

6 AGRICULTURA



Disclaimer: As opiniões expressas no texto são tão e somente as opiniões dos autores e não expressam, direta ou indiretamente, as opiniões ou posições de suas instituições ou do MMA, PNUMA, IPEA ou FGV, ou demais organizações que participam do GEO BRASIL 2025.

Para citar este documento utilize:

MMA, PNUMA, FGV e IPEA (2025). GEO BRASIL 2025: Perspectivas do Meio Ambiente no Brasil. Rio de Janeiro: FGV e Brasília: MMA. Disponível em:

<https://repositorio.fgv.br/items/f266d8d3-fcba-4ff8-b7c0-6bc4167f56b6> ou

<https://www.gov.br/mma/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes>

AGRICULTURA E MEIO AMBIENTE NO BRASIL: IMPACTOS, DESAFIOS E OPORTUNIDADES

Autores: Dênis Antônio da Cunha¹, Elizângela Aparecida dos Santos² e Marcelo José Braga¹

¹Departamento de Economia Rural, Universidade Federal de Viçosa (UFV)

²Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM)

Sumário Executivo

O papel do Brasil no cenário agropecuário global tem crescido nas últimas décadas, sendo o maior produtor e exportador de diversas *commodities*. O Brasil tem liderança global na produção e exportação de soja, milho, café, açúcar e carnes. Nas duas últimas décadas, a produção agropecuária brasileira cresceu, em média, 8% ao ano, e o valor das exportações, incluindo produtos processados, aumentou cerca de 9,4%.

Porém, o modelo agrícola dominante baseia-se em uso intensivo de insumos químicos e expansão sobre ecossistemas nativos. A área agropecuária cresceu de 187,3 para 282,5 milhões de hectares entre 1985 e 2022. Pastagens representam 58% do total e aumentaram aproximadamente 60% no período. Na Amazônia, as pastagens aumentaram de 13,7 para 57,7 milhões de hectares. O Brasil é um dos maiores consumidores mundiais de agrotóxicos. Entre 2010 e 2022, a comercialização de agrotóxicos aumentou 108%. Soja, milho, algodão e cana-de-açúcar respondem por 83% do consumo nacional de agrotóxicos.

A expansão agropecuária sem planejamento ambiental gera perda de biodiversidade, contaminação do solo, da água e do ar, pressão sobre povos tradicionais e concentração fundiária. Isto acontece sobretudo no Cerrado e na Amazônia. No Cerrado, a pressão se dá pela conversão direta de áreas (50% já transformadas), enquanto na Amazônia o ciclo de desmatamento é alimentado pelo deslocamento da pecuária extensiva pela

agricultura. Os demais biomas também sofrem pressões: substituição de pastagens no Pampa, pecuária de baixa produtividade no Pantanal, ocupação de áreas frágeis na Caatinga e monoculturas em paisagens fragmentadas da Mata Atlântica.

No campo há muitas desigualdades e vulnerabilidades que comprometem a sustentabilidade do setor no longo prazo. Agricultores familiares são 77% dos estabelecimentos, mas ocupam apenas 23% da área agrícola. Menos de 20% dos agricultores familiares recebem assistência técnica regularmente. A maior parte do crédito rural ainda é destinada à agricultura patronal. A concentração fundiária é elevada, com índice de Gini entre 0,73 e 0,86. Eventos climáticos extremos têm causado perdas na produção e produtividade agropecuária. A agricultura familiar é mais vulnerável, especialmente nas regiões Norte e Nordeste. Povos indígenas e comunidades tradicionais sofrem com a degradação ambiental e têm pouco acesso a políticas públicas.

A dinâmica da agricultura e as transformações em curso estão conectadas aos compromissos assumidos pelo Brasil no âmbito da Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas. A agropecuária exerce papel estratégico no cumprimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), ao mesmo tempo em que representa um ponto de tensão para sua efetivação. O agronegócio representa, em média, 25% a 30% do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro, gerando milhões de postos de trabalho, renda e divisas ao país.

Entretanto, apenas 8% das metas da Agenda 2030 foram plenamente cumpridas até agora. Barreiras à sustentabilidade são: baixa adoção de práticas sustentáveis, dependência de insumos químicos, desigualdade no acesso ao crédito e assistência, fragilidade da governança e retrocessos legais. Existem várias práticas sustentáveis adotadas: plantio direto, fixação biológica de nitrogênio, rotação de culturas, manejo integrado de pragas, agricultura de precisão e Integração Lavoura-Pecuária (ILP). Porém, iniciativas para melhoria, como o Plano ABC, Moratória da Soja e novas regras do Plano Safra, enfrentam limitações na implementação.

Avançar na sustentabilidade é essencial para garantir competitividade, crescimento econômico, segurança alimentar e justiça social. Várias estratégias e recomendações para transformação necessitam ser adotadas e aceleradas, com recuperação de pastagens degradadas, expansão de sistemas agroecológicos, e adoção do pagamento por Serviços Ambientais (PSA), bioinsumos, energia verde e valorização de saberes tradicionais. Para isto deve-se fortalecer a governança, ampliar assistência técnica, rever incentivos fiscais, expandir o crédito “verde”, garantir direitos territoriais e basear políticas em evidências científicas.

