

Integração lavoura-pecuária-floresta e avaliação do ciclo de vida no agronegócio brasileiro: uma revisão sobre mitigação de gases de efeito estufa

Crop-livestock-forest integration and life cycle assessment in brazilian agribusiness: a review on greenhouse gas mitigation

Integración agricultura-ganadería-bosque y evaluación del ciclo de vida en el agronegocio brasileño: una revisión sobre mitigación de gases de efecto invernadero

Nelson Barbosa Meira Fioravante¹

Clandio Favarini Ruviano²

¹Especialista em Engenharia de Redes e Segurança de Dados pela Faculdade Focus. MBA em Auditoria Contábil, em Práticas de Gestão na Administração Pública e em Engenharia Econômica pela Faculdade Focus. MBA em Contabilidade Gerencial e Controladoria pelo Centro Universitário da Grande Dourados (UNIGRAN). Graduado em Tecnologia em Análise e Desenvolvimento de Sistemas pelo Centro Universitário UNIFATECIE, em Ciências Contábeis e em Administração pelo Centro Universitário da Grande Dourados (UNIGRAN). **E-mail:** nelson.meiraddos@gmail.com, **Orcid:** <https://orcid.org/0000-0002-4491-0159>

²Pós-doutorado pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Doutor em Agronegócios pela UFRGS. Mestre em Zootecnia pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). MBA em Agronegócios pela Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC). Especialista em Sistemas de Computação e graduado em Zootecnia pela UFSM. Professor Associado da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), atuando nos Programas de Pós-Graduação em Agronegócios e Zootecnia. Pesquisador nível 2 de produtividade do CNPq, Líder do Grupo de Pesquisa ACV no Agronegócio e co-líder do Núcleo de Pesquisa Ambiental, Social e Econômica (NUPASE). Integra o grupo Livestock Environmental Assessment and Performance (LEAP) da FAO/ONU e é membro da American Center for Life Cycle Assessment (ACLCA), da Associação Brasileira de Avaliação do Ciclo de Vida (ABCV) e da Advances in Cleaner Production Network. Atua como consultor da FAO Brasil/ONU, revisor ad hoc de periódicos científicos e consultor científico do CNPq e da FAPESC. **E-mail:** clandioruviano@ufgd.edu.br, **Orcid:** <https://orcid.org/0000-0003-3117-5359>

Resumo: Esta revisão bibliográfica narrativa avalia o potencial da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) e da Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) como estratégias de mitigação de gases de efeito estufa (GEE) no agronegócio brasileiro. A literatura analisada indica que sistemas ILPF podem reduzir expressivamente as emissões de metano entérico bovino, com resultados que apresentam variabilidade significativa em função de condições edafoclimáticas, manejo e composição do sistema. A ILPF favorece a recuperação de pastagens degradadas e a eficiência no uso de recursos naturais, enquanto a ACV identifica pontos críticos nas cadeias produtivas. Combinadas a instrumentos de política pública como o Plano ABC e o Mercado Brasileiro de Redução de Emissões, essas estratégias podem contribuir para o alinhamento do setor às metas do Acordo de Paris e para o fortalecimento da competitividade do agronegócio brasileiro.

Palavras-chave: integração lavoura-pecuária-floresta; avaliação do ciclo de vida; gases de efeito estufa; agricultura de baixo carbono; sustentabilidade.

Abstract: This narrative bibliographic review evaluates the potential of Life Cycle Assessment (LCA) and Crop-Livestock-Forest Integration (CLFI) as greenhouse gas (GHG) mitigation strategies in Brazilian agribusiness. The analyzed literature indicates that CLFI systems can significantly reduce bovine enteric methane emissions, with results showing significant variability depending on edaphoclimatic conditions, management and system composition. CLFI promotes the recovery of degraded pastures and efficient use of natural resources, while LCA identifies critical points in production chains. Combined with public policy instruments such as the ABC Plan and the Brazilian Emissions Reduction Market, these strategies may contribute to aligning the sector with Paris Agreement goals and strengthening the competitiveness of Brazilian agribusiness.

