017) e Selari et al. (2021), na Caatinga com Oliveira et al. (2020) e, na Mata Atlântica, com Laurindo et al. (2023) e Martins et al. (2019). Ao mesmo tempo, os estudos também deixam claro que essas alternativas são justamente as mais exigentes em investimento inicial, assistência técnica e capacidade de manejo. Portanto, a maior eficácia potencial não significa maior facilidade de adoção.

Em contraste, estratégias como regeneração natural, pousio e exclusão do pastoreio aparecem como opções ecologicamente relevantes e financeiramente mais acessíveis, mas quase sempre associadas a respostas mais lentas. Isso foi observado na Amazônia por Pedrinho et al. (2020), na Caatinga por Silva et al. (2024) e Almeida et al. (2017), e no Cerrado por Cava et al. (2018).

Assim, a literatura analisada não sustenta a ideia de uma técnica universalmente superior.

O que ela mostra é que a escolha da estratégia depende do equilíbrio entre urgência produtiva, nível de degradação, condições ambientais e capacidade de investimento do produtor.

Referencias

Alcântara, L.C. de; Rosset, J.S.; Neves, I. et al. (2024). Effect of soil management on carbon stock and soil aggregation in an area of natural regeneration and surrounding systems in the Atlantic Forest biome. *Revista Ambiente & Água*, 19, p. 1-22. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2987>

Almada, H.K.; Macedo, M.N.; Lenza, E. et al. (2024). Indigenous lands and conservation units slow down non-GHG climate change in the Cerrado-Amazon ecotone. *Perspectives in Ecology and Conservation*, 22, p. 177-185. <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2024.03.002>

Almeida, C.L.D.; Araújo, J.C.D.; Costa, M.C.G. et al. (2017). Fallow reduces soil losses and increases carbon stock in Caatinga. *Floresta e Ambiente*, 24, p. 1-10. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.017516>

Almeida, M. B. F. de; Simões, M.; Ferraz, R. P. D. et al. (2023). Avaliação e mapeamento de pastagens com diferentes níveis de degradação a partir de classificação digital de imagens sentinel-2, por meio do algoritmo random forest: estudo de caso de Valença/RJ e arredores. *REVISTA FOCO*, 16. <https://doi.org/10.54751/revistafoco.v16n6-004>

Alves, A. C. das N.; Barros, J. D.; Arcoverde, G. F. B. et al. (2023). Análise Espacial Integrada da Degradação da Terra no Submédio São Francisco, Brasil: Integrated Spatial Analysis of Land Degradation in Submedium São Francisco Basin, Brazil. *Revista de Geociências do Nordeste*, 9, p. 183-202, 2023. <https://doi.org/10.21680/2447-3359.2023v9n2ID33877>

Andrade, E. M. de. (2017). A floresta tropical seca, caatinga: As certezas e incertezas das águas. *TRIM: Tordesillas, revista de investigación multidisciplinar*, 12, p. 11-20.

Andrade, R. G.; Bolfe, E. L.; Victoria, D. de C. et al. (2017). Avaliação das condições de pastagens no cerrado brasileiro por meio de geotecnologias. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável*, 7, p. 34-41. <https://doi.org/10.21206/rbas.v7i1.376>

Antoneli, V.; Rebinski, E. A.; Bednarz, J. A. et al. (2018). Soil erosion induced by the introduction of new pasture species in a faxinal farm of Southern Brazil. *Geosciences*, 8, p. 1-16. <https://doi.org/10.3390/geosciences8050166>

Benedito, B.P.C.; Souza, P.A. de; Pereira, M.A. et al. (2017). Diagnóstico ambiental e proposição de uso de SAF para área de pastagem degradada. *GeoAmbiente On-line*, 19, p. 1-12. <https://doi.org/10.5216/revgeoamb.v0i29.42599>

Bonini, C.D.S.B.; Maciel, T.M.D.S.; Moreira, B.R.D.A. et al. (2023). Long-Term Integrated Systems of Green Manure and Pasture Significantly Recover the Macrofauna of Degraded Soil in the Brazilian Savannah. *Soil Systems*, 7, p. 1-12.