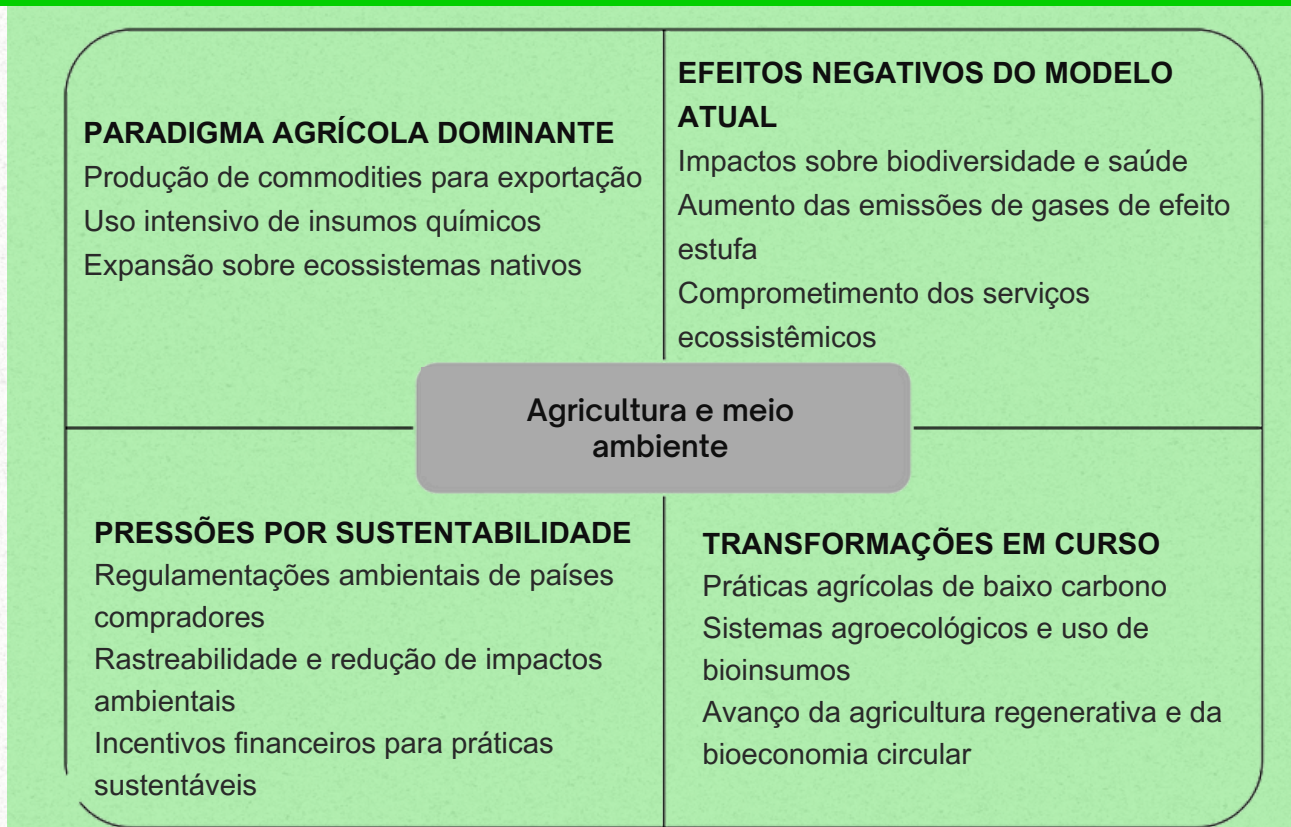
Introdução

O Brasil ocupa papel importante no cenário agropecuário global, sendo o maior produtor e exportador de diversas commodities, como soja, milho, açúcar e carnes (Maranhão et al., 2025; United States Department of Agriculture – USDA, 2023). Nas duas últimas décadas, a produção agropecuária brasileira cresceu, em média, 8% ao ano, e o valor das exportações, incluindo produtos processados, aumentou cerca de 9,4% (Valdes, 2022). Esses avanços resultam da combinação de disponibilidade de terra, água e condições edafoclimáticas favoráveis, política agrícola e investimento em pesquisa e inovação tecnológica. Projeções indicam que até meados do século XXI a produção brasileira,

principalmente de soja e carne bovina, crescerá a taxas superiores às de seus concorrentes, tornando o país ainda mais relevante no comércio internacional (USDA, 2022).

A construção desse protagonismo “foi acompanhada por mudanças substanciais no uso da terra, incluindo a expansão das atividades agrícolas em vastas áreas de florestas do país” (Carreira et al., 2024, p. 3). O documento “Geo Brasil 2002: Perspectivas do Meio Ambiente no Brasil” foi taxativo ao afirmar que, desde o período colonial, uma das principais causas da perda da biodiversidade é a conversão de terras para a expansão agrícola (Santos; Câmara, 2002). Em 2025, esse continua sendo o grande desafio do Brasil para manter a liderança em bases sustentáveis.

Quadro 6.1: Dinâmica da agricultura brasileira: do modelo dominante à transição para a sustentabilidade



Fonte: elaboração dos autores com base em conclusões da literatura consultada para a elaboração do capítulo.