Keywords: crop-livestock-forest integration; life cycle assessment; greenhouse gases; low-carbon agriculture; sustainability.

Resumen: Esta revisión bibliográfica narrativa evalúa el potencial de la Evaluación del Ciclo de Vida (ECV) y la Integración Agricultura-Ganadería-Bosque (IAGB) como estrategias de mitigación de gases de efecto invernadero (GEI) en la agroindustria brasileña. La literatura analizada indica que los sistemas IAGB pueden reducir significativamente las emisiones de metano entérico bovino, con resultados que presentan variabilidad significativa en función de las condiciones edafoclimáticas, el manejo y la composición del sistema. La IAGB favorece la recuperación de pastizales degradados y la eficiencia en el uso de recursos naturales, mientras que la ECV identifica puntos críticos en las cadenas productivas. Combinadas con instrumentos de política pública como el Plan ABC y el Mercado Brasileño de Reducción de Emisiones, estas estrategias pueden contribuir al alineamiento del sector con las metas del Acuerdo de París y al fortalecimiento de la competitividad de la agroindustria brasileña.

Palabras clave: integración agricultura-ganadería-bosque; evaluación del ciclo de vida; gases de efecto invernadero; agricultura baja en carbono; sostenibilidad.

1 INTRODUÇÃO

O agronegócio brasileiro ocupa posição de destaque na economia global, sendo um dos principais produtores e exportadores de alimentos. Contudo, essa relevância econômica está associada a desafios ambientais expressivos: o setor agropecuário é responsável por parcela significativa das emissões de gases de efeito estufa (GEE) no país, situando o Brasil entre os maiores emissores da América Latina.

Em 2023, o Brasil registrou redução expressiva nas emissões de GEE, impulsionada por políticas de controle do desmatamento e pela adoção de práticas agrícolas mais sustentáveis, como a Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF). A ILPF combina sistemas produtivos, agrícola, pecuário e florestal em uma mesma área de forma integrada e planejada, buscando otimizar recursos naturais, elevar a produtividade e minimizar impactos ambientais.

Diante da necessidade de conciliar produtividade com sustentabilidade, este estudo propõe a seguinte questão central: como a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), aplicada à ILPF, pode identificar e quantificar estratégias efetivas de mitigação de GEE no agronegócio brasileiro?

A ACV tem sido reconhecida internacionalmente como metodologia abrangente para analisar impactos ambientais em todas as etapas produtivas. Pesquisadores como Claudino e Talamini (2013) e Baldini *et al.* (2017) têm investigado sua aplicação no contexto agrícola, evidenciando seu potencial para identificar pontos críticos de emissão e orientar melhorias em sistemas produtivos. Paralelamente, autores como Manzatto *et al.* (2019) e Souza *et al.* (2019) têm documentado resultados promissores de sistemas ILPF quanto à redução de emissões de GEE e ao sequestro de carbono no Brasil.

O objetivo deste estudo é investigar, com base na literatura científica disponível, o potencial da ACV para identificar e quantificar as estratégias de mitigação de GEE proporcionadas pela ILPF no agronegócio brasileiro. Os aprofundamentos analíticos e o confronto com a literatura são desenvolvidos nas seções de resultados e discussão.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo configura-se como uma revisão bibliográfica de caráter narrativo e abordagem exploratória, baseada em dados secundários extraídos da literatura científica. A opção pela revisão narrativa justifica-se pela natureza exploratória do tema e pela necessidade de articular conhecimentos provenientes de campos distintos, ACV e sistemas ILPF, ainda sem síntese consolidada na literatura nacional. Reconhece-se, contudo, que esse tipo de revisão apresenta limitações em relação a revisões sistemáticas e meta-análises, sobretudo quanto à replicabilidade dos critérios de seleção e à possibilidade de viés na escolha das fontes.

