

Análise da Viabilidade Econômica e do Estoque de Carbono em Sistemas de Restauração Produtiva (SAFs) em Áreas Degradadas: Revisão Sistematizada da Literatura

Analysis of Economic Viability and Carbon Stock in Productive Restoration Systems (AFS) in Degraded Areas: A Systematized Literature Review
Analisis de la Viabilidad Económica y de las Reservas de Carbono en Sistemas de Restauración Productiva (SAF) en Áreas Degradadas: Revisión Sistematizada de la Literatura

Rafael Rocha Leitão

Afiliação: Faculdade de Engenharia Florestal, UFRA, Pará, Brasil
E-mail institucional: rafael.leitao@discente.ufra.edu.br

RESUMO (PORTUGUÊS):

A conversão de florestas em pastagens degradadas é um vetor crítico de emissões de gases de efeito estufa. Nesse cenário, sistemas agroflorestais e silvipastoris emergem como estratégias de restauração produtiva para conciliar recuperação ambiental, sequestro de carbono e geração de renda. O objetivo deste estudo foi sintetizar evidências sobre estoques de carbono e a viabilidade econômica desses sistemas em áreas degradadas de países em desenvolvimento. Realizou-se uma revisão sistematizada da literatura (2000–2025) em bases de dados internacionais e regionais, priorizando estudos que quantificaram carbono no solo e biomassa, juntamente com indicadores financeiros. Os resultados indicam que tais sistemas acumulam biomassa acima do solo superior às pastagens, aproximando-se de florestas secundárias, e incrementam o carbono edáfico entre 12% e 50% comparado ao manejo convencional. Economicamente, apresentam Valor Presente Líquido positivo e taxas de retorno atrativas, embora demandem maior investimento inicial e longo prazo de maturação. A competitividade desses projetos aumenta significativamente com a inclusão de pagamentos por serviços ambientais e diversificação da produção. Conclui-se que a restauração produtiva constitui uma ferramenta robusta de mitigação climática, apresentando viabilidade econômica sustentada, especialmente quando amparada por políticas de fomento e acesso a mercados de carbono, preenchendo lacunas críticas entre conservação e produção rural.

Palavras-chave: Sistemas agroflorestais. Restauração florestal. Sequestro de carbono. Viabilidade econômica. Serviços ecossistêmicos.

ABSTRACT (ENGLISH):

The conversion of forests into degraded pastures is a critical driver of greenhouse gas emissions. In this scenario, agroforestry and silvopastoral systems emerge as productive restoration strategies to reconcile environmental recovery, carbon sequestration, and income generation. This study aimed to synthesize evidence on carbon stocks and the economic viability of these systems in degraded areas of developing countries. A systematized literature review (2000–2025) was conducted using international and regional databases, prioritizing studies that quantified soil and biomass carbon alongside financial indicators. Results indicate that such systems accumulate above-ground biomass superior to pastures, approaching secondary forests, and increase soil carbon by 12% to 50% compared to conventional management. Economically, they present positive Net Present Value and attractive rates of return, although requiring higher initial investment and longer maturation periods. Project competitiveness significantly increases with the inclusion of payments for environmental services and production diversification. It is concluded that productive restoration constitutes a robust climate mitigation tool, presenting sustained economic viability, especially when supported by incentive policies and access to carbon markets, bridging critical gaps between conservation and rural production.

Keywords: Agroforestry systems. Forest restoration. Carbon sequestration. Economic viability. Ecosystem services.

RESUMEN (ESPAÑOL):

La conversión de bosques en pastizales degradados es un vector crítico de emisiones de gases de efecto invernadero. En este escenario, los sistemas agroforestales y silvopastoriles emergen como estrategias de restauración productiva para conciliar la recuperación ambiental, el secuestro de carbono y la generación de ingresos. El objetivo de este estudio fue sintetizar evidencias sobre las reservas de carbono y la viabilidad económica de estos sistemas en áreas degradadas de países en desarrollo. Se realizó una revisión sistematizada de la literatura (2000–2025) en bases de datos internacionales y regionales, priorizando estudios que cuantificaron carbono en el suelo y biomasa, junto con indicadores financieros. Los resultados indican que tales sistemas acumulan biomasa aérea superior a los pastizales, aproximándose a bosques secundarios, e incrementan el carbono edáfico entre un 12% y un 50% comparado con el manejo convencional. Económicamente, presentan un Valor Actual Neto positivo y tasas de retorno atractivas, aunque demandan mayor inversión inicial y un largo plazo de maduración. La competitividad de estos proyectos aumenta significativamente con la inclusión de pagos por servicios ambientales y la diversificación de la producción. Se concluye que la restauración productiva constituye una herramienta robusta de mitigación climática, presentando viabilidad económica sostenida, especialmente cuando está amparada por políticas de fomento y acceso a mercados de carbono, llenando vacíos críticos entre conservación y producción rural.