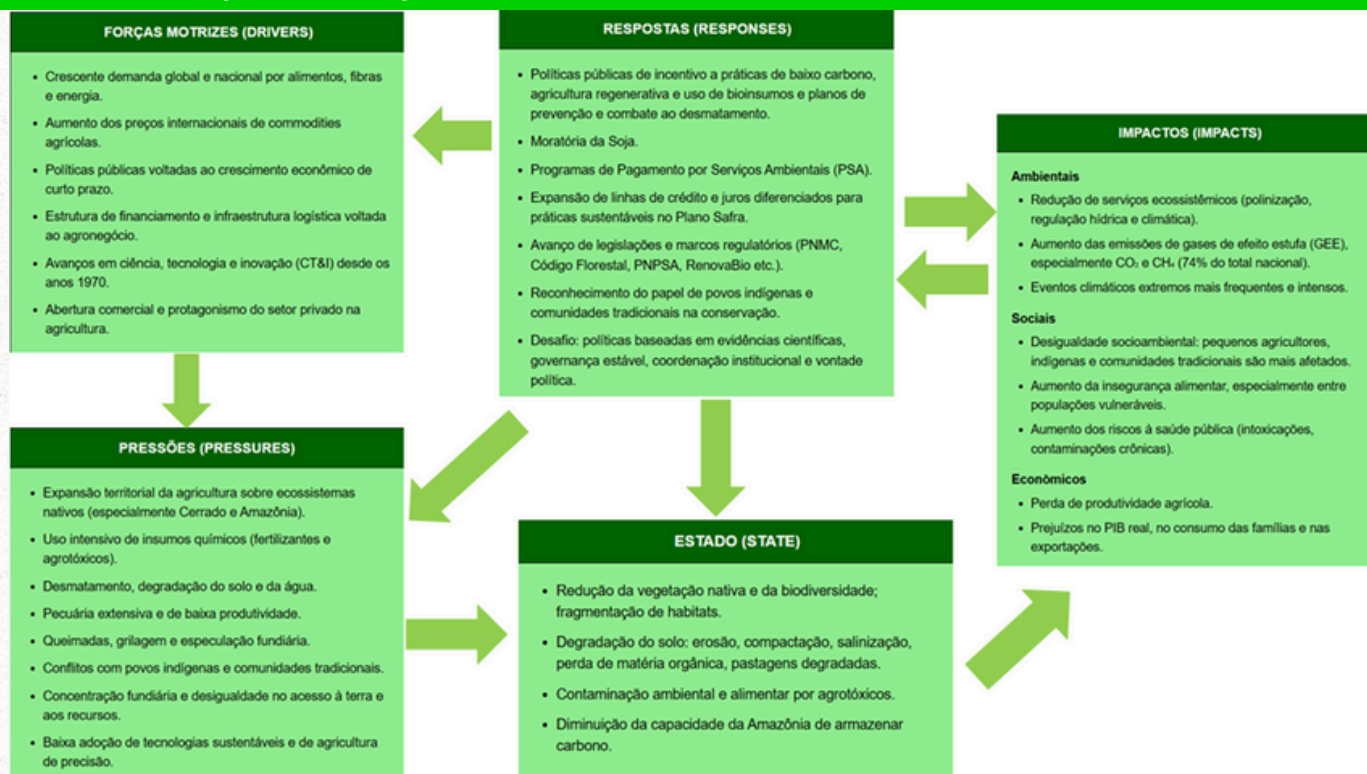
A dinâmica da agricultura e as transformações em curso estão conectadas aos compromissos assumidos pelo Brasil no âmbito da Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas. A agropecuária exerce papel estratégico no cumprimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

(ODS), ao mesmo tempo em que representa um ponto de tensão para sua efetivação. Entre os ODS diretamente relacionados à temática deste capítulo destaca-se: ODS 2 (Fome zero e agricultura sustentável), ODS 12 (Consumo e produção responsáveis), ODS 13 (Ação contra a mudança global do clima) e

ODS 15 (Vida terrestre). Os temas abordados também dialogam com o ODS 1 (erradicação da pobreza), ODS 6 (água potável e saneamento) e ODS 3 (saúde e bem-estar), evidenciando o caráter transversal da sustentabilidade. Neste capítulo, a agropecuária é analisada como fonte de pressão ambiental e, simultaneamente, vetor para conciliar a produção de alimentos, fibras e energia com conservação ambiental, justiça social e resiliência climática. Para isso, buscamos descrever dinâmicas estruturais que conectam o desempenho agropecuário às transformações ambientais. Utilizamos a metodologia “Forças Motrizes, Pressões, Estado, Impacto e Respostas” (Driver-

Pressure-State-Impact-Response – DPSIR) desenvolvida pela European Environment Agency (EAA, 1999). O modelo DPSIR procura organizar a relação entre sociedade e meio ambiente, identificando causas e efeitos dos problemas ambientais e direcionando ações para sua solução. É útil para orientar políticas, fornecendo informações para monitoramento e tomada de decisão. Os principais resultados da análise estão resumidos na Figura 6.1. Esse diagnóstico é relevante diante do contexto ambiental global – mudança climática, perda de biodiversidade e poluição – que desafia a sustentabilidade dos sistemas agroalimentares e exige transformações estruturais.

Figura 6.1 - Relação entre agricultura e meio ambiente: Forças Motrizes, Pressões, Estado, Impacto e Respostas



Fonte: elaboração dos autores com base em conclusões da literatura consultada para a elaboração do capítulo.

Agricultura e meio ambiente: contexto da transformação estrutural da qualidade ambiental

A expansão e transformação da agropecuária tornaram o Brasil protagonista no mercado agrícola global, reconfiguraram paisagens e geraram externalidades socioambientais. O setor representa vetor de crescimento econômico e, ao mesmo tempo, desempenha papel central na crise ambiental ao contribuir significativamente para as emissões de gases de efeito estufa (GEE), perda de cobertura vegetal e biodiversidade e contaminação de solos, águas e alimentos.

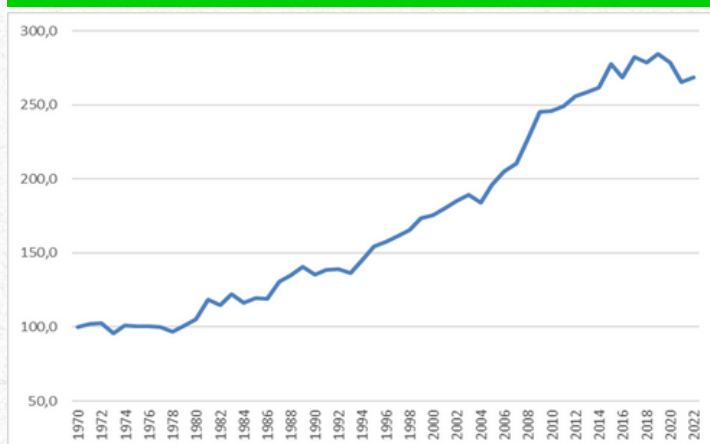
Potência agroexportadora: origens e dinâmicas da expansão

A expansão do setor tem sido impulsionada por múltiplas forças motrizes que refletem tanto dinâmicas globais quanto escolhas políticas e desenvolvimento tecnológico local. A crescente demanda mundial, o aumento nos preços internacionais e a pressão por competitividade levaram à intensificação da produção com foco na redução de custos (Maranhão et al., 2025; Costa et al., 2024; Lucas et al., 2023; Safanelli et al., 2023). Essa tendência foi reforçada por políticas públicas e estrutura de financiamento voltadas ao crescimento do agronegócio convencional (Costa et al., 2024; Leite; Wesz Junior, 2014).