A pesquisa foi realizada nas bases de dados Google Scholar, Portal Capes, Scopus e SciELO, priorizando publicações de 2013 a 2024. As palavras-chave foram empregadas de forma isolada e combinada: "práticas sustentáveis de baixo carbono", "Avaliação do Ciclo de Vida no agronegócio", "Mitigação de Gases de Efeito Estufa no Agronegócio" e "Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF)". Foram também consultados relatórios e documentos técnicos de organizações como a Embrapa e o SEEG, que complementaram as informações sobre emissões de GEE e práticas sustentáveis. Reconhece-se que a presença de fontes institucionais e literatura cinzenta pode introduzir limitações quanto à revisão crítica independente dos dados.

Os critérios de inclusão compreenderam: (1) artigos que abordassem a aplicação da ACV no agronegócio brasileiro, com ênfase em práticas sustentáveis como a ILPF; (2) estudos com dados quantitativos ou qualitativos sobre mitigação de GEE, incluindo CO₂, CH₄ e N₂O; (3) publicações em periódicos revisados por pares ou anais de congressos científicos. Foram excluídos artigos sem foco no contexto brasileiro ou que não detalhassem as etapas do ciclo de vida analisadas. Inicialmente, 49 referências foram identificadas e triadas por títulos e resumos; 16 atenderam aos critérios e foram selecionadas para análise aprofundada. Essa amostra abrange os principais estudos publicados sobre ACV aplicada à ILPF no Brasil no período analisado, sendo considerada representativa do estado da arte disponível na literatura nacional sobre o tema. Adicionalmente, dados do Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SEEG) foram utilizados para contextualizar as emissões brasileiras, destacando a redução de 12% registrada em 2023, atribuída a

políticas de controle do desmatamento e à adoção de práticas como a ILPF (SEEG, 2023). O SEEG oferece informações detalhadas por setor, facilitando uma avaliação precisa do impacto das práticas agrícolas.

A análise de conteúdo baseou-se em categorias temáticas predefinidas: (1) redução de emissões de GEE; (2) captura e sequestro de carbono; (3) eficiência no uso de recursos naturais; (4) impactos econômicos; e (5) políticas públicas e mercado de carbono. Cada referência foi classificada segundo os temas abordados, possibilitando análise comparativa e identificação de padrões e lacunas.

Cabe explicitar que a ACV, neste estudo, é tratada exclusivamente como objeto de análise bibliográfica, não foram conduzidas avaliações de ciclo de vida originais pelos autores. Os resultados apresentados derivam integralmente dos estudos primários consultados, cujos limites de sistema variavam entre "do berço ao portão" (Cradle-to-Gate) e "do berço ao túmulo" (Cradle-to-Grave), o que contribui para a heterogeneidade dos resultados reportados.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados desta revisão bibliográfica, baseados na análise da literatura selecionada, indicam que a ACV constitui ferramenta relevante para avaliar os impactos ambientais no agronegócio brasileiro. É importante ressaltar que os dados apresentados a seguir derivam de estudos primários conduzidos em contextos específicos com diferentes biomas, sistemas de manejo, composições arbóreas e condições edafoclimáticas, o que impõe cautela na generalização dos resultados.

A literatura analisada sugere que práticas como a ILPF possuem potencial significativo para mitigar as emissões de GEE, ao mesmo tempo em que promovem a eficiência no uso de recursos naturais e a conservação da biodiversidade. A aplicação da ACV a sistemas produtivos permite identificar pontos críticos de impacto ambiental em cadeias específicas, possibilitando a proposição de melhorias práticas (Claudino; Talamini, 2013). No contexto da ILPF, a metodologia pode quantificar benefícios como a recuperação de pastagens degradadas, o aumento da captura de carbono e a redução de emissões associadas ao uso de fertilizantes químicos, conforme discutido

em estudos sobre sistemas integrados (Santos *et al.*, 2023; Andrade; Santos, 2023).

