

INFLUÊNCIA DOS SISTEMAS AGROECOLÓGICOS NA RECUPERAÇÃO DE SOLOS DEGRADADOS

**INFLUENCE OF AGROECOLOGICAL SYSTEMS ON THE RECOVERY OF
DEGRADED SOILS**

Ciências Agrárias • 11/09/2026

REGISTRO DOI: [10.70773/revistatopicos/789071894](https://doi.org/10.70773/revistatopicos/789071894)

Giselle Silva de Souza¹

Adrielly Oliveira de Albuquerque²

Moisés Silva de Mendonça Júnior³

Aline dos Santos Curto⁴

Matheus Hudson Delfino do Nascimento⁵

Tácio Henrique de Queiroz Vitorino⁶

Wyliane Rafaela Amaral da Silva⁷

Carlos Victor Gomes dos Santos⁸

Darlan Ferreira da Silva⁹

Janaina Pereira Lima¹⁰

Maria Leane da Silva¹¹

Maria Laiane da Silva¹²

RESUMO

Este estudo teve como objetivo analisar a influência dos sistemas agroecológicos na recuperação de solos degradados, considerando seus efeitos sobre os atributos físicos, químicos e biológicos do solo, as principais práticas empregadas, os benefícios associados e os desafios para sua implementação. Para tanto, foi realizada uma revisão sistemática da literatura, de abordagem qualitativa e caráter descritivo, conduzida em 2026, conforme as recomendações do protocolo PRISMA. As buscas foram realizadas nas bases SciELO, Scopus, Web of Science e Portal de Periódicos CAPES, contemplando artigos científicos publicados entre 2021 e 2026, nos idiomas português, inglês e espanhol. Foram selecionados estudos relacionados à adoção de práticas agroecológicas, incluindo culturas de cobertura, rotação e diversificação de culturas, consórcios, sistemas agroflorestais, manejo conservacionista e utilização de matéria orgânica. A análise da literatura evidenciou que os sistemas agroecológicos apresentam efeitos favoráveis sobre a qualidade do solo, promovendo melhorias na estabilidade de agregados, porosidade, infiltração e armazenamento de água, bem como incrementos nos teores de matéria orgânica, carbono orgânico e disponibilidade de nutrientes. No âmbito biológico, destacaram-se o aumento da biomassa e atividade microbiana, da atividade enzimática e da diversidade da biota edáfica. Entre as estratégias avaliadas, a manutenção da cobertura vegetal, a diversificação de espécies, os sistemas agroflorestais e a redução do revolvimento apresentaram relevante potencial para a recuperação das funções do solo. Entretanto, os resultados são condicionados por fatores edafoclimáticos, histórico de uso, duração do manejo e integração das práticas adotadas. Conclui-se que os sistemas agroecológicos constituem uma abordagem promissora para a recuperação de solos degradados, contribuindo para o restabelecimento de suas

funções ecológicas, o fortalecimento da resiliência dos agroecossistemas e a promoção da sustentabilidade agrícola.

Palavras-chave: Agroecologia; Qualidade do solo; Recuperação de solos; Manejo sustentável; Sustentabilidade agrícola.

ABSTRACT

This study aimed to analyze the influence of agroecological systems on the recovery of degraded soils, considering their effects on the physical, chemical, and biological attributes of soil, the main practices employed, the associated benefits, and the challenges related to their implementation. A systematic literature review with a qualitative and descriptive approach was conducted in 2026, following the recommendations of the PRISMA protocol. The literature search was performed in the SciELO, Scopus, Web of Science, and CAPES Journal Portal databases, considering scientific articles published between 2021 and 2026 in Portuguese, English, and Spanish. Studies addressing agroecological practices, including cover crops, crop rotation and diversification, intercropping, agroforestry systems, conservation management, and organic matter management, were selected. The analysis of the literature demonstrated that agroecological systems have positive effects on soil quality, promoting improvements in aggregate stability, porosity, water infiltration and storage, as well as increases in soil organic matter, organic carbon, and nutrient availability. Regarding biological attributes, increases in microbial biomass and activity, enzymatic activity, and soil biota diversity were highlighted. Among the strategies evaluated, maintaining soil cover, diversifying plant species, adopting agroforestry systems, and reducing soil disturbance showed considerable potential for restoring soil functions. However, the effectiveness of these practices is influenced by edaphoclimatic conditions, land-use history, management

duration, and the integration of different practices. It is concluded that agroecological systems represent a promising approach for the recovery of degraded soils, contributing to the restoration of ecological functions, strengthening agroecosystem resilience, and promoting agricultural sustainability.

Keywords: Agroecology; Soil quality; Soil recovery; Sustainable management; Agricultural sustainability.

1. INTRODUÇÃO

O solo constitui um dos principais componentes dos ecossistemas terrestres, desempenhando funções essenciais para a produção de alimentos, a ciclagem de nutrientes, a regulação hídrica, o armazenamento de carbono e a manutenção da biodiversidade. Entretanto, o uso inadequado da terra e a intensificação das atividades agrícolas têm contribuído para diferentes processos de degradação, incluindo erosão, compactação, perda de matéria orgânica e redução da atividade biológica. Esses processos comprometem a qualidade do solo e sua capacidade de desempenhar funções ecológicas e produtivas (FAO, 2020; Shokri *et al.*, 2025).

A intensificação dos sistemas agrícolas convencionais pode provocar alterações nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo. O revolvimento frequente, a baixa diversidade de culturas e a redução do aporte de resíduos orgânicos podem afetar a estrutura do solo, a disponibilidade de nutrientes, os estoques de carbono e a biodiversidade edáfica. Estudos recentes demonstram que mudanças no uso e no manejo da terra estão associadas a alterações significativas nas comunidades de organismos do solo, reforçando a

necessidade de estratégias integradas de conservação e recuperação (Zhang *et al.*, 2024).

Nesse contexto, a agroecologia destaca-se como uma abordagem baseada na aplicação de princípios ecológicos ao planejamento e manejo dos sistemas agrícolas. A diversificação de culturas, a rotação e o consórcio, o uso de plantas de cobertura, a adubação verde, a incorporação de matéria orgânica e a redução do revolvimento constituem práticas capazes de favorecer processos ecológicos e melhorar as condições do solo. Essas estratégias podem ampliar a ciclagem de nutrientes, aumentar o aporte de biomassa e contribuir para a recuperação gradual dos atributos físicos, químicos e biológicos (Wezel *et al.*, 2020; Maienza *et al.*, 2025).

A diversificação dos agroecossistemas também apresenta potencial para favorecer a biodiversidade e a prestação de serviços ecossistêmicos. A presença de diferentes espécies vegetais proporciona maior diversidade de sistemas radiculares e de resíduos orgânicos, além de criar condições mais favoráveis para organismos associados ao solo. Práticas como o uso de culturas de cobertura, a aplicação de fertilizantes orgânicos e sistemas de manejo menos intensivos podem favorecer diferentes grupos da biota edáfica, contribuindo para a manutenção da funcionalidade dos agroecossistemas (Schmidt *et al.*, 2024; Zhang *et al.*, 2025).

Além dos efeitos sobre a qualidade do solo, os sistemas agroecológicos podem contribuir para o aumento da resiliência dos sistemas produtivos diante das mudanças climáticas. A manutenção da cobertura do solo, o aumento da matéria orgânica e a diversificação vegetal podem favorecer a conservação da água, reduzir processos erosivos e contribuir para o armazenamento de

carbono. Nesse sentido, práticas agroecológicas são reconhecidas como estratégias capazes de promover benefícios relacionados à adaptação climática, à conservação dos recursos naturais e à sustentabilidade dos sistemas alimentares (IPCC, 2022; AGUILERA *et al.*, 2025).

Apesar de seu potencial, a recuperação de solos degradados por meio de sistemas agroecológicos pode apresentar resultados distintos conforme as características do ambiente, o histórico de uso da área, a duração das práticas e o conjunto de estratégias adotadas. Além disso, a transição para sistemas mais sustentáveis pode envolver limitações relacionadas à disponibilidade de assistência técnica, aos investimentos iniciais e à necessidade de conhecimentos específicos. A literatura recente também evidencia a existência de lacunas relacionadas à avaliação de longo prazo e à integração de indicadores físicos, químicos e biológicos na determinação da qualidade do solo (MAIENZA *et al.*, 2025).