Pode-se afirmar que a expansão do agronegócio não foi espontânea nem exclusivamente orientada pelo mercado, mas estrategicamente planejada e fortemente financiada pelo Estado brasileiro. Conforme destaca Leite e Wesz Junior (2015, 105), “é evidente (...) a presença do Estado no apoio e fomento das atividades produtivas agrícolas capitaneadas por commodities (...). Isso pode ser mais bem observado por meio da política de financiamento rural e agroindustrial, pela qual esse segmento vem obtendo um crescente aporte de recursos públicos”.

Conforme o relatório “Visão 2030: o futuro da agricultura brasileira” (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa, 2018), a combinação de investimentos em ciência, tecnologia e inovação (CT&I), abundância de recursos naturais, políticas públicas estratégicas, habilidade dos produtores e estruturação das cadeias de suprimentos, foi decisiva para posicionar o Brasil como potência agroexportadora. Desde a década de 1970, o país tem melhorado a eficiência de sua produção, como mostra o crescimento expressivo da Produtividade Total dos Fatores – PTF (Figura 6.2).

Figura 6.2 - Evolução da PTF do Brasil no período de 1970 a 2022



Fonte: elaboração dos autores com base em dados do United States Department of Agriculture – USDA (2024).

Esses ganhos de eficiência se refletem no “efeito poupa-terra”, resultante da adoção de tecnologias e práticas mais produtivas (Campos; Ribeiro; Da Cruz, 2024). Esse “novo padrão introduz o capital ‘em todas as suas modalidades’ no centro do desenvolvimento agrícola e agrário (...), pois a produção e as rendas agropecuárias passam a depender, crescentemente, dos investimentos em infraestrutura, máquinas, tecnologia” (Buainain et al., 2013, p. 110). Os efeitos dessas mudanças ficaram mais evidentes a partir da década de 1990, “quando o saldo comercial decorrente da produção agropecuária começou a aumentar velozmente” (Buainain et al., 2013, p. 111).

Juntamente com esse “novo padrão de produção capitalista”, a demanda nacional e internacional constitui uma das principais forças motrizes da expansão agropecuária no Brasil (Buainain et al., 2013; Maranhão et al., 2025). A demanda é impulsionada pelo crescimento populacional, pelo aumento da renda per capita em países importadores e pelas mudanças nas dietas globais que favorecem o consumo de proteína animal. Devido às suas vantagens comparativas, o Brasil tornou-se ator central no abastecimento dos mercados globais (Ribeiro et al. 2025; Bueno et al., 2025; Reis et al., 2023; Safanelli et al., 2023; Embrapa, 2018). Apesar do desempenho econômico, a expansão agropecuária também aprofundou desigualdades sociais e impactos ambientais.

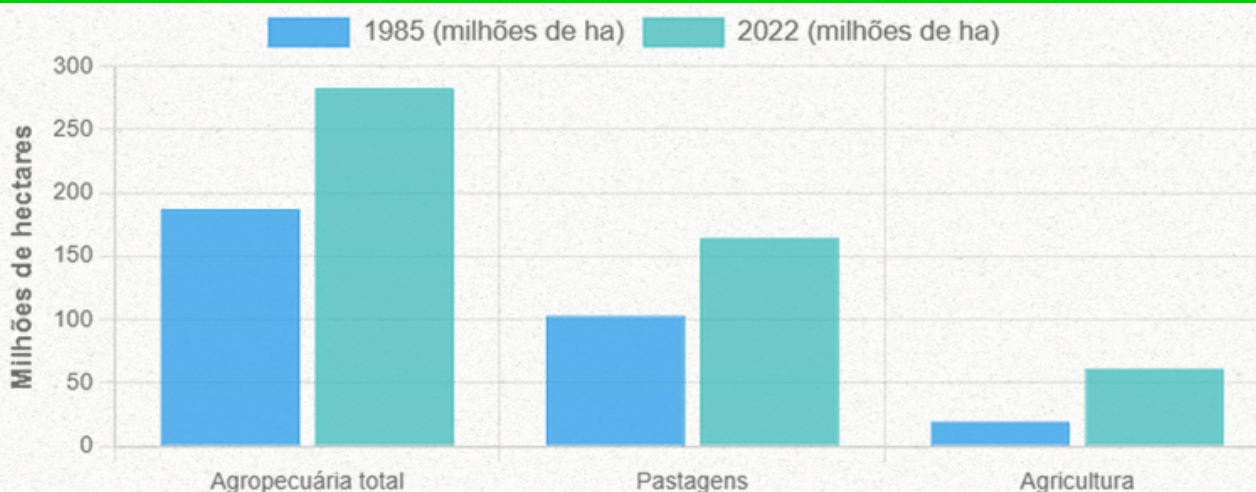
Pode-se afirmar que as forças motrizes aqui destacadas operam de forma articulada e, muitas vezes, contraditórias: enquanto algumas promovem a intensificação e a degradação ambiental, outras estimulam a inovação sustentável e a recuperação de ecossistemas, como será demonstrado ao longo do capítulo.

Pressões territoriais e ambientais: efeitos da expansão agropecuária

Mesmo com a intensificação da produtividade, também houve grande expansão da área plantada ao longo das décadas. Dados do Projeto MapBiomias (2023) indicam que, entre 1985 e 2022, a

área ocupada pela agropecuária no Brasil expandiu de 187,3 para 282,5 milhões de hectares, sendo 58% constituídos por pastagens, que tiveram crescimento superior a 60% no período (Figura 6.3). Essa expansão ocorreu principalmente na Amazônia, onde as pastagens passaram de 13,7 milhões para 57,7 milhões de hectares (Mha). Para conversão direta à agricultura, os principais estados (Mato Grosso, Rio Grande do Sul, Bahia, Maranhão e Goiás) somaram 8,74 Mha de desmatamento. No caso de desmatamento para pastagens, Pará, Mato Grosso, Rondônia, Maranhão e Tocantins totalizaram 51,3 milhões de Mha.