Palabras clave: Sistemas agroforestales. Restauración forestal. Secuestro de carbono. Viabilidad económica. Servicios ecosistémicos.

1. INTRODUÇÃO

A expansão histórica de pastagens e monoculturas em ecossistemas tropicais resultou em extensas áreas degradadas, marcadas por baixa produtividade, perda de biodiversidade e de estoques de carbono no solo e na biomassa (NAIR *et al.*, 2010; ALBRECHT; KANDJI, 2003). Em países em desenvolvimento, onde a pressão por produção de alimentos e *commodities* é elevada, a restauração ecológica clássica (baseada apenas em florestas de conservação) nem sempre é politicamente ou economicamente viável em larga escala.

Nesse contexto, sistemas de restauração produtiva — que combinam árvores, culturas agrícolas e/ou pastagens em arranjos agroflorestais e silvipastoris — têm sido propostos como soluções de “ganho mútuo” ao recuperar funções ecológicas e gerar renda para agricultores (JOSE, 2009; MARTINS *et al.*, 2019). Sistemas agroflorestais (SAFs) em áreas degradadas podem, em teoria, (i) aumentar o estoque de carbono no solo e na vegetação, (ii) melhorar a ciclagem de nutrientes e a infiltração de água, (iii) diversificar a produção (madeira, frutos, sementes, serviços ambientais) e (iv) reduzir a vulnerabilidade econômica dos produtores (MARTINS *et al.*, 2019; OLIVEIRA *et al.*, 2024).

A literatura sobre SAFs é extensa, mas ainda fragmentada em dois campos: estudos de balanço de carbono e estudos de viabilidade econômica, frequentemente conduzidos de forma independente (NAIR *et al.*, 2010; JOSE, 2009). Para orientar políticas de restauração em larga escala e programas de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA), é crucial integrar essas duas

dimensões: qual o ganho real de carbono por hectare de restauração produtiva e qual o custo e retorno econômico por unidade de área e por tonelada de CO₂ eq?

Assim, esta revisão sistematizada busca responder à pergunta: *em que medida sistemas de restauração produtiva baseados em SAFs em áreas degradadas são economicamente viáveis e capazes de aumentar estoques de carbono em relação aos usos convencionais do solo?*

2. METODOLOGIA

2.1 Tipo de estudo

Foi conduzida uma revisão sistematizada da literatura, de caráter narrativo-analítico, inspirada nas diretrizes PRISMA, porém sem pretensão de exaustividade estatística. O foco foi integrar evidências quantitativas de estoque de carbono e desempenho econômico em sistemas agroflorestais e integrados implementados em áreas degradadas ou de uso agropecuário intensivo.

2.2 Estratégia de busca

Foram consultadas as bases Web of Science, Scopus, ScienceDirect, SciELO, além de buscas dirigidas em periódicos de acesso aberto (por exemplo, Forests, Sustainability, Research, Society and Development) e repositórios institucionais (Embrapa). As combinações de descritores incluíram termos em inglês, português e espanhol, tais como:

- “agroforestry” AND (economic OR financial) AND (“degraded land” OR “restoration”)
- “silvopastoral” AND (“carbon stock” OR “soil carbon”) AND (“economic” OR “cost-benefit”)
- “sistema agroflorestal” AND “viabilidade econômica” AND “área degradada”
- “restauração produtiva” AND “estoque de carbono”

Foram considerados estudos publicados entre 2000 e novembro de 2025, em países tropicais e subtropicais, com ênfase em Brasil e América Latina.