Diante desse cenário, torna-se relevante sistematizar as evidências científicas acerca da contribuição dos sistemas agroecológicos para a recuperação de solos degradados. O objetivo deste estudo foi analisar, por meio de uma revisão sistemática da literatura, a influência dos sistemas agroecológicos na recuperação de solos degradados, considerando seus efeitos sobre os atributos físicos, químicos e biológicos do solo, as principais práticas utilizadas, os benefícios associados e os desafios para sua implementação. Para isso, foram consideradas publicações científicas recentes, selecionadas e analisadas segundo as recomendações do protocolo PRISMA, buscando sintetizar os principais avanços, lacunas e perspectivas relacionados à utilização da agroecologia na recuperação e conservação dos solos.

2. METODOLOGIA

A presente pesquisa caracteriza-se como uma revisão sistemática da literatura, de abordagem qualitativa e caráter descritivo, desenvolvida com o objetivo de identificar, analisar e sintetizar estudos científicos relacionados à influência dos sistemas agroecológicos na recuperação de solos degradados. A escolha desse método possibilitou reunir evidências científicas recentes sobre as principais práticas agroecológicas empregadas na recuperação da qualidade física, química e biológica do solo, bem como seus efeitos na sustentabilidade dos sistemas de produção agrícola.

Para orientar o processo de identificação, seleção e análise dos estudos, foram consideradas as recomendações do PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*), conforme atualização apresentada por Page *et al.* (2021). A utilização dessas diretrizes permitiu organizar as etapas da revisão de maneira sistemática, compreendendo a identificação dos registros, remoção de duplicatas, triagem por títulos e resumos, avaliação dos textos completos e definição dos estudos incluídos na análise final.

A busca bibliográfica foi realizada em 2026, priorizando artigos científicos publicados nos últimos cinco anos, compreendendo o período de 2021 a 2026. Foram consultadas as bases SciELO, Scopus, Web of Science e Portal de Periódicos CAPES, selecionadas por reunirem publicações nacionais e internacionais relacionadas às Ciências Agrárias, Ciência do Solo, Agroecologia, Sustentabilidade e Manejo Conservacionista dos Solos.

Para a identificação dos trabalhos, foram utilizados descritores em português e inglês relacionados ao objeto da pesquisa, entre eles: “agroecologia”, “sistemas agroecológicos”, “solos degradados”, “recuperação do solo”, “qualidade do solo”, “manejo sustentável do solo”, “*agroecology*”, “*agroecological systems*”, “*degraded soils*”, “*soil restoration*”, “*soil recovery*”, “*soil quality*” e “*sustainable soil management*”. Os descritores foram combinados por meio dos operadores booleanos AND e OR, de acordo com as características de cada base de dados, buscando ampliar a recuperação de estudos relacionados à recuperação de solos degradados por meio de práticas agroecológicas.

Como critérios de inclusão, foram considerados artigos científicos publicados entre 2021 e 2026, disponíveis na íntegra, em português, inglês ou espanhol, que apresentassem relação direta com sistemas agroecológicos aplicados à recuperação de solos degradados. Também foram incluídos estudos que abordassem práticas como adubação verde, rotação e consórcio de culturas, sistemas agroflorestais, cobertura vegetal, plantio direto, compostagem, uso de bioinsumos e outras estratégias voltadas à melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, bem como pesquisas que analisassem indicadores de qualidade do solo, conservação ambiental e sustentabilidade agrícola.

Foram excluídos trabalhos duplicados, publicações anteriores ao período estabelecido, estudos sem acesso ao texto completo e artigos cujo objeto de investigação não apresentasse relação direta com os objetivos desta pesquisa. Também foram retirados trabalhos que abordassem exclusivamente sistemas agrícolas convencionais, sem enfoque em práticas agroecológicas ou recuperação de áreas degradadas. Documentos não caracterizados como artigos

científicos, como resumos de eventos, trabalhos de conclusão de curso, dissertações, teses e materiais de divulgação, não foram considerados na composição final da revisão.

O processo de seleção foi organizado de acordo com as etapas do protocolo PRISMA. Inicialmente, os registros encontrados nas bases foram reunidos e submetidos à identificação de duplicatas. Posteriormente, realizou-se a leitura dos títulos e resumos para verificar sua compatibilidade com o objetivo da pesquisa. Os estudos considerados potencialmente elegíveis foram avaliados mediante leitura do texto completo, aplicando-se os critérios de inclusão e exclusão previamente estabelecidos. Ao final desse procedimento, foram selecionados os artigos que constituíram o conjunto documental utilizado na revisão.

Após a seleção final, os artigos foram submetidos à leitura integral e à análise qualitativa de seu conteúdo. Foram extraídas informações referentes ao ano de publicação, país ou região de realização do estudo, sistema agroecológico avaliado, tipo de degradação do solo, práticas de recuperação empregadas, indicadores de qualidade do solo analisados, principais resultados obtidos e contribuições para a sustentabilidade ambiental e produtiva. Os resultados foram organizados em categorias temáticas, permitindo comparar as diferentes estratégias agroecológicas utilizadas e sua eficiência na recuperação dos solos degradados.

A análise foi estruturada principalmente em dois eixos: (i) processos de degradação do solo e seus impactos sobre os sistemas agrícolas e os ecossistemas; e (ii) contribuição dos sistemas agroecológicos para a recuperação da qualidade do solo e para a promoção da sustentabilidade ambiental. A partir dessa organização, buscou-se

compreender de que maneira práticas agroecológicas contribuem para a restauração das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, favorecendo o aumento da matéria orgânica, da biodiversidade edáfica, da fertilidade e da estabilidade dos agroecossistemas. As informações sistematizadas subsidiaram a construção do referencial teórico e a discussão dos resultados apresentados neste estudo

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES OU ANÁLISE DOS DADOS

3.1. Influência dos Sistemas Agroecológicos nos Atributos Físicos do Solo

Os sistemas agroecológicos podem promover alterações importantes na qualidade física do solo por combinarem práticas como diversificação de espécies, manutenção da cobertura vegetal, redução do revolvimento, aporte contínuo de resíduos orgânicos e integração de componentes arbóreos. Essas estratégias interferem diretamente na formação e estabilização de agregados, na distribuição do espaço poroso e na resistência do solo aos processos de compactação e erosão. Em sistemas agroflorestais de base agroecológica, por exemplo, têm sido observadas melhorias principalmente na distribuição de poros, agregação e floculação das partículas, aproximando determinadas propriedades das condições encontradas em ambientes com menor grau de perturbação (Santos *et al.*, 2023). Em escala mais ampla, revisões recentes também demonstram que práticas associadas à agricultura orgânica e ao uso de culturas de cobertura favorecem atributos relacionados à estrutura e ao funcionamento físico-hídrico do solo, embora a magnitude da resposta varie entre ambientes e sistemas de manejo (Hao *et al.*, 2023; Blanco-Canqui *et al.*, 2024).

Entre os atributos mais responsivos ao manejo agroecológico destaca-se a estabilidade de agregados. A presença permanente de raízes, a deposição de serapilheira e resíduos culturais e a maior atividade biológica favorecem a formação de agentes cimentantes e a organização das partículas em agregados mais estáveis, tornando o solo menos suscetível à desagregação provocada pelo impacto das gotas de chuva e, conseqüentemente, à erosão. Em sistemas orgânicos, uma revisão global mostrou aumento da estabilidade de agregados em água em mais da metade das comparações com sistemas convencionais, com respostas positivas especialmente associadas ao uso continuado de materiais orgânicos (Blanco-Canqui *et al.*, 2024). Resultados semelhantes são encontrados com culturas de cobertura: uma meta-análise envolvendo 225 estudos verificou aumento médio de 15,9% na quantidade de agregados estáveis em água, além de incremento de 6,1% na porosidade total (Yan; Arthur, 2025). Em sistemas agroflorestais, a diversidade vegetal e a manutenção de cobertura orgânica também têm proporcionado condições favoráveis à agregação e à estruturação do solo (Santos *et al.*, 2023).