Figura 6.3 - Expansão da área agrícola no Brasil entre 1985 e 2022

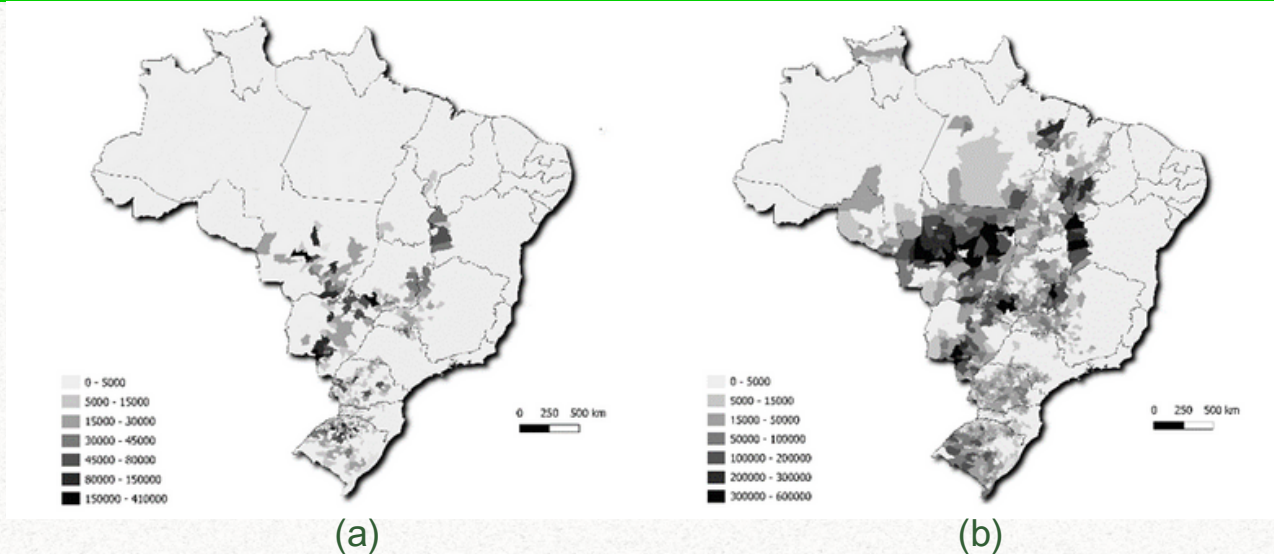


Fonte: Projeto MapBiomias (2023).

O caso da soja é emblemático. Com o desenvolvimento de cultivares adaptadas às condições edafoclimáticas brasileiras, a cultura passou a ser plantada em todas as regiões (Abrahão; Costa, 2018). A Figura 6.4 ilustra o aumento da área de cultivo de soja no Brasil. Dados da Companhia Nacional de Abastecimento – Conab (2025) indicam que a área plantada aumentou de 9,7 para 47,6

milhões de hectares entre as safras de 1990-91 e 2024-25. Embora a produção tenha aumentado aproximadamente 10 vezes no período, esse avanço foi impulsionado sobretudo pela expansão da área plantada (que quadruplicou), enquanto os ganhos de produtividade (que pouco mais que dobraram) desempenharam papel secundário.

Figura 6.4 - Expansão da área plantada de soja no Brasil entre 1988 (a) e 2024 (b)



Fonte: elaborado pelos autores a partir de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2024a).

Os padrões de produção e comércio de commodities agrícolas revelam como as cadeias de suprimento moldam o uso da terra no Brasil (Maranhão et al. 2025; Reis et al., 2023; Franco-Solís; Montanía; 2021). No caso da Amazônia Legal, a Haddad et al., (2024, p. 1145) demonstram que “a principal força motriz econômica para o desmatamento é o mercado interno, responsável por quase o triplo do desmatamento gerado pela demanda internacional”. A crescente demanda por commodities e aumentos de seus preços no mercado internacional também exercem forte influência sobre as decisões de uso da terra no Brasil (Miranda; Britz; Börner, 2024).

O Cerrado, savana mais biodiversa do mundo (Soterroni et al., 2019), apresenta as maiores pressões atuais devido à expansão agropecuária (Rabeschi et al., 2025; Dick et al., 2022). Suas condições favoráveis para a mecanização estimulam o avanço de monoculturas em detrimento da cobertura vegetal (Lucas; Caldarelli; Ventura, 2023). A conversão de habitats naturais para usos agrícolas já compromete aproximadamente 50% de sua área original. Essa mudança no uso da terra é impulsionada por culturas como soja, milho, algodão, eucalipto, cana-de-açúcar e pastagens. A intensidade dessas pressões é particularmente forte nas fronteiras agrícolas em expansão, como o Matopiba, que corresponde ao Tocantins, e áreas do Maranhão, do Piauí e da Bahia

(Rabeschi et al., 2025).

Na Amazônia, a expansão da fronteira agrícola é caracterizada por uma dinâmica de “desmatamento por deslocamento de produção” (Ribeiro et al., 2025). O processo inicia com a exploração madeireira, que garante o financiamento da expansão agropecuária. A pecuária extensiva, pouco produtiva, ocupa a maior parte das áreas desmatadas, seguida pela agricultura, que avança sobre áreas anteriormente abertas para pasto. A pecuária é, então, “empurrada” para novas fronteiras florestais, retroalimentando o desmatamento (Ribeiro et al., 2025).