2.3 Critérios de inclusão e exclusão

Foram incluídos estudos que:

- Descrevem sistemas agroflorestais, silvipastoris ou de integração lavoura-pecuária-floresta implementados em:
 - áreas explicitamente classificadas como degradadas (pastagens degradadas, solos empobrecidos, áreas pós-coivara), ou

- áreas agropecuárias de baixa produtividade com objetivos explícitos de restauração ou intensificação sustentável.
- Quantificam ao menos um dos seguintes aspectos:
 - estoque de carbono na biomassa e/ou no solo,
 - taxa de sequestro de carbono,
 - indicadores econômicos (VPL, TIR, payback, análise custo-benefício, fluxo de caixa descontado).
- Comparam, sempre que possível, o sistema de restauração produtiva com um uso alternativo do solo (pastagem convencional, monocultura agrícola ou floresta nativa/vegetação secundária).

Foram excluídos artigos puramente conceituais, estudos sem dados quantitativos sobre carbono ou economia e trabalhos em que o componente arbóreo não tinha papel relevante na estrutura do sistema.

2.4 Análise dos dados

Dada a heterogeneidade de contextos, espécies, horizontes temporais e métodos de mensuração, não foi realizada meta-análise formal. Os resultados foram sintetizados por meio de:

- categorização dos sistemas (SAFs agrícolas, sistemas silvipastoris, ILPF/ICLFS),
- comparação qualitativa de faixas de estoque de carbono e solos sob uso alternativo,
- análise dos sinais dos principais indicadores econômicos (VPL, TIR, payback) e dos fatores que afetam a viabilidade (custos de implantação, tempo até a colheita, PSA, preços de produtos).

3. RESULTADOS

Os estudos revisados abrangem uma ampla gama de arranjos:

- SAFs agrícolas com cacau, café, cupuaçu, espécies madeireiras e frutíferas em áreas originalmente de floresta convertidas em pastagens ou roças de coivara (MARTINS *et al.*, 2019; MOTA *et al.*, 2022; LIMA; ASSUNÇÃO, 2024).
- Sistemas silvipastoris com árvores dispersas em pastagem, linhas de árvores com pasto entre linhas e pastagens sob plantios florestais comerciais, em zonas tropicais úmidas e

semiáridas (SILVA-OLAYA *et al.*, 2022; TORRES *et al.*, 2023; LÓPEZ-HERNÁNDEZ *et al.*, 2023).

- Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF/ICLFS) implantados em pastagens degradadas para recompor produtividade e serviços ecossistêmicos (OLIVEIRA *et al.*, 2024; EMBRAPA, 2024a).

Em todos os casos, a restauração produtiva é concebida como estratégia de recuperação de solo e serviços ecossistêmicos, com geração simultânea de produtos comercializáveis.

Em paisagens degradadas de Java Ocidental, na Indonésia, sistemas agroflorestais em terras previamente degradadas apresentaram estoques de carbono acima do solo variando de 37 a 109 Mg C ha⁻¹, dependendo da composição de espécies e idade do sistema, com aumento significativo em relação a usos agrícolas simplificados (SIARUDIN *et al.*, 2021). Em sistemas silvipastoris com *Leucaena leucocephala* no sul do México, os estoques totais de carbono (solo + biomassa) em silvipastagens superaram os de pastagens puras, com taxas de sequestro relevantes para mitigação climática em escala de propriedade (LÓPEZ-HERNÁNDEZ *et al.*, 2023).

Revisões globais indicam que SAFs tropicais podem estocar entre 12 e 228 Mg C ha⁻¹ adicionais em comparação a usos agrícolas convencionais, com taxas de sequestro anuais de 1,5–3,5 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹ em muitos arranjos (ALBRECHT; KANDJI, 2003; NAIR *et al.*, 2010). Esses valores colocam os SAFs entre as mais promissoras “soluções baseadas na natureza” para mitigação em países tropicais.

Na Caatinga brasileira, pesquisa de longo prazo coordenada pela Embrapa mostrou que sistemas agroflorestais e integrados podem elevar o estoque de carbono orgânico no solo em até 50% em relação à vegetação nativa em determinados cenários de manejo, ao passo que sistemas convencionais de coivara e pousio curto promovem perda acelerada de carbono (EMBRAPA, 2024a). Simulações complementares, publicadas em periódico internacional, indicam que SAFs no semiárido podem aumentar o estoque de carbono no solo em até 30,9% ao longo de décadas, comparados à vegetação natural, revertendo parcialmente a dívida de carbono associada à conversão anterior (EMBRAPA, 2024b).