Entre os principais eixos temáticos identificados na literatura sobre ILPF, destacam-se os seguintes:

Redução de emissões de GEE: Estudos revisados apontam resultados promissores para a mitigação de emissões em sistemas ILPF, com variabilidade considerável entre contextos. Silva *et al.* (2021), em pesquisa conduzida na Fazenda Mogi Guaçu, em Paragominas-PA, registraram saldo positivo de 0,1645 Mg CO₂eq ha⁻¹ em sistema integrado pecuária-floresta com eucalipto, indicando a neutralização do metano entérico bovino naquele contexto específico. Souza *et al.* (2019), em estudo da Embrapa Cerrados, identificaram redução de 41% nas emissões de metano entérico, atribuída ao componente arbóreo e à melhoria da fertilidade do solo. Esses dois resultados, apresentados na Tabela 1, referem-se a condições e configurações distintas e não são diretamente comparáveis: o primeiro refere-se ao balanço líquido do sistema IPF com eucalipto no Pará; o segundo, à redução percentual de emissões entéricas em sistema Embrapa Cerrados. A magnitude dos benefícios varia substancialmente conforme espécie arbórea, densidade de plantio, manejo adotado e condições climáticas locais.

Tabela 1 – Comparação das Emissões de CH₄ entre Sistemas ILPF e Convencionais – resultados de estudos distintos, em contextos e métricas não diretamente comparáveis

Aspecto	Sistema ILPF	Sistema Convencional	Resultado / Contexto	Fonte
Balanço líquido de GEE (sistema IPF com eucalipto)	Saldo positivo: 0,1645 Mg CO ₂ eq ha ⁻¹	Emissões líquidas positivas de CH ₄	Neutralização do CH ₄ entérico bovino em Paragominas-PA; resultado específico desse sistema e localidade	Silva <i>et al.</i> (2021)
Emissões de CH ₄ entérico (sistema integrado vs. convencional)	2,0 tCO ₂ e/ha/ano	3,4 tCO ₂ e/ha/ano	Redução de 41% nas emissões entéricas; Embrapa Cerrados; condições de manejo específicas	Souza <i>et al.</i> (2019)

Nota: Os dois estudos utilizam métricas e contextos distintos e não devem ser interpretados como resultados aditivos ou diretamente comparáveis.

Fonte: Elaborado pelos autores (2025) com base em Silva *et al.* (2021) e Souza *et al.* (2019).

Sequestro de carbono: A ILPF destaca-se como uma das principais estratégias do Plano ABC para mitigar emissões de GEE. Manzatto *et al.* (2019) apresentam estimativas de sequestro de carbono associadas à adoção de sistemas ILPF no Brasil, cujos valores indicativos estão sistematizados na Tabela 2. O componente florestal funciona como sumidouro de carbono, capturando CO₂ atmosférico e armazenando-o na biomassa e no solo. É fundamental destacar que as estimativas de sequestro variam amplamente na literatura em função de espécie arbórea, densidade de plantio, tipo de solo, bioma e tempo de adoção, o que limita generalizações diretas para outros contextos.

TABELA 2 – Indicadores de Sequestro de Carbono e Mitigação da ILPF no Brasil – estimativas com base em Manzatto *et al.* (2019)

Indicador	Valor estimado (Manzatto et al., 2019)
Fator de mitigação médio da ILPF	3,79 Mg CO ₂ eq/ha/ano
Sequestro estimado (2005–2016)	33 milhões de Mg CO ₂ eq
Sequestro estimado (2005–2010)	15,81 milhões de Mg CO ₂ eq
Sequestro estimado (2010–2015)	17,18 milhões de Mg CO ₂ eq
Área de adoção de ILPF (2015)	11,5 milhões de hectares
Projeção de área de ILPF (2020)	19,3 milhões de hectares
Potencial de mitigação projetado (2020)	18 a 22 milhões de Mg CO ₂ eq
Taxa de sequestro em sistemas ILP	0,82 a 2,58 Mg C/ha/ano (equiv. 3,0 a 9,5 Mg CO ₂ eq/ha/ano)

Nota: A variação na taxa de sequestro (0,82–2,58 Mg C/ha/ano) reflete a diversidade de condições edafoclimáticas e de manejo dos sistemas analisados.