Segundo Haddad et al. (2024, 1145), “nos últimos 50 anos, a Amazônia Legal tornou-se a maior região de produção pecuária e a terceira maior de grãos do Brasil”; concomitantemente, “desde 1975, 69 milhões de hectares de floresta primária foram desmatados”. Costa et al. (2024) explicam que ao desmatamento somam-se incêndios florestais, dispersão de agrotóxicos, redução da diversidade agrícola, grilagem, especulação fundiária, privatização de terras públicas, conflitos com povos indígenas e deslocamento de comunidades tradicionais. Esses autores afirmam que, desde os anos 1990, o agronegócio expandiu-se rapidamente no bioma Amazônico, dominando a produção regional e recebendo a maior parte dos subsídios, apoio institucional e infraestrutura logística.”

Pressões semelhantes acontecem nos biomas Pampa, Pantanal, Caatinga e Mata Atlântica. No Pampa, a degradação decorre da substituição das pastagens nativas por lavouras comerciais, especialmente soja, e da adoção de pastoreio contínuo e seletivo, reduzindo a cobertura do solo e intensificando os processos erosivos. No Pantanal, as pressões são relativamente menores, devido a restrições ambientais e de infraestrutura que limitam a viabilidade da agricultura intensiva, favorecendo a conservação de recursos naturais, apesar da baixa produtividade dos sistemas pecuários extensivos predominantes (Dick et al., 2022; Dick et al., 2021). As pressões na Caatinga derivam da ocupação de áreas com baixa resiliência ecológica e pouca capacidade de regeneração natural. O aumento da área agrícola em ambientes já sujeitos a estresse hídrico e baixa fertilidade natural comprometem a diversidade biológica (Refati et al., 2023; Santos et al., 2023). Na Mata Atlântica há o uso intensivo de áreas já desmatadas, com manutenção de monoculturas em paisagens fragmentadas (Lucas; Caldarelli; Ventura, 2023).

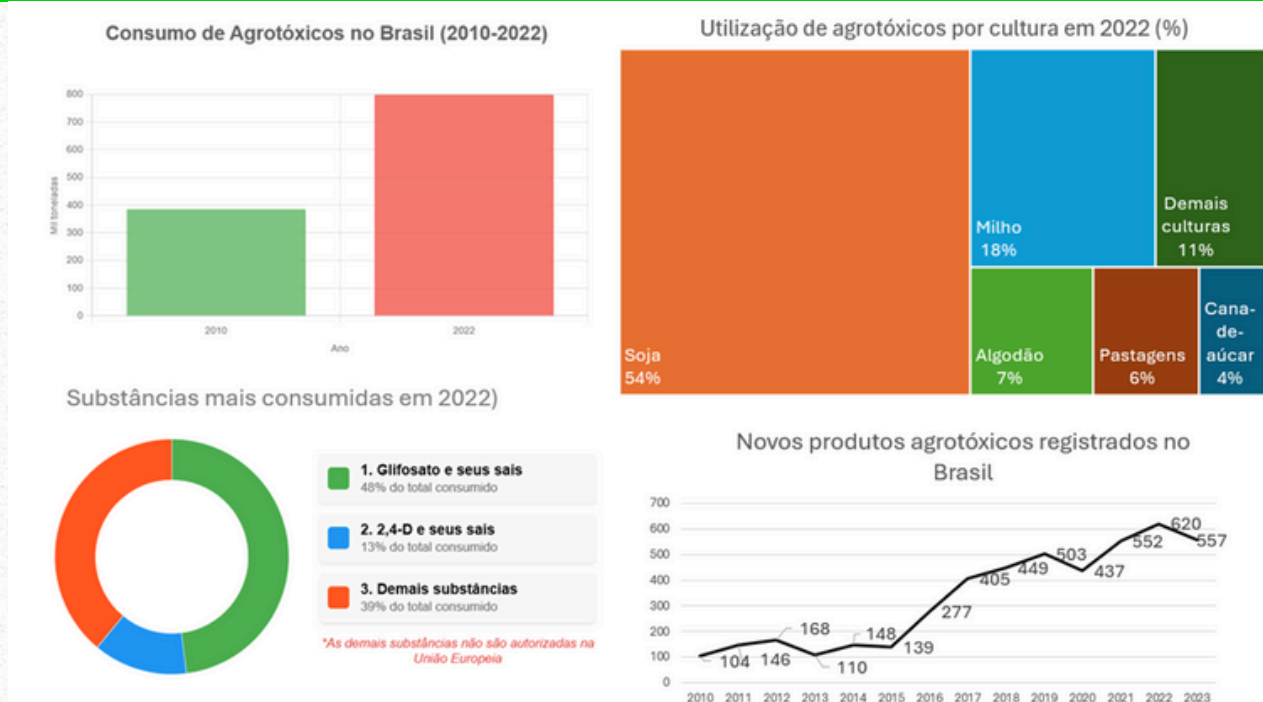
As pressões sobre os biomas dificultam o cumprimento do ODS 15 (vida terrestre), comprometendo a conservação da biodiversidade e a integridade dos ecossistemas. Portanto, o setor agropecuário desempenha papel central na tríplice crise ambiental: contribui significativamente para as emissões de GEE, perda de cobertura vegetal e biodiversidade e contaminação de solos, águas e alimentos.

Uso intensivo de insumos e os impactos ambientais da agricultura

A intensificação da conversão de

ecossistemas naturais para produção resulta em impactos ambientais, como perda de biodiversidade, fragmentação de habitats, contaminação de solos e águas pelo uso de insumos químicos e aumento das emissões de GEE (Sá; Gomes, 2025; Azevedo Júnior; Rodrigues; Silva, 2022; Câmara; Mendes, 2023). Esse processo é acompanhado por pressões sobre povos indígenas e comunidades tradicionais, concentração fundiária, desigualdades no acesso a políticas públicas e dificuldades de inclusão produtiva de pequenos agricultores (Costa et al., 2024). Os impactos negativos são especialmente intensos nos biomas Cerrado e Amazônia, que concentram grande parte da expansão agropecuária. Isso implica que “a intensificação da produção (...) não foi neutra, do ponto de vista social, e nem inócua, do ponto de vista ambiental” (Buainain et al., 2013, p. 112).