<https://doi.org/10.3390/soilsystems7020056>

Caballero, C. B.; Biggs, T. W.; Vergopolan, N. et al. (2020). Transformation of Brazil's biomes: The dynamics and fate of agriculture and pasture expansion into native vegetation. *Science of the Total Environment*, 896, p. 1-23, 2023.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166323>

Campos, J.O. & Lima, V.R.P. de (2020). Proposta de Zoneamento Ambiental para o Parque Estadual Mata do Pau Ferro, Paraíba, Brasil. *Physis Terrae-Revista Ibero-Afro-Americana de Geografia Física e Ambiente*, 2, p. 19-46. <https://doi.org/10.21814/physisterrae.2425>

Cândido, A.C.T.F.; Silva, T.A. da; Cândido, B.U.F. et al. (2024). Carbon and Methane as Indicators of Environmental Efficiency of a Silvopastoral System in Eastern Amazon, Brazil. *Sustainability*, 16, p. 25-47. <https://doi.org/10.3390/su16062547>

Carvalho, J.N.D.; Beckmann-Cavalcante, M.Z.; Rodrigues, R.G. et al. (2022). Native caatinga species for the recovery of degraded areas in the Brazilian semiarid region. *Revista Árvore*, 46, p. 1-10. <https://doi.org/10.1590/1806-908820220000010>

Castellini, M.; Diacono, M.; Gattullo, C.E. et al. (2021). Sustainable agriculture and soil conservation. *Applied Sciences*, 11, n. 9, p. 41-46. <https://doi.org/10.3390/app11094146>

Cava, M.G.B.; Pilon, N.A.L.; Ribeiro, M.C. et al. (2018). Abandoned pastures cannot spontaneously recover the attributes of old-growth savannas. *Journal of Applied Ecology*, 55, p.1164-1172. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13046>

Conceição, L.F. da; Rocha, H.R.; Navarrete, N.V. et al. (2024). Interannual Variability of Water and Heat Fluxes in a Woodland Savanna (Cerrado) in Southeastern Brazil: Effects of Severe Drought and Soil Moisture. *Atmosphere*, 15, 6, p. 66-68. <https://doi.org/10.3390/atmos15060668>

Correia, J. B.; Santos, A. B. C.; Martins, R. C. et al (2024). Amazon Transition-Cerrado: Agricultural Frontier and Sustainability in The State of Mato Grosso, Brazil. *Revista de Gestão Social e Ambiental*, 18, p. 1-15. <https://doi.org/10.24857/rgsa.v18n1-149>

Cruz, N.T.; Dias, D.L.S.; Fries, D.D. et al. (2022). Alternatives for the recovery and renewal of degraded pastures. *Pesquisa Agropecuária Gaúcha*, 28, p. 15-35. <https://doi.org/10.36812/pag.202228115-35>

D'angioli, A.M.; Giles, A.L.; Costa, P.B. et al. (2022). Abandoned pastures and restored

savannas have distinct patterns of plant–soil feedback and nutrient cycling compared with native Brazilian savannas. *Journal of Applied Ecology*, 59, p. 1863-1873. <https://doi.org/10.3390/rs14205120>

Fabrice, C.E.S.; Soares Filho, C.V.; Pinto, M.F. et al. (2015). Recuperação de pastagens de *Brachiaria decumbens* degradada com introdução de *Stylosanthes* e adubação fosfatada. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, 16, p. 758-771. <https://doi.org/10.1590/S1519-99402015000400001>

Ferreira, C.D.; Souto, P.C.; Lucena, D.S. et al. (2014). Florística do banco de sementes no solo em diferentes estágios de regeneração natural de Caatinga. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 9, p. 562-569. <https://doi.org/10.5039/agraria.v9i4a4497>

Freitas, A.S.D.; Zagatto, L.F.G.; Rocha, G.S. et al. (2023). Amazonian dark earths enhance the establishment of tree species in forest ecological restoration. *Frontiers in Soil Science*, 3, p. 116-127. <https://doi.org/10.3389/fsoil.2023.1161627>

Gianetti, G. W. & Ferreira Filho, J. B. de S. (2024). Pasture recovery, emissions, and the Brazilian Paris agreement commitments. *Land Use Policy*, 141, p. 107-118, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2024.107118>

GUAYASAMIN, J. M.; RIBAS, C. C.; CARNAVAL, A. C.; CARRILLO, J. D.; HOORN, C.; LOHMANN, L. G.; RIFF, D.; ULLOA, C. U.; ALBERT, J. S. Evolution of Amazonian biodiversity: A review. *Acta Amazonica*, v. 54, n. spe1, p. e54bc21360, 2024.