Fonte: Elaborado pelos autores (2025) com base em Manzatto *et al.* (2019).

Os indicadores sistematizados na Tabela 2 derivam integralmente das estimativas de Manzatto *et al.* (2019), elaboradas a partir de dados de adoção de sistemas ILPF no Brasil e de modelos de balanço de carbono aplicados a diferentes configurações produtivas. O fator de mitigação médio de 3,79 Mg CO₂eq/ha/ano representa a média ponderada calculada pelos autores para sistemas ILPF implantados no país, ao passo que os valores de sequestro acumulado – 15,81 e 17,18 milhões de Mg CO₂eq nos períodos 2005–2010

e 2010–2015, respectivamente – resultam da multiplicação desse fator pela área de adoção estimada em cada período. A projeção de potencial de mitigação entre 18 e 22 milhões de Mg CO₂eq para 2020, ancorada na expansão prevista da área de ILPF para 19,3 milhões de hectares, conecta-se diretamente ao argumento central deste estudo: em escala nacional, a ILPF pode contribuir de forma mensurável para o cumprimento das metas de redução de emissões assumidas pelo Brasil no Acordo de Paris. Por sua vez, a amplitude da taxa de sequestro em sistemas ILP (0,82 a 2,58 Mg C/ha/ano, equivalente a 3,0 a 9,5 Mg CO₂eq/ha/ano), superior a três vezes entre os extremos, evidencia a heterogeneidade de resultados em função de bioma, espécie arbórea, densidade de plantio e manejo adotado. É justamente essa heterogeneidade que a ACV, aplicada em nível de cadeia produtiva, tem potencial para caracterizar: ao identificar os pontos críticos que mais influenciam o balanço de carbono de cada sistema específico, a metodologia fornece subsídios para que gestores e produtores priorizem intervenções de maior impacto mitigador, superando a limitação das estimativas agregadas apresentadas na tabela.

Eficiência no uso de recursos: A adoção da ILPF pode reduzir a dependência de insumos externos, como fertilizantes químicos e irrigação, promovendo maior circularidade de nutrientes (Castagnara *et al.*, 2024). A incorporação de matéria orgânica de árvores e resíduos de culturas pode melhorar fertilidade e estrutura do solo. A inclusão de leguminosas favorece a fixação biológica de nitrogênio, reduzindo a demanda por fertilizantes sintéticos. As árvores podem contribuir para a conservação da umidade do solo por meio do sombreamento, reduzindo a necessidade de irrigação. A menor utilização de fertilizantes nitrogenados está associada à redução de emissões de N₂O. Ressalta-se que tais benefícios dependem fortemente do desenho e manejo do sistema, não sendo garantidos em todas as configurações de ILPF (Vinholis *et al.*, 2021).

3.1 IMPLICAÇÕES PARA O AGRONEGÓCIO

Competitividade global: A adoção da ILPF combinada à ACV pode contribuir para alinhar o agronegócio brasileiro às metas do Acordo de Paris,

potencialmente elevando sua competitividade em mercados que priorizam práticas sustentáveis (Machado *et al.*, 2022). A ILPF possibilita a geração de créditos de carbono, comercializáveis nos mercados nacional e internacional, gerando novas fontes de renda para os produtores (Andrade; Santos, 2023). A certificação de carbono pode abrir mercados como a União Europeia, onde rastreabilidade e baixa pegada de carbono são crescentemente exigidas.

Resiliência climática: A recuperação de pastagens degradadas e o aumento do sequestro de carbono no solo podem fortalecer a resiliência dos sistemas produtivos às mudanças climáticas (Vinholis *et al.*, 2021). A ILPF pode melhorar a produtividade do solo, a retenção de água e a resistência à erosão (Telles *et al.*, 2021). Os dados disponíveis sobre esses benefícios são ainda limitados em termos de abrangência regional.