O modelo predominante na agricultura comercial exige o uso intensivo de herbicidas, inseticidas e fungicidas (Câmara; Mendes, 2023), como mostra a Figura 6.5. Como resultado, o Brasil é um dos maiores consumidores globais de agrotóxicos. O uso inadequado de agrotóxicos contamina solos, águas e unidades de conservação. Ademais, alimentos apresentam níveis desses resíduos que frequentemente excedem os limites das normas internacionais. Há implicações diretas para a saúde pública, com registros de intoxicações, que afetam de forma particularmente grave trabalhadores rurais, mulheres e crianças. A biodiversidade também é impactada, com declínio de polinizadores e outros organismos fundamentais para o equilíbrio dos ecossistemas (Fundação Heinrich Böll, 2024).

Figura 6.5 - Panorama do uso de agrotóxicos no Brasil


Fonte: elaborado pelos autores a partir da dados de Fundação Heinrich Böll (2024) e Hess et al. (2024).

As pressões identificadas neste estudo provocam alterações significativas nos recursos ambientais. A expansão agropecuária foi responsável por mais de 97% de toda a perda de vegetação nativa no Brasil nos últimos seis anos (MapBiomias, 2025). No Cerrado, devido à atuação do agronegócio, restam apenas 19,8% da vegetação nativa sem alterações (Mello et al., 2025). Aproximadamente 38% da floresta amazônica remanescente apresenta degradação causada por desmatamento, fragmentação de habitats, incêndios e secas extremas (Lapola et al. 2023). Estudos recentes confirmam que a degradação da Amazônia está reduzindo sua capacidade de armazenar carbono, sinalizando um “ponto de virada” crítico (Pires, 2023).

As práticas agrícolas intensivas promovem a degradação da qualidade do solo, da água e do ar (Ribeiro et al., 2025; Lucas et al., 2023; Safanelli et al., 2023).

O desmatamento, revolvimento constante do solo e irrigação mal gerida contribuem para a perda de matéria orgânica, compactação, erosão e salinização do solo, enquanto o uso excessivo de fertilizantes nitrogenados contamina as águas e aumenta as emissões de óxido nitroso devido à lixiviação e volatilização (Yang et al., 2024).

Os dados desta seção reforçam que desmatamento e fragmentação de habitats impulsionam a perda de biodiversidade (impactando diretamente o ODS 15) e o uso intensivo de agrotóxicos e fertilizantes gera poluição difusa (afetando o ODS 6 e o ODS 12). Esses processos estão intrinsecamente ligados ao aumento das emissões de GEE e à aceleração das mudanças climáticas (comprometendo o ODS 13). Essa sinergia de crises indica abordagens integradas que reconhecem a interdependência entre a proteção dos ecossistemas (ODS 14 e 15) e a produção e o consumo de alimentos (ODS 2).

2.4. Mudanças climáticas, impactos na agricultura e estratégias de mitigação

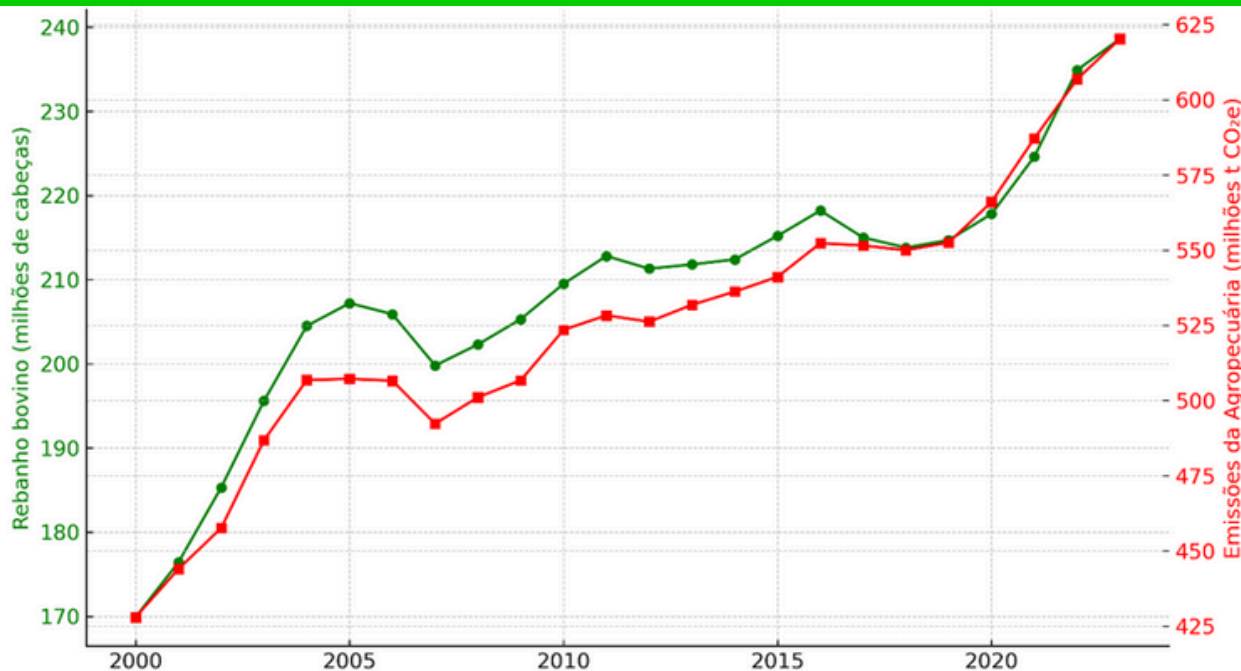
As mudanças ambientais afetam ecossistemas, economia e sociedade de formas distintas. Entre eles, destaca-se a redução de serviços ecossistêmicos, como a polinização, a regulação hídrica e climática e o controle biológico (Rabeschini et al., 2025; Costa et al., 2024; Lapola et al., 2023), bem como a intensificação das emissões de GEE associadas ao desmatamento, degradação florestal e atividades agropecuárias (Costa et al., 2024; Ribeiro et al., 2025).

