SISTEMAS AGROFLORESTAIS BIODIVERSOS E A CRISE CLIMÁTICA GLOBAL: ESTRATÉGIAS EMERGENTES NA TRANSIÇÃO PARA SISTEMAS AGRÍCOLAS RESILIENTES

1 INTRODUÇÃO

A dinâmica das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) tem sido fortemente influenciada pela queima de combustíveis fósseis e pelas mudanças no uso da terra. No Brasil, o desmatamento e a conversão de florestas em áreas agrícolas são as principais fontes de emissões, ressaltando a necessidade de práticas agrícolas mais sustentáveis. Os Sistemas Agroflorestais (SAFs) surgem como alternativas viáveis, integrando espécies florestais aos sistemas agrícolas para promover benefícios socioeconômicos e ambientais. Este trabalho examina os impactos das emissões brasileiras e explora as vantagens dos SAFs biodiversos como um caminho para uma transição agrícola mais sustentável. Assim, buscamos mapear experiências em andamento com SAFs biodiversos no Brasil, avaliando seu progresso e desafios para contribuir com a transição do país para uma agricultura de baixo carbono e adaptada às mudanças climáticas.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Historicamente, a dinâmica das emissões globais pode ser resumida da seguinte forma: das 2.400 GtCO₂-eq emitidas desde 1850, 1.650 GtCO₂-eq são provenientes do uso de combustíveis fósseis, representando 68% do total das emissões, enquanto cerca de 760 GtCO₂-eq provêm de mudanças no uso da terra, representando 32% (CALVIN et al., 2023). Em outras palavras, os maiores contribuintes para o aquecimento global e emissões de GEE são grandes usuários de combustíveis fósseis como fonte de energia para processos industriais, domésticos e de transporte, entre outros. Em contraste com essas tendências de emissões globais, o desmatamento e a conversão de florestas nativas em áreas agrícolas são, na realidade brasileira, o principal motor das mudanças climáticas.

Este fato é evidenciado pelo último relatório do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG), onde o setor de mudança do uso da terra e florestas, referindo-se principalmente ao desmatamento, é o maior, com 1,12 GtCO₂-eq (48%). Em seguida, observa-se o setor agrícola, totalizando 0,617 GtCO₂-eq (27%). Em terceiro lugar está o setor de energia, com 0,412 GtCO₂-eq (18%). Em quarto lugar, há o setor de resíduos, com cerca de 0,09 GtCO₂-eq (4%). Em quinto lugar, finalmente, está o setor de processos industriais e uso de produtos, que emitiu 0,07 GtCO₂-eq (3%). Em resumo, a emissão bruta foi de 2,3 GtCO₂-eq, e o Brasil ocupou a sexta posição global, com 3% das emissões globais, atrás da China (26%), dos EUA (11%), da Índia (7%) e da Rússia (3,8%), e empatado com a Indonésia (3%) (TSAI et al., 2023).

Ou seja, se somarmos o setor de energia (18%), o setor de resíduos (4%) e o setor de processos industriais e uso de produtos (3%), obtemos um total de 25% das emissões brasileiras, o que corresponde a apenas 2% a menos do que o setor agrícola. Além disso, se considerarmos que o desmatamento e a destruição dos biomas brasileiros representam de 90 a 99% da atividade de expansão da fronteira agrícola e assumirmos os setores de mudança do uso da terra e florestas e agricultura como representado majoritariamente apenas um setor, obtemos um total de cerca de 75% das emissões globais do Brasil, correspondendo unicamente à atividade agrícola (PENDRILL et al., 2022).

Os dados apresentados acima destacam as implicações socioambientais de um modelo de produção agrícola baseado na supressão da vegetação nativa e na conversão dessa terra em pastagens e monoculturas, com o objetivo de exportá-las como commodities. A atual crise climática e a percepção da iminência de um colapso ambiental nos trazem reflexões

pertinentes sobre a necessidade de mudanças estruturais. Nesse sentido, identificamos os SAFs como alternativas viáveis para essa transição necessária.