Certificação de carbono: A ILPF viabiliza a comercialização de créditos de carbono, atendendo às exigências de mercados internacionais (Andrade; Santos, 2023). Padrões como o Verified Carbon Standard (VCS) e o Gold Standard exigem rigor na quantificação e verificação das emissões reduzidas, aspecto ainda em consolidação para sistemas ILPF no Brasil.

A integração da ACV com a ILPF pode ampliar os benefícios dessas práticas, alinhando ecoeficiência, sustentabilidade e competitividade global. A ACV identifica pontos críticos de emissão no ciclo de vida, como uso de fertilizantes ou manejo do solo, e orienta medidas para otimizá-los (Machado *et al.*, 2022).

3.2 DISCUSSÕES

Esta discussão está organizada em quatro subseções: alinhamento com as metas climáticas (3.2.1); implicações práticas (3.2.2); limitações do estudo (3.2.3); e convergências e divergências com a literatura (3.2.4).

Os achados desta revisão sugerem que a ILPF e a ACV podem constituir estratégias complementares para mitigar as emissões de GEE no agronegócio brasileiro, em linha com o objetivo do Acordo de Paris de limitar o aumento da temperatura global a menos de 2°C acima dos níveis pré-industriais. Importa, contudo, situar esses resultados dentro do contexto metodológico desta revisão narrativa, que não adotou protocolo formal de avaliação de qualidade dos estudos primários.

3.2.1 Alinhamento com as metas do Acordo de Paris

O Brasil assumiu compromissos na COP15, reforçados na NDC, visando reduzir as emissões de GEE em 37% até 2025 e 43% até 2030 (Brasil, 2017). A redução de 12% registrada em 2023 (SEEG, 2024) sinaliza progresso, embora desafios permaneçam. Os dados de Silva *et al.* (2021) e Souza *et al.* (2019) indicam que a ILPF pode contribuir para o cumprimento dessas metas, mas sua replicabilidade em escala nacional depende de fatores ainda pouco investigados, como a heterogeneidade dos biomas brasileiros e as diferenças socioeconômicas entre produtores.

3.2.2 Implicações práticas

A integração da ILPF com a ACV tem implicações políticas e econômicas relevantes. Políticas públicas como o Plano ABC devem oferecer linhas de crédito subsidiadas, assistência técnica e capacitação para superar barreiras como custos iniciais e lacunas de conhecimento (Andrade; Santos, 2023). Mercados de carbono que remunerem o sequestro de carbono podem criar novas fontes de renda para produtores rurais. Entre os instrumentos existentes, destacam-se: (a) incentivos do Plano ABC, essenciais para pequenos e médios produtores; e (b) iniciativas de certificação como a Carne Carbono Neutro da Embrapa, que agrega valor aos produtos e facilita acesso a mercados internacionais (Alves *et al.*, 2015).

3.2.3 Limitações do estudo

Esta revisão apresenta quatro limitações centrais. Primeiro, por tratar-se de revisão narrativa, não foram aplicados protocolos formais de avaliação de qualidade dos estudos primários, o que pode introduzir viés de seleção. Segundo, há predominância de fontes institucionais e literatura cinzenta, com representatividade limitada de estudos originais revisados por pares especificamente sobre a interface ACV-ILPF. Terceiro, a diversidade de biomas brasileiros implica variações significativas nos resultados esperados de sistemas ILPF, limitando a generalização das conclusões. Quarto, a falta de padronização na quantificação do sequestro de carbono e das emissões em sistemas ILPF gera incertezas nas estimativas reportadas.