A melhoria da estrutura repercute diretamente na dinâmica da água no perfil do solo. Sistemas caracterizados por cobertura permanente e reduzida mobilização tendem a preservar poros contínuos formados pelo crescimento e decomposição das raízes e pela atividade da fauna edáfica, favorecendo infiltração, redistribuição e armazenamento de água. A meta-análise de Yan e Arthur (2025) demonstrou que as culturas de cobertura elevaram a infiltração de água em aproximadamente 37,2%, além de reduzirem em 11,8% a resistência à penetração. De maneira complementar, a revisão sistemática de Hao *et al.* (2023) identificou benefícios das plantas de cobertura sobre a estrutura e o fluxo de água no solo, embora

ressalte que textura, clima, precipitação e duração do manejo interferem na intensidade das respostas. A agricultura orgânica também apresentou aumento da condutividade hidráulica saturada e da água disponível às plantas em mais da metade dos estudos avaliados, evidenciando o potencial dessas estratégias para elevar a capacidade do solo de receber e armazenar água (Blanco-Canqui *et al.*, 2024).

Entretanto, a influência dos sistemas agroecológicos sobre densidade do solo e resistência à penetração deve ser interpretada com cautela, pois esses atributos não apresentam resposta uniforme. A revisão de Blanco-Canqui *et al.* (2024) verificou que a agricultura orgânica não alterou significativamente a densidade em 52% dos estudos, enquanto 45% registraram reduções, demonstrando forte dependência das práticas adotadas. De modo semelhante, durante a transição para sistemas conservacionistas, a ausência ou redução do preparo pode provocar aumento temporário da densidade e da resistência em determinadas camadas, ao mesmo tempo em que melhora propriedades hidráulicas e reduz limitações físicas em outras partes do perfil (Sartori *et al.*, 2022). Mesmo em sistemas agroflorestais, os resultados podem variar de acordo com idade, textura, intensidade de tráfego e histórico de uso, havendo situações em que a densidade não diminui apesar do aumento do carbono orgânico e de outros indicadores de qualidade do solo (Kinyili *et al.*, 2024). Assim, a avaliação da qualidade física não deve se apoiar em um único indicador, mas considerar conjuntamente densidade, porosidade, estabilidade estrutural, resistência mecânica e propriedades hidráulicas.

De forma geral, a literatura recente indica que os benefícios físicos dos sistemas agroecológicos estão relacionados à interação entre diversidade vegetal, cobertura do solo, aporte de biomassa, desenvolvimento radicular e menor intensidade de perturbação. Em ambientes tropicais, sistemas agroflorestais podem favorecer a recuperação de atributos físicos e das funções ecossistêmicas do solo, sobretudo quando mantidos por períodos mais longos e associados à maior complexidade vegetal (Duran-Bautista *et al.*, 2023; Santos *et al.*, 2023). Contudo, os resultados dependem do tempo de adoção, da textura e das condições climáticas e, portanto, não devem ser generalizados para todos os agroecossistemas (Hao *et al.*, 2023). A síntese das evidências disponíveis aponta que a manutenção prolongada dessas práticas tende a aumentar a estabilidade estrutural e a funcionalidade hídrica, tornando o solo mais resistente à degradação e contribuindo para maior resiliência dos sistemas produtivos diante de períodos de déficit ou excesso de água (Blanco-Canqui *et al.*, 2024).

3.2. Influência nos Atributos Químicos do Solo

A degradação do solo compromete significativamente seus atributos químicos, reduzindo os teores de matéria orgânica e carbono orgânico, diminuindo a disponibilidade de nutrientes e alterando o pH, o que limita o desenvolvimento das plantas e compromete a produtividade dos ecossistemas. Esses processos geralmente decorrem do manejo inadequado da terra, do desmatamento, da erosão e do uso intensivo de insumos agrícolas, resultando na perda gradual da fertilidade e da capacidade do solo de desempenhar suas funções ecológicas. Nesse contexto, os sistemas agroecológicos têm se destacado como uma estratégia eficiente para restaurar a qualidade química do solo, uma vez que

promovem maior diversidade vegetal, incremento de resíduos orgânicos e intensificação dos processos naturais de ciclagem de nutrientes, favorecendo a recuperação de áreas degradadas (Mendes *et al.*, 2021; Carvalho *et al.*, 2026).

Entre os atributos químicos mais sensíveis aos processos de degradação destaca-se a matéria orgânica do solo, considerada um dos principais indicadores da recuperação ambiental. A remoção da cobertura vegetal e o manejo convencional aceleram a decomposição da matéria orgânica e reduzem sua incorporação ao solo, comprometendo a capacidade de retenção de água, a capacidade de troca de cátions (CTC) e a disponibilidade de nutrientes. Em contrapartida, práticas agroecológicas como sistemas agroflorestais, plantas de cobertura, rotação de culturas e adubação verde favorecem o aporte contínuo de resíduos vegetais e o desenvolvimento radicular, promovendo o restabelecimento dos estoques de matéria orgânica. De acordo com Locatelli *et al.* (2025), estratégias de diversificação de culturas no Cerrado brasileiro contribuem para o aumento da matéria orgânica mesmo diante de cenários de mudanças climáticas, evidenciando seu potencial para restaurar a fertilidade de solos degradados. Resultados semelhantes foram observados por Matos *et al.* (2022), que verificaram melhorias na saúde do solo em sistemas agroflorestais, associadas ao maior acúmulo de resíduos orgânicos e ao fortalecimento dos processos de ciclagem de nutrientes.

Outro indicador amplamente utilizado para avaliar a recuperação de solos degradados é o carbono orgânico do solo, cuja redução representa uma das principais consequências da degradação ambiental. A diminuição dos estoques de carbono compromete a estabilidade estrutural do solo, reduz a atividade biológica e

aumenta a vulnerabilidade à erosão. Os sistemas agroecológicos contribuem para reverter esse cenário ao favorecerem o acúmulo de biomassa vegetal, a proteção física da matéria orgânica e a redução do revolvimento do solo. Souza *et al.* (2026) demonstraram, por meio de modelagem aplicada às condições brasileiras, que a utilização de plantas de cobertura promove incrementos significativos nos estoques de carbono orgânico, fortalecendo a qualidade química do solo ao longo do tempo. Da mesma forma, Santos *et al.* (2026) verificaram que sistemas integrados de lavoura, pecuária e floresta aumentam os estoques de carbono e melhoram a qualidade da matéria orgânica em regiões semiáridas, evidenciando o potencial dessas estratégias para a recuperação de áreas degradadas.

A perda da fertilidade constitui uma das principais limitações dos solos degradados, uma vez que reduz a disponibilidade de nutrientes essenciais ao crescimento vegetal e compromete a produtividade agrícola. Os sistemas agroecológicos favorecem a recuperação da fertilidade por meio da diversificação de espécies, da reciclagem de nutrientes e da decomposição gradual dos resíduos vegetais, processos que restabelecem o equilíbrio químico do solo e reduzem a dependência de fertilizantes minerais. Nesse sentido, Mendes *et al.* (2021) observaram que solos com melhores indicadores de qualidade química apresentaram maior produtividade de grãos em Latossolos tropicais, demonstrando que a recuperação da fertilidade está diretamente relacionada ao desempenho das culturas. Complementarmente, Carvalho *et al.* (2026) verificaram que o aumento da diversidade de culturas em sistemas consolidados de plantio direto promove melhorias significativas na saúde do solo, especialmente em atributos relacionados à fertilidade e à disponibilidade de nutrientes.