De modo geral, os SAFs referem-se a um vasto conjunto de sistemas agrícolas que, de uma forma ou de outra, incorporam o componente florestal em seu sistema de produção. Segundo o Centro Internacional de Pesquisa em Agroflorestas (ICRAF), eles podem ser definidos por meio de duas definições básicas:

"[...] sistemas de uso da terra onde espécies lenhosas perenes [...] são deliberadamente usadas nas mesmas unidades de terra com culturas agrícolas e/ou animais, em uma certa disposição espacial e temporal," em que seus sistemas são "[...] baseados em dinâmicas, ecologia e manejo de recursos naturais que, através da integração de árvores na propriedade e na paisagem agrícola, diversificam e sustentam a produção com maiores benefícios sociais, econômicos e ambientais para todos os que usam a terra em diferentes escalas" (MICCOLIS et al., 2016).

Apesar dessa definição, a nomenclatura de SAFs é caracterizada por uma espécie de redução a uma terminologia que abrange técnicas e práticas muito diversas, tanto estrutural quanto funcionalmente. Os SAFs podem se referir a vários arranjos produtivos, como sistemas silvipastoris, agrossilvipastoris, agrossilviculturais, SAFs sucessionais, entre muitos outros (MARTINELLI, 2020; MICCOLIS et al., 2016).

Devido às diferentes tipologias, os SAFs exibem diferentes graus de complexidade e, conseqüentemente, benefícios. Geralmente, eles podem ser divididos em duas categorias centrais: SAFs simples e SAFs biodiversos (MICCOLIS et al., 2016; SANTOS; CROUZEILLES; SANSEVERO, 2019). Os primeiros referem-se a sistemas silvipastoris, agrossilvipastoris ou agrossilviculturais, que geralmente estão associados a baixas taxas de biodiversidade e diversificação de espécies, baixa estratificação florestal, baixo ou nenhum uso de espécies nativas, e não são baseados em ecossistemas locais e sua sucessão ecológica. Por outro lado, os últimos referem-se a SAFs tradicionais, quintais agroflorestais, agricultura sintrópica, geralmente associados a altas taxas de biodiversidade e diversificação de espécies, alta estratificação florestal, alto uso de espécies nativas e baseados em ecossistemas locais e sua respectiva sucessão ecológica (MARCONI; ARMENGOT, 2020; MARQUES; GRELLE, 2021; MARTINELLI, 2020; SANTOS; CROUZEILLES; SANSEVERO, 2019).

Diferentemente da agricultura convencional e dos SAFs simples, nos SAFs biodiversos, observamos a presença de dinâmicas do sistema em relação ao espaço e ao tempo, em oposição a um simples consórcio entre espécies agrícolas e florestais. Os SAFs biodiversos são caracterizados pela sucessão ecológica do ecossistema local, visando culminar na independência de insumos externos e melhorias progressivas no ambiente. Essas características dos SAFs biodiversos, portanto, permitem uma maior capacidade de promover serviços ecossistêmicos, restauração ecológica, resiliência e biodiversidade enquanto sistemas produtivos (MARCONI; ARMENGOT, 2020; MARQUES; GRELLE, 2021; MICCOLIS et al., 2016; SANTOS; CROUZEILLES; SANSEVERO, 2019).

3 METODOLOGIA

Esta pesquisa utiliza uma metodologia qualitativa, baseada em duas abordagens: a revisão de literatura convencional, focando na compreensão da conexão entre mudanças climáticas e agricultura, e o método de revisão de escopo (PETERS et al., 2020), que se concentra na literatura especializada com equações de busca nas bases de dados *Scopus* e *BDTD* para atender aos objetivos da pesquisa.

Conforme mencionado acima, a metodologia aplicada neste capítulo refere-se à revisão de escopo. A base e o objetivo deste tipo de revisão de literatura é mapear, resumir e apresentar as principais evidências e conceitos de um determinado campo de estudo, visando

assim uma maior compreensão de suas definições, limites e lacunas na literatura específica atual (ARKSEY; O'MALLEY, 2005; PETERS et al., 2020).