3.2.4 Convergências e divergências com a literatura

Os achados convergem com a literatura ao destacar o potencial da ILPF na mitigação de GEE. Contudo, a magnitude dos benefícios varia conforme condições edafoclimáticas, manejo, densidade arbórea, escolha de forrageiras e suplementação animal. Amorim *et al.* (2023) identificaram padrões heterogêneos de emissões no agronegócio brasileiro, sugerindo que a convergência para práticas de baixo carbono é assimétrica entre regiões e sistemas produtivos. Soares e Cunha (2019) reforçam que a eficiência ambiental do setor agropecuário depende de múltiplos fatores estruturais, que vão além da adoção tecnológica isolada. Essa variabilidade reforça a necessidade de adaptações locais e de maior investimento em pesquisas de campo em diferentes configurações de ILPF.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta revisão bibliográfica narrativa analisou, com base na literatura disponível, o potencial da ILPF integrada à ACV como estratégia de mitigação de GEE no agronegócio brasileiro. Os estudos consultados indicam que a ILPF pode promover a recuperação de pastagens degradadas, otimizar o uso de recursos naturais e aumentar o sequestro de carbono no solo, contribuindo para o alinhamento do setor às metas do Acordo de Paris. Os resultados quantitativos reportados na literatura são promissores, mas devem ser interpretados com cautela, dado o contexto específico em que foram obtidos e a variabilidade inerente a diferentes condições de manejo, biomas e configurações de sistema.

A ampliação desses impactos depende de: (a) monitoramento de longo prazo dos efeitos da ILPF sob diferentes condições climáticas e de manejo em distintos biomas; (b) desenvolvimento de metodologias padronizadas para quantificar sequestro de carbono e emissões de GEE, reduzindo incertezas; e (c) emprego de tecnologias como sensoriamento remoto e inteligência artificial para validar benefícios ambientais em larga escala.

A ILPF, potencializada pelo Mercado Brasileiro de Redução de Emissões, cria oportunidades para geração de créditos de carbono e certificação de produtos. Essa abordagem, embasada na ACV, pode reduzir

emissões, valorizar serviços ecossistêmicos e melhorar a qualidade de vida rural, contribuindo para a transição do agronegócio brasileiro rumo a uma economia de baixo carbono. A consolidação desse caminho depende de investimentos contínuos em pesquisa, políticas públicas consistentes e engajamento dos produtores rurais.

REFERÊNCIAS

ALVES, Fabiana Villa; ALMEIDA, Roberto Giolo; LAURA, Valdemir Antônio et al. Carne carbono neutro: um novo conceito para carne sustentável produzida nos trópicos. Campo Grande, MS: Embrapa Gado de Corte, 2015. 29 p. [Documentos, 210]. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1056155/carne-carbono-neutro-um-novo-conceito-para-carne-sustentavel-produzida-nos-tropicos>. Acesso em: 11 mar. 2025.

AMORIM, D. I. M. *et al.* Greenhouse gas emissions from Brazilian agriculture and convergence clubs. *International Review of Applied Economics*, Cidade, v. 37, n. 4, p. 532–52, 2023. Doi: <https://doi.org/10.1080/02692171.2023.2240250>. Acesso em: 27 nov. 2024.

ANDRADE, Eudes Santos; SANTOS, Yan Rabelo. Gás de Efeito Estufa (GEE): causas ambientais e mercado de créditos de carbono. 2023. 20 f. Tipo de trabalho [Curso] – Faculdade AGES, Paripiranga, 2023. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/handle/ANIMA/35268>. Acesso em: 31 out. 2024. Acesso em: 31 out. 2024.

BALDINI, C.; GARDONI, D.; GUARINO, M. A critical review of the recent evolution of Life Cycle Assessment applied to milk production. *Journal of Cleaner Production*, Cidade, v. 140, p. 421–35, jan. 2017. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.078>. Acesso em: 14 mar. 2025.

BRASIL. Decreto nº 9.073, de 5 de junho de 2017. Promulga o Acordo de Paris sob a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, celebrado em Paris, em 12 de dezembro de 2015, e firmado em Nova Iorque, em 22 de abril de 2016. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 6 jun. 2017. Seção 1, p. 3.