Han, X.; Li, Y.; Du, X. et al. (2020). Effect of grassland degradation on soil quality and soil biotic community in a semi-arid temperate steppe. *Ecological Processes*, 9, p. 1-11, 2020. Effect of grassland degradation on soil quality and soil biotic community in a semi-arid temperate steppe.

IBGE - Instituto Brasileira de Geografia e Estatística (2023). *Banco de Dados e Informações Ambientais*. Disponível em: <https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/consulta/vegetacao>. Acesso em: 25 Nov. 2024.

Koryś, K.A.; Latawiec, A.E.; Mendes, M.S. et al. (2021). Early response of soil properties under different restoration strategies in tropical hotspot. *Land*, 10, p. 57-68. <https://doi.org/10.3390/land10080768>

Lapola, D.M.; Pinho, P.; Barlow, J. et al. (2023). The drivers and impacts of Amazon forest degradation. *Science*, 379, p. 1-22. <https://doi.org/10.1126/science.abp8622>

Laurindo, L.K.; Souza, T.; Silva, L.J.R. da et. al. (2023). Comunidade micorrízica em arbóreas nativas aplicadas na recuperação de áreas degradadas por *Pinus taeda* L. *Revista Valore*, 8, p. 15-24. <https://doi.org/10.22408/rev802023113415-24>

- Lima, A.Y.V.; Cherubin, M.R.; Silva, D.F. da et al. (2024). Grazing exclusion restores soil health in Brazilian drylands under desertification process. *Applied Soil Ecology*, 193, p. 105-107. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2023.105107>
- Lucena, R.L.; Ferrer, É.; Guilhermino, M.M. (2021). Mitigando os riscos da seca através de ações de recuperação e preservação do bioma caatinga no semiárido brasileiro. *Brazilian Journal of Development*, 7, p. 36546-36557. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n4-221>
- Luna, R.G.D.; Luna, J.G.D.; Andrade, A.P.D. et al. (2019). Biomassa e atividade microbianas em áreas de caatinga sob diferentes densidades de caprinos. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, 6, p. 217-250. <https://doi.org/10.21438/rbgas.061218>
- Lyu, X.; Li, X.; Dang, D. et al. (2022). Perspective on the impact of grassland degradation on ecosystem services for the purpose of sustainable management. *Remote Sensing*, 14, n. 20, p. 1-21, 2022. <https://doi.org/10.3390/rs14205120>
- Martins, E.M.; Silva, E.R.D.; Campello, E.F.C. et al. (2019). O uso de sistemas agroflorestais diversificados na restauração florestal na Mata Atlântica. *Ciência Florestal*, 29, p. 632-648. <https://doi.org/10.5902/1980509829050>
- Mazzetto, A.M.; Barneze, A.S.; Feigl, B.J. et al. (2016). Nitrogen fertilizer effects on nitrous oxide emission from southwest Brazilian Amazon pastures. *Journal of Fertilizers & Pesticides*, 7, p.1-12. <https://doi.org/10.4172/2471-2728.1000167>
- Oliveira, L.S. de; Souza, J.N.; Reis, J.O. dos et al. (2020). Espécies vegetais com potenciais usos para implantação de sistemas agroflorestais (SAF) em regiões de Caatinga. *Cadernos de Agroecologia*, v. 15, n. 2, p.1-20.
- Oliveira Neto, P.M.D.; Cunha, M.V.D.; Oliveira, E.J.D. et al. (2018). Dynamics of herbaceous vegetation in Caatinga manipulated with grazing exclusion under phosphate fertilization. *Revista Caatinga*, 31, p. 1027-1039. <https://doi.org/10.1590/1983-21252018v31n426rc>
- Oliveira, T.P. de; Flores, H.L.; Melo, S.P. de. (2019). Uso de siligesso 70® na recuperação de pastagem degradada de capim-marandu na região do cerrado. *Revista Panorâmica online*, 3, p.1-19.
- Pedrinho, A.; Mendes, L.W.; Merloti, L.F. et al. (2020). The natural recovery of soil microbial community and nitrogen functions after pasture abandonment in the Amazon region. *FEMS Microbiology Ecology*, 96, 9, p. 1-9. <https://doi.org/10.1093/femsec/fiaa149>
- Pilon, N.A.L. & Durigan, G.E.B. (2017). Restoring Brazilian savanna ground layer vegetation by topsoil and hay transfer. *Research Ecology*, 26, p.73-81. <https://doi.org/10.1111/rec.12534>