A estrutura e o framework conceitual das revisões de escopo evoluíram ao longo do tempo. Em 2005, Arksey e O'Malley desenvolveram um framework inicial que influenciou e possibilitou as primeiras revisões de escopo. Em 2010, Levac e colegas aprimoraram o processo de revisão de escopo ao fornecer informações mais explícitas sobre cada etapa do processo. Desde 2015, frameworks anteriores têm sido utilizados para desenvolver a abordagem do Instituto Joanna Briggs (JBI) para a realização de revisões de escopo, que recebeu atualizações em 2017 e em 2020, com a versão mais recente sendo utilizada para o desenvolvimento desta metodologia (PETERS et al., 2020).

Seguindo o framework conceitual de Peters (2020), este trabalho segue algumas de suas etapas. De acordo com os autores, as revisões de escopo podem ser divididas em: i) definição e alinhamento dos objetivos e questões; ii) desenvolvimento e alinhamento dos critérios de inclusão, com a ajuda dos objetivos e questões; iii) descrição da abordagem estabelecida para buscar evidências, selecionar e extrair dados, bem como apresentá-los; iv) busca por evidências; v) extração de evidências; vi) análise de evidências; vii) apresentação dos resultados; viii) resumo das evidências em relação ao propósito da revisão, desenvolvimento de conclusões e descrição das implicações dos achados.

A definição do objetivo deste artigo foca em buscar e avaliar as principais contribuições dos sistemas agroflorestais biodiversos para a adaptação e enfrentamento das mudanças climáticas no Brasil, mapeando experiências em andamento, seus avanços, possibilidades e desafios. A pergunta de pesquisa, portanto, é: "Como a literatura tem observado a relação entre mudanças climáticas e sistemas agroflorestais biodiversos no Brasil?".

Para este fim, uma estratégia de pesquisa foi formulada nas bases de dados bibliográficas Scopus e Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD), buscando um maior refinamento do objetivo e da pergunta de pesquisa. Esta estratégia segue as recomendações do manual do JBI para busca de artigos, dissertações e teses, utilizando uma combinação de diferentes palavras-chave e operadores booleanos para aprimorar o sistema de busca. Sob o acrônimo PCC, onde "P" representa o problema de pesquisa, "C" representa o conceito, e "C" representa o contexto, a estratégia de busca para a base de dados Scopus foi construída conforme mostrado na Tabela 1. Por outro lado, a estratégia aplicada à BDTD teve que ser remodelada, pois a base de dados não permite buscas utilizando strings de consulta como as apresentadas no Scopus, restringindo sua busca conforme mostrado na Tabela 2. A busca no Scopus foi realizada em 10 de abril de 2024, e a busca na BDTD foi realizada em 16 de abril de 2024.

Quadro 1 - Estratégia PCC e strings de consulta na base Scopus

Estratégia PCC	<i>Strings de consulta</i>
P - Problema / Política / População	"climat* change*" OR "extreme weather" OR "extreme climat* event*" OR "biodiversity" OR "carbon storage" OR "ecosystem service*" OR "environmental service*" OR "ecological restoration" OR "resilience" OR "adaptation" OR "mitigation" OR "soil fertility" OR "soil erosion" OR "water infiltration" OR "regulation of climate extremes"

Estratégia PCC	Strings de consulta
	AND
C - Conceito	"complex agroforestry system*" OR "biodiverse agroforestry system*" OR "successional agroforestry system*" OR "multiestrata agroforestry" OR "multiestrata agroforestry system*" OR "multiestrata" OR "agroforestry system*" OR "agroforestry"
	AND
C - Contexto	"Brazil" OR "Brasil" OR "Atlantic Forest" OR "Brazilian Amazon" OR "Amazon*" OR "Cerrado" OR "Brazilian Savannah" OR "Caatinga" OR "Pantanal" OR "Pampa*"

Fonte: elaboração própria

Quadro 2 - Estratégia PCC e strings de consulta na base BDTD

Estratégia PCC	Strings de consulta
P - Problema / Política / População	“mudanças climáticas”
	AND
C - Contexto	“sistemas agroflorestais”

Fonte: elaboração própria

A seleção e triagem de artigos, dissertações e teses foram baseadas em critérios de elegibilidade para a inclusão e exclusão de documentos. Os critérios focaram nos seguintes pontos, todos alinhados ao objetivo e à questão de pesquisa: a) estudos sobre sistemas agroflorestais biodiversos; b) estudos sobre questões socioambientais; e c) estudos restritos ao contexto brasileiro. Não foram aplicadas limitações quanto ao período de tempo ou idioma.