CASTAGNARA, D. D. *et al.* Crop-livestock integration in Brazilian lands. São Paulo: Seven Editora, 2024. 26 p. Doi: <https://doi.org/10.56238/sevened2024.023-029>. Acesso em: 30 nov. 2024.

CLAUDINO, E. S.; TALAMINI, E. Análise do Ciclo de Vida (ACV) aplicada ao agronegócio: uma revisão de literatura. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Cidade, v. 17, n. 1, p. 77–85, jan. 2013. Doi: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000100011>. Acesso em: 30 nov. 2024.

MACHADO, Pedro Luiz Oliveira de Almeida *et al.* Mudança do clima e a agropecuária brasileira: noções, mitigação e adaptação. Santo Antônio de Goiás, GO: Embrapa Arroz e Feijão, nov. 2022. 38 p. [Documentos, 322]. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1148256/1/doc-322-cnpaf.pdf>. Acesso em: 31 out. 2024.

MANZATTO, Celso Vainer *et al.* Estimativas de redução de emissões de gases de efeito estufa pela adoção de sistemas ILPF no Brasil. In: SKORUPA, Lucilia Aparecida Maranhão; MANZATTO, Celso Vainer (Ed.). *Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil: estratégias regionais de transferência de tecnologia, avaliação da adoção e de impactos*. Jaguariaúna: Embrapa Meio Ambiente, 2019. p. 400–24. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1118865>. Acesso em: 8 mar. 2025.

SANTOS, D. D. O.; AMARANTE, P. A.; AMARANTE, J. C. A. Diagnóstico das emissões de gases de efeito estufa pela pecuária paraibana. *Caderno de Geografia*, Cidade, v. 33, n. 75, p. 1359–74, ago. 2023. Doi: <https://doi.org/10.5752/P.2318-2962.2023v33n75p1359>. Acesso em: 2 dez. 2024.

SISTEMA DE ESTIMATIVA DE EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA [SEEG]. *Plataforma SEEG*, Cidade, 2024. Disponível em: <https://plataforma.seeg.eco.br/>. Acesso em: 8 mar. 2025.

SILVA, A. R.; Rodrigues Filho, J. A.; Carvalho, E. J. M.; Santiago, A. V.; VELOSO, C. A. C.; Martinez, G. B. *Estoque de carbono e mitigação de metano produzido por bovinos em sistema integração pecuária-floresta (IPF) com eucalipto no Sudeste Paraense*. *Brazilian Journal of Development*, Cidade, v. 7, n. 4, p. 39997–40016, abr. 2021. Doi: <https://doi.org/10.34117/bjdv7n4-457>. Acesso em: 15 mar. 2025.

SOARES, T. C.; CUNHA, D. A. Emissões de gases de efeito estufa e eficiência ambiental no Brasil. *Nova Economia*, Cidade, v. 29, n. 2, p. 429–58, maio/ago. 2019. Doi: <https://doi.org/10.1590/0103-6351/3795>. Acesso em: 31 out. 2024.

SOUZA, Kleber Worsley *et al.* Integração lavoura-pecuária-floresta como estratégia para compensação das emissões de gases de efeito estufa. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, mar. 2019. 12 p. [Circular Técnica, n. 39]. Disponível em:

<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1110815/1/Circ39.pdf>. Acesso em: 11 mar. 2025.

TELLES, Tiago Santos *et al.* Desenvolvimento da agricultura de baixo carbono no Brasil. Brasília, DF: Ipea, 2021. 41 p. [Texto para Discussão, n. 2638]. Disponível em: https://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/TDs/td_2638.pdf. Acesso em: 29 nov. 2024.

VINHOLIS, M. M. B. *et al.* Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no estado de São Paulo: estudo multicasos com adotantes pioneiros. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, Cidade, v. 60, n. 1, e234057, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2021.234057>. Acesso em: 30 nov. 2024.