O pH do solo também sofre alterações expressivas em ambientes degradados, sobretudo em razão da acidificação provocada pela lixiviação de bases, pela erosão e pelo manejo inadequado. Essas alterações reduzem a disponibilidade de nutrientes e aumentam a toxicidade de elementos como o alumínio, restringindo o desenvolvimento radicular e a atividade microbiana. A adoção de práticas agroecológicas contribui para a estabilização do pH por meio do aumento da matéria orgânica, da intensificação da atividade biológica e da maior eficiência na ciclagem de nutrientes. Embora os efeitos sobre esse atributo ocorram de forma gradual, Matos *et al.* (2022) demonstraram que sistemas agroflorestais promovem melhorias consistentes na saúde do solo, refletidas em condições químicas mais favoráveis ao crescimento das plantas e à recuperação das funções ecológicas do ambiente.

A disponibilidade de nutrientes representa outro aspecto determinante na recuperação de solos degradados. A degradação reduz os teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio devido às perdas por erosão, lixiviação e baixa reposição de matéria orgânica. Em sistemas agroecológicos, entretanto, esses nutrientes passam a ser disponibilizados de forma mais equilibrada em razão da fixação biológica de nitrogênio, da reciclagem promovida por espécies com diferentes profundidades radiculares e da mineralização gradual dos resíduos orgânicos. Paula *et al.* (2026) verificaram que práticas conservacionistas associadas ao plantio direto e ao terraceamento promovem melhorias expressivas na saúde do solo, refletindo em maior disponibilidade de nutrientes e maior estabilidade dos atributos químicos. Esses resultados corroboram os achados de Carvalho *et al.* (2026), que destacam a diversificação de culturas como um importante mecanismo para

acelerar a recuperação química do solo e fortalecer sua capacidade produtiva.

De forma integrada, as evidências científicas demonstram que a recuperação dos atributos químicos constitui um dos principais mecanismos pelos quais os sistemas agroecológicos promovem a restauração de solos degradados. O aumento dos teores de matéria orgânica e carbono orgânico, a recuperação da fertilidade, a estabilização do pH e a maior disponibilidade de nutrientes restabelecem processos essenciais ao funcionamento do solo, favorecendo sua capacidade produtiva e ecológica. Assim, práticas como sistemas agroflorestais, plantas de cobertura, diversificação de culturas e manejo conservacionista representam estratégias eficazes para recuperar áreas degradadas e promover sistemas agrícolas mais resilientes e sustentáveis (Locatelli *et al.*, 2023; Locatelli *et al.*, 2025; Carvalho *et al.*, 2026).

3.3. Influência nos Atributos Biológicos do Solo

Os atributos biológicos constituem indicadores sensíveis do processo de recuperação de solos degradados, pois refletem alterações na abundância, diversidade e atividade dos organismos responsáveis pela decomposição da matéria orgânica, ciclagem de nutrientes e manutenção das funções ecossistêmicas. O solo é considerado um dos principais reservatórios de biodiversidade do planeta, abrigando uma expressiva parcela das espécies conhecidas, de microrganismos a representantes da macrofauna, o que evidencia a importância da conservação de sua biota para o funcionamento dos agroecossistemas (Anthony *et al.*, 2023). Entretanto, a simplificação da vegetação, a intensificação do uso da terra e a redução dos aportes de resíduos orgânicos podem provocar

diminuição da abundância e da riqueza dos organismos edáficos, comprometendo processos essenciais à recuperação do solo (Chiappero *et al.*, 2024). Nesse contexto, sistemas agroecológicos que utilizam diversificação vegetal, cobertura permanente, adubação orgânica e integração entre espécies arbóreas e culturas agrícolas favorecem a reconstrução do habitat edáfico e o fornecimento contínuo de recursos energéticos para sua comunidade biológica (Ngaba *et al.*, 2024).

Entre as respostas mais evidentes desses sistemas está o aumento da biomassa e da atividade microbiana. A presença contínua de raízes vivas e resíduos vegetais amplia a disponibilidade de carbono e outros substratos utilizados por bactérias, fungos e demais microrganismos, contribuindo para o restabelecimento de processos biogeoquímicos em áreas anteriormente degradadas. Uma meta-análise envolvendo 81 estudos demonstrou que o uso de plantas de cobertura aumentou o carbono e o nitrogênio da biomassa microbiana e promoveu alterações positivas na abundância de diferentes grupos microbianos, com resposta particularmente expressiva dos fungos (Muhammad *et al.*, 2021). Da mesma forma, a adição de resíduos e insumos orgânicos favorece a diversidade e a funcionalidade microbiana, criando condições para maior transformação e disponibilização de nutrientes no sistema solo-planta (Shu *et al.*, 2022). Em sistemas agroflorestais, esses efeitos também são evidentes, visto que a maior diversidade de plantas, raízes e tipos de resíduos pode sustentar comunidades microbianas mais complexas e metabolicamente ativas que aquelas encontradas em sistemas simplificados (Ngaba *et al.*, 2024).

A atividade enzimática é outro atributo relevante para avaliar a recuperação biológica, uma vez que enzimas produzidas

principalmente por microrganismos e raízes participam diretamente da decomposição da matéria orgânica e dos ciclos de carbono, nitrogênio, fósforo e enxofre. Sistemas conservacionistas associados ao retorno de resíduos vegetais têm apresentado incremento na atividade de diversas enzimas do solo, embora a magnitude das respostas varie em função do clima, das propriedades edáficas, do tempo de manejo e do tipo de enzima avaliada (Wen *et al.*, 2023). Em uma meta-análise global sobre sistemas agroflorestais, foram registrados incrementos na biomassa microbiana e em enzimas como urease, protease e β -glicosidase, principalmente em regiões tropicais e temperadas, demonstrando uma intensificação de processos relacionados à mineralização e ciclagem de nutrientes (Ngaba *et al.*, 2024). A incorporação de materiais orgânicos também aumenta componentes ativos do carbono e a diversidade microbiana, estabelecendo uma relação importante entre a recuperação da matéria orgânica e a reativação dos processos biológicos do solo (Chen *et al.*, 2024).

Além dos microrganismos, a fauna edáfica exerce papel fundamental na recuperação de solos degradados. Organismos como minhocas, ácaros, colêmbolos e outros invertebrados atuam na fragmentação e incorporação dos resíduos vegetais, favorecendo sua decomposição e criando condições para a atividade dos microrganismos. A conversão de ecossistemas estruturalmente complexos para sistemas produtivos simplificados causa, de maneira geral, redução tanto da abundância quanto da riqueza da fauna do solo, sendo os efeitos particularmente importantes em ambientes tropicais e subtropicais (Chiappero *et al.*, 2024). A adoção de sistemas agroecológicos diversificados pode contribuir para reverter parte desse processo ao ampliar a cobertura vegetal, o aporte de serapilheira e a disponibilidade de micro-habitats, condições que

favorecem a recolonização biológica e o restabelecimento das cadeias tróficas edáficas (Ngaba *et al.*, 2024). Consequentemente, a recuperação da biodiversidade do solo deve ser compreendida como componente central da restauração de suas funções, e não apenas como uma consequência secundária da melhoria de atributos químicos ou físicos (Anthony *et al.*, 2023).

Nos sistemas agroflorestais, particularmente relevantes para a recuperação agroecológica de áreas tropicais, a associação entre diversidade vegetal e microbiota demonstra como a recuperação biológica pode contribuir para a retomada das funções do solo. Em sistemas de produção de cacau inseridos na Mata Atlântica, diferentes formas de manejo agroflorestal modificaram a composição e a diversidade microbiana e os grupos funcionais envolvidos nos ciclos do carbono e do nitrogênio, indicando que a estrutura da vegetação e o manejo influenciam não somente quem compõe a microbiota, mas também as funções que ela desempenha (Nahon *et al.*, 2024). Esse resultado está de acordo com evidências em escala global de que sistemas agroflorestais favorecem comunidades microbianas, biomassa, respiração e atividade enzimática quando comparados a monocultivos, embora tais respostas sejam moduladas por clima, espécies utilizadas e práticas de manejo (Ngaba *et al.*, 2024).