Por fim, a codificação e análise dos documentos incluídos na revisão foram realizadas por meio da criação de uma planilha com distinções de cores entre os documentos das bases de dados Scopus e BDTD. Esta planilha foi usada para criar categorias para a extração de informações relevantes para a construção deste capítulo, a saber: a) autores; b) título; c) ano de publicação; d) link do documento; e) resumo; f) tipo de sistema agroflorestal; g) classificação do sistema agroflorestal; h) bioma; i) área de estudo; j) localização específica; k) tipo de estudo; e l) principais conclusões.

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Após apresentar os principais resultados bibliográficos da revisão de escopo, passamos agora a discutir os principais temas e tópicos dos artigos, dissertações e teses, visando entender o conteúdo dos documentos. Para isso, agrupamos as publicações de acordo com os objetivos do estudo, bem como os resultados por elas apresentados. Os grupos de tópicos centrais foram divididos em subseções e abrangem os seguintes temas principais: ciclagem de nutrientes, armazenamento de carbono, fertilidade do solo, biodiversidade, serviços ecossistêmicos, pagamentos por serviços ambientais e benefícios sociais e

econômicos. Embora os temas e tópicos principais possam coexistir nos documentos analisados de uma forma ou de outra, optamos por separá-los para uma melhor identificação dos temas gerais apresentados.

Com base nos resultados encontrados na base de dados Scopus, foram obtidos 505 artigos. Em uma leitura inicial de todos os títulos, resumos e palavras-chave, 107 artigos foram selecionados para o processo de avaliação de elegibilidade. De acordo com os critérios de inclusão indicados na seção anterior, 56 artigos foram selecionados. Esses documentos foram exportados para uma planilha para categorizá-los e extrair informações relevantes para a construção deste capítulo. Finalmente, após uma leitura aprofundada de todos os artigos, mais 6 documentos foram excluídos devido à dificuldade em identificar os tipos de sistemas agroflorestais estudados - se são sistemas agroflorestais simples ou complexos - levando à observação de que critérios de inclusão específicos estavam ausentes.

Com base nos resultados encontrados na base de dados BDTD, foram obtidas 34 dissertações ou teses. Em uma leitura inicial de todos os títulos, resumos e palavras-chave, 32 documentos foram selecionados para o processo de avaliação de elegibilidade. De acordo com os critérios de inclusão indicados na seção anterior, 17 dissertações ou teses foram selecionadas. Finalmente, esses documentos obtidos foram exportados para a mesma planilha para categorizá-los e extrair informações relevantes para a construção deste artigo.

A análise dos resultados bibliográficos destacados neste estudo evidencia a importância dos SAFs biodiversos em diversas áreas cruciais, como ciclagem de nutrientes, estoques de carbono, fertilidade do solo, biodiversidade, serviços ecossistêmicos e benefícios socioeconômicos. As conclusões obtidas confirmam o potencial dos SAFs biodiversos para promover benefícios ambientais, sociais e econômicos nas práticas agrícolas.

No que diz respeito à ciclagem de nutrientes e estoques de carbono, os estudos analisados mostraram que os SAFs com maior densidade de plantas e diversidade tendem a ter maior capacidade de reciclagem de nutrientes e armazenamento de carbono, contribuindo para a fertilidade do solo e para a redução das emissões de gases de efeito estufa.

Além disso, a adoção de SAFs foi associada à manutenção e promoção da biodiversidade, bem como ao fornecimento de serviços ecossistêmicos essenciais, como controle biológico de pragas e atração de polinizadores. Esses sistemas também se mostraram eficazes na manutenção de comunidades taxonômicas e funcionais semelhantes às encontradas em florestas nativas, demonstrando o potencial dos SAFs para conservar a biodiversidade.