No bioma Amazônia, sistemas silvipastoris apresentam melhoria significativa na saúde do solo, com maior teor de carbono orgânico, maior atividade enzimática e melhor estrutura física em comparação a pastagens convencionais, além de redução de emissões de CO₂ do solo

(SILVA-OLAYA *et al.*, 2022). Em gradiente altitudinal no Equador, sistemas silvipastoris apresentaram estoques de carbono superiores aos de pastagens, especialmente nas camadas superficiais do solo, destacando o papel das árvores na acumulação de carbono (TORRES *et al.*, 2023).

Estudo recente em pastagens tropicais mostrou que sistemas silvipastoris podem apresentar estoques totais de carbono 50–53% superiores aos de pastagens a pleno sol e reduzir as emissões de CO₂ do solo em 12–32%, com ganhos paralelos de conforto térmico e microclima para animais (SILVA-OLAYA *et al.*, 2022; VILLANUEVA-LÓPEZ *et al.*, 2016). Esses resultados convergem para a conclusão de que a inclusão de árvores em pastagens degradadas é uma estratégia consistente de aumento de estoque de carbono e mitigação de emissões.

Além do carbono, SAFs de restauração produtiva estão associados a:

- maior diversidade de espécies e de produtos (madeira, frutos, plantas medicinais),
- melhoria da infiltração de água e redução de erosão,
- aumento da resiliência a secas e extremos climáticos (JOSE, 2009; MARTINS *et al.*, 2019; OLIVEIRA *et al.*, 2024).

Embora esses serviços nem sempre sejam monetizados nas análises econômicas, repercutem na estabilidade da produção e do fluxo de renda, o que é central para a viabilidade de projetos em áreas degradadas.

Na Amazônia brasileira, o cultivo de cumaru (*Dipteryx odorata*) em sistemas agroflorestais foi avaliado como alternativa econômica para agricultores familiares em região marcada por uso predatório de coivara. A análise de fluxo de caixa descontado indicou VPL positivo e TIR competitiva, com horizonte de retorno compatível com a realidade de produtores familiares, tornando o SAF uma alternativa atrativa à manutenção de práticas degradantes (MOTA *et al.*, 2022).

Em Concórdia do Pará, estudo de caso sobre um SAF diversificado implantado em contexto de restauração produtiva demonstrou viabilidade econômico-financeira com VPL positivo e TIR superior à taxa mínima de atratividade escolhida, especialmente em cenários de preço mais favorável para produtos florestais não madeireiros (TERASAWA *et al.*, 2022). Esses resultados reforçam que a combinação de espécies de ciclo curto (frutíferas, produtos anuais) com espécies de ciclo longo (madeira nobre) é chave para reduzir o tempo de payback.

Revisão sobre viabilidade de SAFs em relação à monocultura, com foco no contexto brasileiro, concluiu que SAFs tendem a apresentar maior estabilidade de renda e melhor relação benefício–custo no longo prazo, embora exijam maior capacidade de gestão e investimento inicial mais elevado (MAIA, 2023). De modo geral, a literatura convergente indica que SAFs são financeiramente viáveis em contextos de agricultura familiar quando há acesso a assistência técnica, mercados e instrumentos de apoio (crédito, PSA).

Para sistemas com enfoque em *commodities*, como café, estudo no sudoeste de Goiás comparou a viabilidade econômica da cafeicultura em sistema agroflorestal versus cultivo convencional. O sistema convencional apresentou maior retorno financeiro direto; contudo, o SAF também apresentou resultados econômicos positivos, configurando alternativa de produção sustentável, capaz de prover segunda fonte de renda por meio das espécies arbóreas e de reduzir riscos associados a flutuações de mercado e clima (LIMA; ASSUNÇÃO, 2024).

Revisões e estudos de caso sobre integração lavoura-pecuária-floresta no Cerrado sugerem que a adoção de sistemas integrados em pastagens degradadas aumenta a produtividade física (carne, grãos, madeira) e melhora a saúde do solo, com resultados financeiros competitivos quando o sistema é bem manejado e quando políticas de fomento reduzem o custo de transição (OLIVEIRA *et al.*, 2024).