De maneira complementar, o aporte de matéria orgânica e a redução das perturbações físicas mantêm substratos e habitats necessários para sustentar essa atividade biológica ao longo do tempo (Shu *et al.*, 2022; Wen *et al.*, 2023). Assim, a recuperação dos atributos biológicos promovida pelos sistemas agroecológicos representa um mecanismo fundamental para a recuperação de solos degradados, pois restabelece processos de decomposição,

ciclagem e disponibilização de nutrientes e amplia a capacidade do solo de sustentar comunidades vegetais diversificadas e sistemas produtivos mais resilientes.

3.4. Práticas Agroecológicas Mais Utilizadas na Recuperação de Solos Degradados

A degradação do solo envolve processos como perda de matéria orgânica, erosão, compactação e redução da atividade biológica, comprometendo sua fertilidade e funcionalidade ecológica. Nesse contexto, as práticas agroecológicas buscam restaurar a saúde do solo por meio da diversificação de espécies, manutenção da cobertura vegetal, reciclagem de nutrientes e redução do revolvimento do solo, promovendo a reativação dos processos físicos, químicos e biológicos essenciais ao seu equilíbrio (Dagunga *et al.*, 2023; Teng *et al.*, 2024). Entre as principais estratégias está o uso de culturas de cobertura, que protegem o solo contra erosão, reduzem o impacto das chuvas e aumentam o aporte de matéria orgânica. Garba, Bell e Williams (2022) destacam que essas culturas também influenciam a dinâmica da água e do nitrogênio no solo, contribuindo para a recuperação da fertilidade, embora seus efeitos dependam das condições ambientais e do manejo adotado.

Associada a essa prática, a diversificação de culturas por meio de rotação e consórcios é fundamental na recuperação de solos degradados. A presença de diferentes espécies amplia a diversidade de resíduos vegetais e sistemas radiculares, favorecendo a estruturação do solo e a ciclagem de nutrientes. Dagunga *et al.* (2023) ressaltam que essa diversidade aumenta a resiliência dos agroecossistemas, enquanto Raveloaritiana e Wanger (2026) indicam que seus efeitos positivos sobre a qualidade do solo tendem

a se intensificar ao longo do tempo. Os sistemas agroflorestais também desempenham papel importante na recuperação de áreas degradadas, pois integram árvores e culturas agrícolas, aumentando a cobertura do solo e a complexidade ecológica do sistema. Wurz *et al.* (2022) demonstram que esses sistemas podem conciliar produção e biodiversidade, contribuindo para a formação de ambientes mais estáveis e funcionalmente diversos, com maior aporte de biomassa e melhoria das condições do solo.

Outra prática essencial é a redução do revolvimento do solo, que evita a quebra da estrutura, diminui a perda de carbono e reduz processos erosivos. Nesse sentido, a agricultura conservacionista tem se mostrado eficiente na manutenção da saúde do solo. Teng *et al.* (2024) evidenciam que práticas conservacionistas aumentam o carbono orgânico e a biomassa microbiana, mesmo sob condições climáticas adversas, sendo fundamentais para a recuperação de solos degradados. A manutenção e incorporação de matéria orgânica também é central nesse processo. Resíduos vegetais, palhada e biomassa de cobertura contribuem para a melhoria da estrutura do solo, aumento da retenção de água e estímulo à atividade biológica. Esses efeitos estão diretamente associados ao restabelecimento da fertilidade e da funcionalidade ecológica do solo (Teng *et al.*, 2024).

De forma geral, a recuperação agroecológica depende da integração dessas práticas, e não de sua aplicação isolada. A combinação entre cobertura vegetal, diversificação de culturas, sistemas agroflorestais e manejo conservacionista permite a reconstrução gradual das funções do solo, promovendo maior estabilidade ecológica e produtiva. Zenda e Rudolph (2024) reforçam que essas estratégias

são mais eficazes quando adaptadas às condições locais, considerando limitações específicas de cada ambiente.

Assim, a recuperação de solos degradados por meio da agroecologia deve ser compreendida como um processo contínuo, no qual a interação entre práticas de manejo favorece a recomposição da matéria orgânica, a melhoria da estrutura do solo e o restabelecimento da ciclagem de nutrientes. Raveloaritiana e Wanger (2026) reforçam essa perspectiva ao demonstrar que os benefícios da diversificação agrícola tendem a aumentar com o tempo, evidenciando que a recuperação do solo é um processo progressivo e cumulativo.

Em síntese, destacam-se como principais práticas agroecológicas para recuperação de solos degradados: culturas de cobertura, diversificação e rotação de culturas, consórcios, sistemas agroflorestais, agricultura conservacionista e manejo da matéria orgânica, todas integradas com o objetivo de restaurar a funcionalidade ecológica do solo e aumentar sua resiliência (Garba; Bell; Williams, 2022; Dagunga *et al.*, 2023; TENG *et al.*, 2024; Zenda; Rudolph, 2024).

3.5. Principais Benefícios dos Sistemas Agroecológicos

Os sistemas agroecológicos se destacam por integrar produção agrícola e conservação ambiental, reduzindo a dependência de insumos externos e valorizando processos ecológicos naturais. Seus principais benefícios estão relacionados à biodiversidade, aos serviços ecossistêmicos, à qualidade do solo e à resiliência frente às mudanças climáticas (Santos; Vestena, 2024; Dagunga *et al.*, 2023). A conservação da biodiversidade é um dos efeitos mais consistentes

da agroecologia. Santos e Vestena (2024) evidenciam que práticas agroecológicas contribuem diretamente para a manutenção da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos na América Latina, fortalecendo processos como ciclagem de nutrientes, polinização e regulação biológica. Essa diversidade é essencial para o equilíbrio dos agroecossistemas e para sua sustentabilidade.

A diversificação também atua na recuperação de paisagens agrícolas simplificadas. Sietz, Klimek e Dauber (2022) destacam que a intensificação agrícola tem reduzido a biodiversidade, e que estratégias agroecológicas podem reverter esse quadro ao integrar produção e conservação. Assim, a biodiversidade deixa de ser um elemento externo e passa a compor o próprio funcionamento do sistema produtivo. Nos sistemas agroflorestais, essa relação entre produção e conservação se torna ainda mais evidente. Wurz *et al.* (2022) demonstram que é possível conciliar alta produtividade com elevada biodiversidade em sistemas tropicais diversificados, contrariando a ideia de que maior diversidade reduz a produção. A presença de diferentes estratos vegetais favorece habitats mais complexos e maior estabilidade ecológica.

A diversificação dos sistemas também amplia a oferta de serviços ecossistêmicos. Palomo-Campesino *et al.* (2022) observou que propriedades agroecológicas apresentam maior potencial de serviços de regulação, provisão e culturais quando comparadas a sistemas convencionais. Entre os principais efeitos estão melhorias na fertilidade do solo, polinização e controle natural de pragas. Esses processos reduzem a dependência de insumos químicos, pois o próprio sistema passa a regular parte das interações ecológicas. A literatura indica que esses efeitos não ocorrem apenas dentro da propriedade, mas também são influenciados pela paisagem agrícola

ao redor (Batáry *et al.*, 2011), reforçando a importância de uma abordagem integrada em diferentes escalas.

Outro benefício central está relacionado ao solo. Sistemas agroecológicos favorecem a manutenção da matéria orgânica, da atividade microbiana e da ciclagem de nutrientes. Teng *et al.* (2024) demonstram que práticas conservacionistas melhoram a saúde do solo e aumentam o carbono orgânico, mesmo sob condições de estresse climático, contribuindo também para a manutenção da produtividade. A cobertura do solo também desempenha papel importante na conservação da água e dos nutrientes. Garba, Bell e Williams (2022) mostram que culturas de cobertura influenciam positivamente a dinâmica hídrica e o nitrogênio do solo, embora seus efeitos variem conforme o ambiente. Isso reforça a necessidade de adaptação das práticas às condições locais. A ciclagem de nutrientes é um dos princípios centrais da agroecologia. Dagunga *et al.* (2023) destacam que diversidade, sinergia e reciclagem de nutrientes são fundamentais para o funcionamento dos agroecossistemas. Práticas como consórcios, adubação verde e cobertura vegetal permitem maior eficiência no uso dos recursos naturais e reduzem a necessidade de insumos externos.