Pinheiro, P.L.; Passos, R.R.; Peçanha, A.L. et al. (2020). Application of biofertilizer in degraded pasture modified C dynamics and improved forage yield in a short-term period at the tropical region. *Australian Journal of Crop Science*, 14, p. 1889-1897.

<https://doi.org/10.21475/ajcs.20.14.12.2666>

Ravi, S.; D'odorico, P.; Collins, S.L. et al. (2009). Can biological invasions induce desertification?. *New Phytologist*, p. 512-515, 2009. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2009.02736.x>

Rego, C.A.R.D.M.; Oliveira, P.S.R.D.; Muniz, L.C. et al. (2023). Physical and biological properties of soil with pastures recovered by integration crop-livestock system in Eastern Amazon. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 47, p. 1-22.

<https://doi.org/10.36783/18069657rbs20220094>

Rocha Júnior, P.R. da; Donagemma, G.K.; Andrade, F.V. et al. (2017). Field-based quality indicators in degraded pasture of the Atlantic forest biome. *Australian Journal of Crop Science*, 11, p. 652-661. <https://doi.org/10.21475/ajcs.17.11.06.p326>

Santana, A.C. de; Santana, Á. L. de; Oliveira, M. T. da S. de et al. (2023). Bioeconomic evaluation of an agroforestry system and the potential to recover degraded areas and capitalize producers in the state of Pará, Brazilian Amazon. *Desenvolvimento Meio Ambiente*, 61, p. 439-455. <https://doi.org/10.5380/dma.v61i0.80516>

Santos, C.A. dos; Krawulski, C.C.; Bini, D. et al. (2015). Reclamation status of a degraded pasture based on soil health indicators. *Scientia Agricola*, 72, p. 195-202.

<https://doi.org/10.1590/0103-9016-2013-0274>

Selari, P.J.R.G.; Olchanheski, L.R.; Ferreira, A.J. et al. (2021). Short-term effect in soil microbial community of two strategies of recovering degraded area in Brazilian Savanna: A pilot case study. *Frontiers in microbiology*, v. 12, p. 1-14.

<https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.661410>

Silva, L.F.D.S.; Pessoa, L.G.M.; Silva, E M.D. et al. (2024). Changes in Soil C, N, and P Concentrations and Stocks after Caatinga Natural Regeneration of Degraded Pasture Areas in the Brazilian Semiarid Region. *Sustainability*, 16, p. 23-37.

<https://doi.org/10.3390/su16208737>

Souza, H.A. de; Guedes, F.L.; Pompeu, R.C.F.F. et al. (2024). Combination of organic amendments as a soil recovering strategy at a desertification hotspot in the Brazilian semiarid. *Land Degradation & Development*, 35, p. 534-548. <https://doi.org/10.1002/ldr.4935>

Teixeira, P. E. G.; Fernandes, A.R.; Galvão, J.R. et al. (2014). Fosfato de Arad, NPK e calagem na cultura do milho em área de pastagem degradada. *Revista Caatinga*, 27, p. 124-

131, 2014.

Financiamento: Este trabalho não recebeu nenhum financiamento.

Conflitos de interesse: Todos os autores declaram não haver conflito de interesses.

Aprovação do comitê de ética: Não aplicável.

Disponibilidade dos dados de pesquisa: Não se aplica a este estudo. Nenhum conjunto de dados foi gerado ou analisado.

Contribuição dos autores: Idealização: Ribeiro, O. L.; Costa, E. I. S.; Silva, M. V. P. Curadoria de dados: Silva, M. V. P. Metodologia: Silva, M. V. P.; Ribeiro, O. L.; Costa, E. I. S. Investigação: Silva, M. V. P. Análise formal: Silva, M. V. P.; Ribeiro, O. L.; Costa, E. I. S. Redação do manuscrito: Silva, M. V. P. Revisão e edição: Ribeiro, O. L.; Costa, E. I. S.