Uma parte mais recente da literatura integra diretamente o componente de carbono às análises econômicas por meio de Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA) e créditos de carbono.

No Distrito Federal, projeto de implantação de 16,9 ha de SAFs em assentamentos de reforma agrária foi analisado sob cenários com e sem PSA. Sem considerar PSA, a viabilidade econômica era positiva, porém marginal em alguns cenários de preço; ao incorporar pagamentos por serviços ecossistêmicos (incluindo carbono), o VPL aumentou de forma significativa e a atratividade do projeto tornou-se robusta para produtores e investidores (DOMINICIS *et al.*, 2023).

Resultado semelhante foi observado em programas de PSA no México, onde a participação contínua de produtores em esquemas de pagamentos por serviços ambientais reduziu o desmatamento em fronteiras agrícolas e reforçou a adoção de práticas agroflorestais e de conservação (CHAROUD *et al.*, 2023). Embora esses estudos não quantifiquem explicitamente o custo por tonelada de CO₂ eq, eles demonstram que a internalização de

serviços ambientais pode ser decisiva para a viabilidade e permanência dos SAFs de restauração.

Estudos de silvipastagens que estimam estoques de carbono em biomassa e solo, como os de LÓPEZ-HERNÁNDEZ *et al.* (2023) e TORRES *et al.* (2023), apontam potenciais relevantes de sequestro por hectare, que, quando valorizados em mercados voluntários de carbono, podem gerar fluxo de caixa adicional capaz de reduzir o tempo de payback de investimentos em árvores e na recuperação de solos degradados..

4. DISCUSSÕES

Os resultados convergem para a ideia de que SAFs e sistemas integrados são instrumentos centrais para uma restauração produtiva capaz de:

- Recompor estoques de carbono na biomassa e no solo em áreas degradadas, frequentemente aproximando-se ou superando sistemas de vegetação secundária e superando pastagens convencionais (NAIR *et al.*, 2010; SIARUDIN *et al.*, 2021; EMBRAPA, 2024a, 2024b).
- Gerar fluxos de caixa por meio de produtos agrícolas, florestais e pecuários, ao mesmo tempo em que fornecem serviços de longo prazo (sombreamento, proteção de solo, regulação microclimática) (JOSE, 2009; SILVA-OLAYA *et al.*, 2022).
- Oferecer base técnica para PSA relacionados a carbono, água e biodiversidade (DOMINICIS *et al.*, 2023; CHAROUD *et al.*, 2023).

A principal tensão é temporal: o acúmulo de carbono máximo ocorre tipicamente em horizontes de décadas, enquanto produtores precisam de fluxos de renda em poucos anos. A literatura mostra que arranjos com espécies de rápido crescimento e produtos de retorno precoce (frutíferas, grãos, adensamento inicial de árvores) são mais compatíveis com essa realidade (MARTINS *et al.*, 2019; MOTA *et al.*, 2022; TERASAWA *et al.*, 2022).

A viabilidade financeira dos SAFs de restauração produtiva depende de fatores como:

- **Custo de implantação e manutenção:** maior densidade de espécies e complexidade de manejo elevam custos iniciais, exigindo crédito adequado e assistência técnica.
- **Horizonte temporal e taxa de desconto:** projetos de restauração produtiva são sensíveis à taxa de desconto; taxas mais altas penalizam fluxos de caixa de longo prazo (LIMA; ASSUNÇÃO, 2024; MAIA, 2023).

- **Preços e mercados para produtos florestais e não madeireiros:** a existência de mercados para produtos como cumaru, cacau e madeiras nativas é determinante para transformar benefícios potenciais em receitas efetivas (MOTA *et al.*, 2022).
- **Instrumentos de PSA e créditos de carbono:** quando presentes, podem elevar VPL e tornar projetos anteriormente marginais em altamente atrativos (DOMINICIS *et al.*, 2023; CHAROUD *et al.*, 2023).

Um ponto pouco explorado, mas crítico, é a medição e certificação do carbono em SAFs. Muitos estudos quantificam o carbono, mas poucos conectam isso a metodologias de mercado (protocolos, MRV) que permitam monetizar o serviço em créditos de carbono robustos.