Além dos benefícios produtivos e ambientais, a agroecologia também contribui para a adaptação às mudanças climáticas. Zenda e Rudolph (2024) identificam que estratégias agroecológicas, como diversificação de culturas e sistemas agroflorestais, aumentam a capacidade de adaptação de pequenos agricultores frente a eventos climáticos extremos. Essa maior diversidade também fortalece a resiliência dos sistemas produtivos. Segundo Dagunga *et al.* (2023), sistemas mais diversificados distribuem melhor os riscos, reduzindo a vulnerabilidade a secas, pragas e variações climáticas. Assim, a

perda de um componente não compromete todo o sistema produtivo.

Além da adaptação, a agroecologia também contribui para a mitigação das mudanças climáticas por meio do sequestro de carbono no solo e na biomassa vegetal. Práticas conservacionistas e maior cobertura vegetal favorecem o acúmulo de carbono, como demonstrado por Teng *et al.* (2024), que identificaram aumento do carbono orgânico do solo em sistemas manejados de forma sustentável. Os efeitos da diversificação agrícola tendem a se intensificar ao longo do tempo. Raveloaritiana e Wanger (2026), em uma meta-análise de segunda ordem, mostram que a diversificação aumenta a biodiversidade, a polinização, a qualidade do solo e o sequestro de carbono, sem comprometer a produtividade agrícola. Isso indica que os benefícios da agroecologia são cumulativos e se fortalecem com a continuidade das práticas.

De forma geral, os estudos indicam que os benefícios ambientais da agroecologia são interdependentes. A biodiversidade favorece serviços ecossistêmicos, que por sua vez contribuem para a fertilidade do solo, a regulação de pragas e a conservação da água. Esses processos, integrados, aumentam a estabilidade e a sustentabilidade dos sistemas agrícolas. Assim, a agroecologia se diferencia por integrar produção e conservação em um mesmo sistema, utilizando processos ecológicos como base do manejo agrícola. As evidências de Santos e Vestena (2024), Palomo-Campesino *et al.* (2022), Sietz, Klimek e Dauber (2022), Wurz *et al.* (2022), Dagunga *et al.* (2023), Zenda e Rudolph (2024), Teng *et al.* (2024) e Raveloaritiana e Wanger (2026) reforçam que essa abordagem promove ganhos ambientais consistentes,

especialmente em biodiversidade, solo, água e resiliência dos agroecossistemas (Raveloaritiana; Wanger, 2026).

3.6. Desafios e Perspectivas para a Recuperação de Solos Degradados

Apesar das evidências demonstrarem que os sistemas agroecológicos favorecem a recuperação de solos degradados por meio do aumento da matéria orgânica, da melhoria da estrutura física do solo, da intensificação da atividade biológica e da maior eficiência na ciclagem de nutrientes, sua adoção em larga escala ainda enfrenta importantes desafios. Entre as principais barreiras destacam-se os elevados custos iniciais de transição, o tempo necessário para que os benefícios ecológicos e produtivos sejam plenamente observados, a escassez de assistência técnica especializada e a limitada disponibilidade de políticas públicas de incentivo. Além disso, fatores econômicos, institucionais e culturais ainda restringem a expansão da agroecologia em diferentes sistemas produtivos, evidenciando que a transição para modelos agrícolas mais sustentáveis depende da integração entre pesquisa, extensão rural e políticas de apoio aos agricultores (Ewert; Baatz; Finger, 2023; Mouratiadou *et al.*, 2024).

A literatura também evidencia limitações importantes nos estudos sobre recuperação de solos degradados. Grande parte das pesquisas apresenta curta duração, restringindo a avaliação dos efeitos acumulativos das práticas agroecológicas ao longo do tempo. Além disso, observa-se elevada variabilidade metodológica, com diferentes indicadores sendo utilizados para mensurar a qualidade do solo, o que dificulta comparações entre estudos realizados em distintos ambientes e condições de manejo. Outra limitação refere-

se ao predomínio de avaliações isoladas dos atributos físicos, químicos ou biológicos, havendo necessidade de abordagens integradas que considerem a multifuncionalidade do solo e os serviços ecossistêmicos associados (Smith *et al.*, 2024; Neuenkamp *et al.*, 2024).

Outro aspecto amplamente destacado refere-se à necessidade de estudos de longa duração. A recuperação da qualidade do solo é um processo gradual, e diversos benefícios promovidos pelos sistemas agroecológicos, como o aumento dos estoques de carbono, a estabilização da matéria orgânica, a recuperação da biodiversidade edáfica e a melhoria da estrutura do solo, tornam-se mais evidentes somente após vários anos de manejo contínuo. Dessa forma, pesquisas de longo prazo são fundamentais para compreender a persistência desses efeitos e fornecer evidências robustas que subsidiem recomendações técnicas e estratégias de manejo sustentável (Smith *et al.*, 2024; Neuenkamp *et al.*, 2024).

Diante desse cenário, a consolidação dos sistemas agroecológicos depende não apenas do avanço do conhecimento científico, mas também da implementação de políticas públicas que incentivem sua adoção. Investimentos em pesquisa, assistência técnica, capacitação de agricultores, linhas de crédito específicas, pagamento por serviços ambientais e fortalecimento da agricultura familiar podem ampliar significativamente a recuperação de solos degradados e promover sistemas agrícolas mais resilientes às mudanças climáticas. Assim, a integração entre ciência, políticas públicas e práticas agroecológicas representa um caminho promissor para conciliar produção agrícola, conservação dos recursos naturais e sustentabilidade ambiental (Ewert; Baatz; Finger, 2023; Smith *et al.*, 2024).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente revisão sistemática permitiu evidenciar que os sistemas agroecológicos constituem uma estratégia relevante para a recuperação de solos degradados, especialmente por atuarem de forma integrada sobre os atributos físicos, químicos e biológicos do solo. A análise dos estudos selecionados demonstrou que a recuperação não ocorre a partir de uma única prática, mas resulta da combinação de estratégias de manejo que favorecem a reconstrução gradual da funcionalidade e da resiliência dos agroecossistemas.

Em relação aos atributos físicos, verificou-se que a manutenção da cobertura vegetal, o aporte de resíduos orgânicos, a diversificação de espécies, os sistemas agroflorestais e a redução do revolvimento contribuem para melhorar a agregação, a porosidade, a infiltração e o armazenamento de água, além de reduzir a suscetibilidade à erosão. Entretanto, as respostas podem variar conforme as características do solo, as condições climáticas, o histórico de uso e o tempo de adoção das práticas, indicando que a recuperação física deve ser avaliada por meio de um conjunto de indicadores.

Quanto aos atributos químicos, os sistemas agroecológicos favorecem o aumento e a manutenção da matéria orgânica e do carbono orgânico, a recuperação da fertilidade, a ciclagem de nutrientes e condições químicas mais adequadas ao desenvolvimento vegetal. Essas mudanças são particularmente importantes em áreas degradadas, nas quais a perda de matéria orgânica e nutrientes representa uma das principais limitações à recuperação da capacidade produtiva e ecológica do solo.

Os atributos biológicos também apresentaram respostas positivas, destacando-se o aumento da biomassa e da atividade microbiana, da atividade enzimática e das condições favoráveis à fauna edáfica. A diversificação vegetal, o aporte contínuo de matéria orgânica e a manutenção de habitats contribuem para o restabelecimento da biodiversidade do solo e de processos fundamentais, como decomposição, ciclagem e disponibilização de nutrientes. Dessa maneira, a recuperação biológica deve ser compreendida como parte essencial da restauração da qualidade do solo.

Entre as práticas mais relevantes destacaram-se as culturas de cobertura, rotação e diversificação de culturas, consórcios, sistemas agroflorestais, agricultura conservacionista e manejo da matéria orgânica. Os resultados indicam que essas estratégias apresentam maior potencial quando utilizadas de maneira integrada e adaptadas às condições ambientais e socioeconômicas de cada região. A agroecologia, portanto, ultrapassa a substituição de insumos convencionais, constituindo uma abordagem baseada na integração dos processos ecológicos com a produção agrícola.