No âmbito socioeconômico, os SAFs foram reconhecidos como uma inovação agroecológica com potencial para transformar a vida dos participantes e dos sistemas agroalimentares mais amplos. Além de aumentar a diversidade de produtos e a autossuficiência, esses sistemas proporcionam uma fonte de renda estável para as comunidades rurais, com a combinação de Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA) com os SAFs biodiversos.

5 CONCLUSÃO

Os resultados analisados confirmam a relevância dos SAFs como uma abordagem multifacetada para a agricultura sustentável, capaz de fornecer soluções para os desafios ambientais e socioeconômicos atualmente enfrentados. Para que os SAFs alcancem seu pleno potencial, um esforço coordenado é essencial entre governos, organizações não governamentais, comunidades locais e o setor privado. Políticas públicas que incentivem a adoção de práticas agroflorestais, combinadas com programas de treinamento e financiamento acessível, são fundamentais para a disseminação e o sucesso desses sistemas. Além disso, a valorização dos serviços ecossistêmicos fornecidos pelos SAFs, como a sequestro de carbono,

conservação da biodiversidade e regulação da água, deve ser incorporada nas estratégias nacionais de desenvolvimento sustentável.

Em síntese, a transição para práticas agrícolas mais sustentáveis, exemplificadas pelos Sistemas Agroflorestais Biodiversos, não é apenas possível, mas necessária para mitigar as emissões de gases de efeito estufa e se adaptar às mudanças climáticas. O Brasil, com sua vasta riqueza biológica e cultural, tem a oportunidade de liderar esse movimento global, demonstrando que é possível conciliar o desenvolvimento econômico com a preservação ambiental. Assim, a adoção e promoção dos SAFs representam um passo crucial em direção a um futuro mais sustentável e resiliente.

REFERÊNCIAS

- ARKSEY, H.; O'MALLEY, L. Scoping studies: towards a methodological framework. **International Journal of Social Research Methodology**, v. 8, n. 1, p. 19–32, fev. 2005.
- CALVIN, K. et al. **IPCC, 2023: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]**. IPCC, Geneva, Switzerland: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 25 jul. 2023. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>>. Acesso em: 19 out. 2023.
- MARCONI, L.; ARMENGOT, L. Complex agroforestry systems against biotic homogenization: The case of plants in the herbaceous stratum of cocoa production systems. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 287, p. 106664, jan. 2020.
- MARQUES, M. C. M.; GRELLE, C. E. V. (EDS.). **The Atlantic Forest: History, Biodiversity, Threats and Opportunities of the Mega-diverse Forest**. Cham: Springer International Publishing, 2021.
- MARTINELLI, J. V. **Os Sistemas Agroflorestais no Brasil - Abordagem conceitual, ecológica e socioeconômica**. Dissertação—Toledo: Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Unioeste), 2020.
- MICCOLIS, A. et al. **Restauração ecológica com sistemas agroflorestais: como conciliar conservação com produção no cerrado e na caatinga**. Brasília: Centro Internacional de Pesquisa Agroflorestal (ICRAF), 2016.
- PENDRILL, F. et al. Disentangling the numbers behind agriculture-driven tropical deforestation. **Science**, v. 377, n. 6611, p. eabm9267, 9 set. 2022.
- PETERS, M. et al. Chapter 11: Scoping reviews (2020 version). Em: **JBI Manual for Evidence Synthesis**. [s.l.] JBI, 2020.
- SANTOS, P. Z. F.; CROUZEILLES, R.; SANSEVERO, J. B. B. Can agroforestry systems enhance biodiversity and ecosystem service provision in agricultural landscapes? A meta-analysis for the Brazilian Atlantic Forest. **Forest Ecology and Management**, v. 433, p. 140–145, fev. 2019.
- TSAI, D. et al. **Análise das emissões de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas climáticas do Brasil (1970-2022)**. [s.l.] Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG), 2023.