Entre as principais limitações identificadas:

- Heterogeneidade de métricas: métodos distintos de estimar carbono em solo e biomassa dificultam comparações diretas entre estudos (NAIR *et al.*, 2010; OLIVEIRA *et al.*, 2024).
- Poucos estudos explicitamente em “áreas degradadas” com definição operacional clara; muitos usam o termo de forma ampla, sem caracterização quantitativa do grau de degradação.
- Integração parcial entre carbono e economia: raramente um mesmo estudo quantifica, de forma integrada, estoque de carbono, fluxo de sequestro, VPL, TIR e custo por tonelada de CO₂ eq.

Essas lacunas indicam a necessidade de desenhar estudos futuros com protocolos integrados, capazes de gerar indicadores comparáveis entre sistemas e regiões, bem como direcionam algumas implicações práticas para diferentes atores podem ser sintetizadas:

- Para produtores em áreas degradadas
 - Priorizar arranjos SAF que combinem espécies de ciclo curto (frutas, produtos anuais) com árvores de alto valor madeireiro ou de uso múltiplo, reduzindo o tempo de retorno do investimento (MOTA *et al.*, 2022; TERASAWA *et al.*, 2022).
 - Utilizar o SAF como eixo para acessar programas de PSA e linhas de crédito verde, internalizando o benefício climático na renda da propriedade (DOMINICIS *et al.*, 2023).
- Para formuladores de políticas públicas
 - Estruturar programas de restauração produtiva com enfoque em áreas degradadas, vinculando incentivos financeiros (PSA, crédito rural diferenciado) a projetos com

comprovação de aumento de estoque de carbono e indicadores mínimos de viabilidade econômica.

- Investir em sistemas de monitoramento simplificados que permitam estimar, com custos razoáveis, o carbono adicional acumulado em SAFs e sistemas integrados.
- Para pesquisadores
 - Desenvolver protocolos e modelos que quantifiquem conjuntamente estoque de carbono, sequestro anual, custos de implantação, fluxos de caixa e custo por tonelada de CO₂ eq.
 - Expandir estudos longitudinais em áreas degradadas, com séries temporais que cubram desde a implantação até a fase de maturidade dos SAFs.

5. CONCLUSÃO

A revisão sistematizada da literatura indica que, do ponto de vista ecológico, sistemas de restauração produtiva baseados em SAFs e sistemas silvipastoris em áreas degradadas aumentam de forma consistente os estoques de carbono no solo e na biomassa e contribuem para mitigar emissões de CO₂ do solo, em comparação a pastagens convencionais e sistemas agrícolas simplificados (ALBRECHT; KANDJI, 2003; NAIR *et al.*, 2010; SIARUDIN *et al.*, 2021; LÓPEZ-HERNÁNDEZ *et al.*, 2023; EMBRAPA, 2024a, 2024b; SILVA-OLAYA *et al.*, 2022; TORRES *et al.*, 2023).

Do ponto de vista econômico, a maioria dos estudos aponta viabilidade financeira positiva ($VPL > 0$, $TIR >$ taxa de desconto) em contextos de agricultura familiar e integração produtiva, embora muitas vezes com retorno mais lento e maior complexidade de manejo do que monoculturas, o que exige desenho cuidadoso de arranjos e apoio técnico-financeiro (MOTA *et al.*, 2022; TERASAWA *et al.*, 2022; LIMA; ASSUNÇÃO, 2024; MAIA, 2023; OLIVEIRA *et al.*, 2024).

Quando PSA e créditos de carbono são incorporados, o perfil de risco–retorno de SAFs de restauração melhora de forma significativa, tornando-os alternativas competitivas para restauração em larga escala, capazes de reconciliar metas climáticas, de segurança alimentar e de geração de renda (DOMINICIS *et al.*, 2023; CHAROUD *et al.*, 2023).