Apesar dos resultados favoráveis, permanecem desafios relacionados aos custos e ao período de transição, à necessidade de assistência técnica, à disponibilidade de políticas públicas e ao tempo necessário para que determinadas melhorias se consolidem. Também se verificou a necessidade de ampliar estudos de longa duração e avaliações integradas, capazes de acompanhar simultaneamente as alterações físicas, químicas e biológicas do solo e sua relação com a produtividade e os serviços ecossistêmicos.

Conclui-se, portanto, que os sistemas agroecológicos apresentam elevado potencial para contribuir com a recuperação de solos

degradados, promovendo melhorias na qualidade do solo, conservação dos recursos naturais, aumento da biodiversidade e maior resiliência dos sistemas agrícolas. A consolidação dessas estratégias depende, contudo, da continuidade das práticas de manejo, da geração de conhecimento científico de longo prazo e da articulação entre pesquisa, assistência técnica, agricultores e políticas públicas. Dessa forma, a adoção integrada de práticas agroecológicas representa um caminho promissor para conciliar a recuperação ambiental, a sustentabilidade produtiva e a conservação dos recursos naturais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUILERA, E. et al. **Agroecological interventions increase biodiversity and the potential for climate change mitigation in Europe.** Agriculture, Ecosystems & Environment, 2025, 109938. DOI: 10.1016/j.agee.2025.109938.

ALTIERI, M. A.; NICHOLLS, C. I. **Agroecology and the emergence of a post COVID-19 agriculture.** Agriculture and Human Values, v. 37, p. 525-526, 2020.

ANTHONY, M. A.; BENDER, S. F.; VAN DER HEIJDEN, M. G. A. **Enumerating soil biodiversity.** Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, v. 120, n. 33, e2304663120, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.2304663120>.

BATÁRY, Péter; BÁLDI, András; KLEIJN, David; TSCHARNTKE, Teja. **Landscape-moderated biodiversity effects of agri-environmental management: a meta-analysis.** Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, v. 278, n. 1713, p. 1894–1902, 2011. DOI:

10.1098/rspb.2010.1923.

Disponível

em:

<https://doi.org/10.1098/rspb.2010.1923>. Acesso em: 8 ago. 2026.

BLANCO-CANQUI, H.; RUIS, S. J.; FRANCIS, C. A. **Do organic farming practices improve soil physical properties?** Soil Use and Management, v. 40, e12999, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1111/sum.12999>.

CARVALHO, M. L.; et al. **Measuring short-term soil health additionality of increased crop diversity in consolidated no-till: a case study from subtropical South America.** Frontiers in Soil Science, v. 6, 2026. DOI: 10.3389/fsoil.2026.1756564.

CHEN, L.; ZHOU, S.; ZHANG, Q.; ZOU, M.; YIN, Q.; QIU, Y.; QIN, W. **Effect of organic material addition on active soil organic carbon and microbial diversity: a meta-analysis.** Soil and Tillage Research, v. 241, 106128, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2024.106128>.

CHIAPPERO, M. F.; ROSSETTI, M. R.; MORENO, M. L.; PÉREZ-HARGUINDEGUY, N. **A global meta-analysis reveals a consistent reduction of soil fauna abundance and richness as a consequence of land use conversion.** Science of the Total Environment, v. 946, 173822, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.173822>.

DAGUNGA, Gilbert; AYAMGA, Michael; LAUBE, Wolfram; ANSAH, Isaac Gershon Kodwo; KORNHER, Lukas; KOTU, Bekele H. **Agroecology and resilience of smallholder food security: a systematic review.** Frontiers in Sustainable Food Systems, v. 7, art. 1267630, 2023. DOI: 10.3389/fsufs.2023.1267630. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1267630>. Acesso em: 8 ago. 2026.

DURAN-BAUTISTA, E. H.; ANGEL-SANCHEZ, Y. K.; BERMÚDEZ, M. F.; SUÁREZ, J. C. **Agroforestry systems generate changes in soil macrofauna and soil physical quality relationship in the northwestern Colombian Amazon.** Agroforestry Systems, v. 97, n. 5, p. 927–938, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10457-023-00838-y>.

EMBRAPA. **Visão 2030: o futuro da agricultura brasileira.** 2. ed. Brasília: Embrapa, 2023.

EWERT, F.; BAATZ, R.; FINGER, R. **Agroecology for a Sustainable Agriculture and Food System: From Local Solutions to Large-Scale Adoption.** Annual Review of Resource Economics, v. 15, p. 351–381, 2023. DOI: 10.1146/annurev-resource-102422-090105.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **State of knowledge of soil biodiversity: status, challenges and potentialities.** Rome: FAO, 2020.

FAO; ITPS. **State of Knowledge of Soil Biodiversity: Status, Challenges and Potentialities.** Rome: FAO, 2021.

FAO. **The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture – Systems at Breaking Point (SOLAW 2021).** Rome: FAO, 2022.

GARBA, Ibrahim I.; BELL, Lindsay W.; WILLIAMS, Andrew. **Cover crop legacy impacts on soil water and nitrogen dynamics, and on subsequent crop yields in drylands: a meta-analysis.** Agronomy for Sustainable Development, v. 42, art. 34, 2022. DOI: 10.1007/s13593-022-00760-0. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13593-022-00760-0>. Acesso em: 8 ago. 2026.

HAO, X.; ABOU NAJM, M.; STEENWERTH, K. L.; NOCCO, M. A.; BASSET, C.; DACCACHE, A. **Are there universal soil responses to cover cropping? A systematic review.** Science of the Total Environment, v. 861, 160600, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160600>.

IPBES. **The IPBES Assessment Report on Land Degradation and Restoration.** Bonn: IPBES Secretariat, 2018.

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability.** Cambridge: Cambridge University Press, 2022.

KINYILI, B. M.; NDUNDA, E.; KITUR, E. **Agroforestry stand age influence physical and chemical soil parameters.** Trees, Forests and People, v. 18, 100694, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2024.100694>.

LAL, R. **Soil organic matter and water retention.** Agronomy Journal, v. 112, n. 5, p. 3265-3277, 2020.

LOCATELLI, J. L.; et al. **Modeling soil organic matter changes under crop diversification strategies and climate change scenarios in the Brazilian Cerrado.** Agriculture, Ecosystems & Environment, v. 379, 2025. DOI: 10.1016/j.agee.2024.109334.

LOCATELLI, J. L.; et al. **Soil strength and structural stability are mediated by soil organic matter composition in agricultural expansion areas of the Brazilian Cerrado biome.** Agronomy, v. 13, n. 71, 2023. DOI: 10.3390/agronomy13010071.

MAIENZA, A. et al. **Soil quality indicators in agroecological practices: lessons from a systematic review of long-term experiments.** European Journal of Soil Science, v. 76, n. 4, e70138, 2025. DOI: 10.1111/ejss.70138.

MATOS, P. S.; et al. **Short-term effects of agroforestry systems on soil health in Southeastern Brazil.** Agroforestry Systems, v. 96, p. 897–908, 2022. DOI: 10.1007/s10457-022-00749-4.

MENDES, I. C.; et al. **Soil quality and grain yield: a win-win combination in clayey tropical Oxisols.** Geoderma, v. 388, 114880, 2021. DOI: 10.1016/j.geoderma.2020.114880.

MOURATIADOU, I. et al. **The socio-economic performance of agroecology: a review.** Agronomy for Sustainable Development, v. 44, 2024. DOI: 10.1007/s13593-024-00945-9.

MUHAMMAD, I.; WANG, J.; SAINJU, U. M.; ZHANG, S.; ZHAO, F.; KHAN, A. **Cover cropping enhances soil microbial biomass and affects microbial community structure: a meta-analysis.** Geoderma, v. 381, 114696, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114696>.

NAHON, S. M. R.; TRINDADE, F. C.; YOSHIURA, C. A.; MARTINS, G. C.; COSTA, I. R. C.; COSTA, P. H. O.; HERRERA, H.; BALESTRIN, D.; GODINHO, T. O.; MARCHIORI, B. M.; VALADARES, R. B. S. **Impact of agroforestry practices on soil microbial diversity and nutrient cycling in Atlantic Rainforest cocoa systems.** International Journal of Molecular Sciences, v. 25, n. 21, 11345, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms252111345>.

NEUENKAMP, Lena et al. **Comprehensive tools for ecological restoration of soils foster sustainable use and resilience of**

agricultural land. Communications Biology, v. 7, 2024. DOI: 10.1038/s42003-024-07275-2.

NGABA, M. J. Y.; MGELWA, A. S.; GURMESA, G. A. et al. Meta-analysis unveils differential effects of agroforestry on soil properties in different zonobiomes. Plant and Soil, v. 496, p. 589–607, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-023-06385-w>.

PALOMO-CAMPESINO, Sara; GARCÍA-LLORENTE, Marina; HEVIA, Violeta; BOERAEVE, Fanny; DENDONCKER, Nicolas; GONZÁLEZ, José A. **Do agroecological practices enhance the supply of ecosystem services? A comparison between agroecological and conventional horticultural farms.** Ecosystem Services, v. 57, art. 101474, 2022. DOI: 10.1016/j.ecoser.2022.101474. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2022.101474>. Acesso em: 8 ago. 2026.

PAULA, A. L.; et al. **Soil health approaches to assess the impacts of no-tillage with agricultural terraces in southern Brazil.** SOIL, 12, 545–559, <https://doi.org/10.5194/soil-12-545-2026>, 2026.

RAVELOARITIANA, Estelle; WANGER, Thomas Cherico. **Long-term agricultural diversification increases financial profitability, biodiversity, and ecosystem services: a second-order meta-analysis.** Nature Communications, v. 17, art. 1016, 2026. DOI: 10.1038/s41467-025-67757-7. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41467-025-67757-7>. Acesso em: 8 ago. 2026.

SANTOS, C. C.; et al. **Changes in carbon stocks and quality of the soil organic matter under different arrangements of integrated livestock-forest systems in the semi-arid region of Brazil.** Soil and Tillage Research, v. 256, 2026. DOI: 10.1016/j.still.2025.106882.

SANTOS, M. A.; BONINI, C. S. B.; BARRETTO, V. C. M.; SOUZA, J. A. L.; MATOS, A. M. S. **Soil physical quality using an agroforestry system with an agroecological basis.** Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista, v. 19, n. 1, 2023. DOI: <https://doi.org/10.17271/1980082719120233255>.

SANTOS, Rebeka Aparecida Almeida dos; VESTENA, Leandro Redin. **A agroecologia e os serviços ecossistêmicos no contexto latino americano: uma revisão sistemática.** Revista Brasileira de Agroecologia, Brasília, DF, v. 19, n. 3, p. 353–370, 2024. DOI: 10.33240/rba.v19i3.53881. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/rbagroecologia/article/view/53881>. Acesso em: 8 ago. 2026.

SARTORI, F.; PICCOLI, I.; POLESE, R.; BERTI, A. **Transition to conservation agriculture: how tillage intensity and covering affect soil physical parameters.** SOIL, v. 8, p. 213–222, 2022. DOI: <https://doi.org/10.5194/soil-8-213-2022>.

SCHMIDT, M. et al. **Farming practices to enhance biodiversity across biomes: a systematic review.** Nature Communications, v. 15, 2024.

SHOKRI, M. et al. **Rethinking global soil degradation: drivers, impacts, and solutions.** Reviews of Geophysics, 2025. DOI: 10.1029/2025RG000883.

SHU, X.; HE, J.; ZHOU, Z. et al. **Organic amendments enhance soil microbial diversity, microbial functionality and crop yields: a meta-analysis.** Science of the Total Environment, v. 829, 154627, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154627>.

SIETZ, Diana; KLIMEK, Sebastian; DAUBER, Jens. **Tailored pathways toward revived farmland biodiversity can inspire agroecological action and policy to transform agriculture.** Communications Earth & Environment, v. 3, art. 211, 2022. DOI: 10.1038/s43247-022-00527-1.

SMITH, P. et al. **Status of the World's Soils.** Annual Review of Environment and Resources, v. 49, p. 73–104, 2024. DOI: 10.1146/annurev-environ-030323-075629.

SOUZA, V. S.; et al. **Modelling the effects of cover crops on soil organic carbon stocks in Brazil with the RothC model.** Soil and Tillage Research, 2026. DOI: 10.1016/j.still.2026.107273.

TENG, Jialing; HOU, Ruixing; DUNGAIT, Jennifer A. J.; ZHOU, Guiyao; KUZYAKOV, Yakov; ZHANG, Jingbo; TIAN, Jing; CUI, Zhenling; ZHANG, Fusuo. **Conservation agriculture improves soil health and sustains crop yields after long-term warming.** Nature Communications, v. 15, art. 8785, 2024. DOI: 10.1038/s41467-024-53169-6.

WEN, L.; PENG, Y.; ZHOU, Y.; CAI, G.; LIN, Y.; LI, B. **Effects of conservation tillage on soil enzyme activities of global cultivated land: a meta-analysis.** Journal of Environmental Management, v. 345, 118904, 2023.

WEZEL, A. et al. **Agroecological principles and elements and their implications for transitioning to sustainable food systems.** Agronomy for Sustainable Development, v. 40, n. 6, 2020.

WURZ, Annemarie et al. **Win-win opportunities combining high yields with high multi-taxa biodiversity in tropical agroforestry.** Nature Communications, v. 13, art. 4127, 2022. DOI: 10.1038/s41467-022-30866-8.

YAN, F.; ARTHUR, E. **Cover crops alter soil physicochemical properties: a global meta-analysis.** *Geoderma*, v. 460, 117436, 2025.

ZENDA, Mashford; RUDOLPH, Michael. **A systematic review of agroecology strategies for adapting to climate change impacts on smallholder crop farmers' livelihoods in South Africa.** *Climate*, v. 12, n. 3, art. 33, 2024. DOI: 10.3390/cli12030033.

ZHANG, et al. **Global changes and their environmental stressors have a significant impact on soil biodiversity: a meta-analysis.** *iScience*, 2024, 110540. DOI: 10.1016/j.isci.2024.110540.

ZHANG, et al. **Response of soil biota to agricultural management practices: a systematic quantitative meta-data-analysis and method selection framework.** *Soil Biology and Biochemistry*, v. 207, 109815, 2025. DOI: 10.1016/j.soilbio.2025.109815.

¹ Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente *Campus* Arapiraca e-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#)

² Discente do Curso Superior de Agronomia da Universidade Federal de Alagoas *Campus* Maceió. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#)

³ Discente do Curso Superior de Agronomia da Universidade Federal de Alagoas *Campus* Rio Largo. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#)

⁴ Mestranda no Programa de Pós-Graduação em Proteção de Plantas do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de

Alagoas *Campus* Rio Largo. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#)

⁵ Discente do Curso Superior de Agronomia da Universidade Federal de Alagoas *Campus* Arapiraca. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#)

⁶ Discente do Curso Superior de Agronomia da Universidade Federal de Alagoas *Campus* Arapiraca. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#)

⁷ Discente do Curso Superior de Zootecnia da Universidade Federal de Alagoas *Campus* Arapiraca. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#)

⁸ Discente do Curso Superior de Zootecnia da Universidade Federal de Alagoas *Campus* Arapiraca. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#)

⁹ Discente do Curso Superior de Zootecnia da Universidade Federal de Alagoas *Campus* Arapiraca. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#)

¹⁰ Discente do Curso Superior de Zootecnia da Universidade Federal de Alagoas *Campus* Arapiraca E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#)

¹¹ Discente do Curso Superior de Zootecnia da Universidade Federal de Alagoas *Campus* Arapiraca. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#)

¹² Discente do Curso Superior de Zootecnia da Universidade Federal de Alagoas *Campus* Arapiraca. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#)