Em síntese, os sistemas de restauração produtiva baseados em SAFs configuraram um caminho promissor e custo-efetivo para recuperar áreas degradadas em países em

desenvolvimento, desde que sejam acompanhados por políticas públicas consistentes, acesso a mercados e instrumentos que reconheçam, em valor monetário, o carbono e demais serviços ecossistêmicos gerados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBRECHT, A.; KANDJI, S. T. Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 99, p. 15–27, 2003. DOI: 10.1016/S0167-8809(03)00138-5.
- CHAROUD, H. *et al.* Sustained participation in a Payments for Ecosystem Services program reduces deforestation in a Mexican agricultural frontier. *Scientific Reports*, v. 13, 22314, 2023. DOI: 10.1038/s41598-023-49725-7.
- DOMINICIS, L. F. de *et al.* Payment for Environmental Services and the Financial Viability of Agroforestry Systems: An Integrated Analysis of Socio-Environmental Projects in the Descoberto Basin—Federal District. *Forests*, v. 14, n. 10, 2110, 2023. DOI: 10.3390/f14102110.
- EMBRAPA. Sistemas integrados de produção aumentam matéria orgânica em solos da Caatinga. Portal Embrapa, 12 mar. 2024a. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/87504504>. Acesso em: 28 nov. 2025.
- EMBRAPA. Sistemas agroflorestais promovem estoque de carbono no solo 30% maior do que o da vegetação natural. Portal Embrapa, 2024b. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/89033486>. Acesso em: 28 nov. 2025.
- JOSE, S. Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview. *Agroforestry Systems*, v. 76, n. 1, p. 1–10, 2009. DOI: 10.1007/s10457-009-9229-7.
- LIMA, M. A. de; ASSUNÇÃO, H. F. da. Viabilidade econômica do cafeeiro cultivado em sistema agroflorestal no Sudoeste de Goiás. *Revista Sistemática*, v. 14, n. 3, p. 600–631, 2024. DOI: 10.56238/rCSV14n3-013.
- LÓPEZ-HERNÁNDEZ, J. C. *et al.* Carbon storage and sequestration rates in *Leucaena leucocephala*-based silvopasture in Southern Mexico. *Agroforestry Systems*, v. 97, n. 5, p. 1105–1121, 2023. DOI: 10.1007/s10457-023-00922-3.
- MAIA, F. R. The economic viability of an agroforestry system in relation to monoculture. *Journal of Interdisciplinary Debates*, v. 4, n. 4, 2023. DOI: 10.51249/jid.v4i04.1744.
- MARTINS, E. M. *et al.* O uso de sistemas agroflorestais diversificados na restauração florestal na Mata Atlântica. *Ciência Florestal*, v. 29, n. 2, p. 632–648, 2019. DOI: 10.5902/1980509829050.

MOTA, C. G. da *et al.* Cumaru cultivation as an economical alternative for family farmers: a case study in the western region of Pará. Research, Society and Development, v. 11, n. 3, e26732, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i3.26732.

NAIR, P. K. R. *et al.* Carbon sequestration in agroforestry systems. Advances in Agronomy, v. 108, p. 237–307, 2010. DOI: 10.1016/S0065-2113(10)08005-3.

OLIVEIRA, D. M. S. *et al.* Crop, livestock, and forestry integration to reconcile soil health, food production, and climate change mitigation in the Brazilian Cerrado: A review. Geoderma Regional, v. 38, e00796, 2024. DOI: 10.1016/j.geodrs.2024.e00796.

SIARUDIN, M. *et al.* Carbon Sequestration Potential of Agroforestry Systems in Degraded Landscapes in West Java, Indonesia. Forests, v. 12, n. 6, 714, 2021. DOI: 10.3390/f12060714.

SILVA-OLAYA, A. M. *et al.* Silvopastoral Systems Enhance Soil Health in the Amazon Region. Sustainability, v. 14, n. 1, 320, 2022. DOI: 10.3390/su14010320.

TERASAWA, T. K. *et al.* Economic-financial viability of an agroforestry system in Pará-Brazil: case study in Concórdia do Pará. Research, Society and Development, v. 11, n. 10, e32341, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i10.32341.

TORRES, J. E. R. *et al.* Carbon Stock Assessment in Silvopastoral Systems along an Elevational Gradient: A Study from Cattle Producers in the Sumaco Biosphere Reserve, Ecuadorian Amazon. Sustainability, v. 15, n. 1, 449, 2023. DOI: 10.3390/su15010449.

VILLANUEVA-LÓPEZ, G. *et al.* Live fences reduce the diurnal and seasonal fluctuations of soil CO₂ emissions in livestock systems. Agronomy for Sustainable Development, v. 36, n. 1, 2016. DOI: 10.1007/s13593-016-0358-x.