A mudança no uso da terra e a agropecuária responderam,

respectivamente, por 46% e 28% das emissões de GEE em 2023 – 74% do total nacional – segundo dados do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa – SEEG (2024). A contribuição da pecuária bovina é relevante, dado seu vínculo com o desmatamento e com emissões de metano (Da Costa;

Debone; Miraglia, 2025; Baca et al., 2024). A pecuária foi responsável por 80% das emissões do setor agropecuário e aproximadamente 21% do total nacional em 2023 (SEEG, 2024). A Figura 6.6 mostra que o aumento das emissões brasileiras de CO₂eq acompanha o crescimento do rebanho bovino.

Figura 6.6 - Evolução do rebanho bovino e das emissões de CO₂eq no Brasil no período de 2000 a 2023



Fonte: elaborado pelos autores a partir de dados do SEEG (2024) e do IBGE (2024b).

Um dos fatores que explicam as emissões de GEE é o fato de a pecuária brasileira ser baseada, majoritariamente, em sistemas extensivos de pastagem. Quando mal manejadas, as pastagens perdem qualidade nutricional e os animais demoram mais para ganhar peso, produzem menos e emitem mais metano. A baixa eficiência produtiva, aliada à degradação de pastagens, amplia as emissões do setor e pressiona por abertura de novas áreas (Vasconcelos; Zapparoli, 2022; Ruggieri et al., 2020).

O aumento das emissões de GEE acelera as mudanças climáticas. Eventos climáticos extremos têm se tornado mais frequentes e intensos, com destaque para secas no Norte e Nordeste, ondas de calor no Semiárido e na Amazônia, tempestades no Sul e Sudeste, e ondas de frio severas na região Sul (Piedra-Bonilla et al., 2025). As mudanças no clima regional já afetam negativamente a produção e a produtividade agrícola, com tendência de intensificação nas próximas décadas

(Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC, 2023; Leite-Filho et al., 2025; Leite-Filho; Soares-Filho; Oliveira, 2024).

Projeções para o período de 2081–2100 indicam quedas de produtividade da soja e do milho, de 5,6% e 13,1%, respectivamente (Li et al., 2025); há ampla variação regional, mas as áreas do Matopiba podem ser as mais afetadas (Zilli et al., 2020). Estima-se que a produtividade da soja pode cair até 20% em verões secos e acima de 10% em períodos com temperaturas mínimas elevadas e o milho safrinha pode registrar perdas de até 30% sob seca severa em abril e maio; os efeitos são mais intensos quando eventos climáticos extremos ocorrem simultaneamente (Benso et al., 2025). Os impactos são heterogêneos, sendo a agricultura familiar particularmente vulnerável nas regiões Norte e Nordeste (Tanure; Domingues; Magalhães, 2024).

Quadro 6.2 - Agricultura em risco: efeitos climáticos, econômicos e sociais



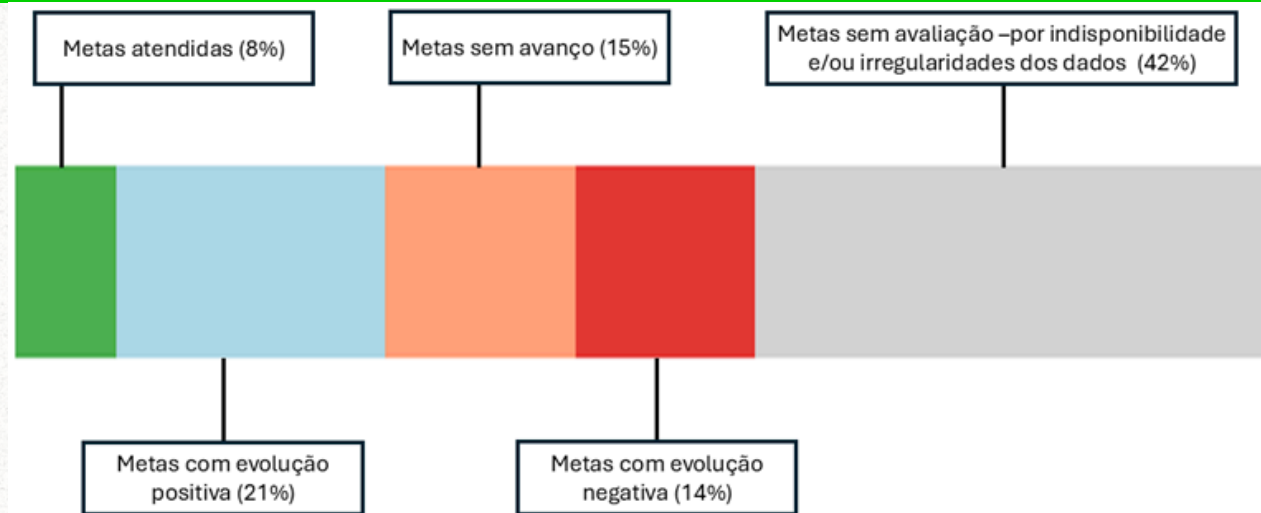
Fonte: baseado em Santos, Oliveira e Ferreira Filho (2022); e Nazareth, Gurgel e Cunha (2022).

As mudanças climáticas agravam os impactos ambientais da agricultura, ampliando os riscos para a sustentabilidade setorial. Temperaturas maiores, alteração dos padrões de precipitação e eventos extremos intensificam outros problemas, como erosão, proliferação de pragas e redução da eficácia de insumos agroquímicos (Yang et al., 2024). Consequentemente, há aumento no uso de fertilizantes e agrotóxicos. A expansão das áreas cultivadas via desmatamento intensifica as emissões de GEE, criando um ciclo vicioso, comprometendo as metas climáticas nacionais.

Os desafios para o cumprimento das metas ambientais na agricultura brasileira

Nessa seção, o foco recai sobre o componente “Estado” do modelo DPSIR, para descrever a condição atual, em termos produtivos e ambientais, da agricultura brasileira. O protagonismo agropecuário brasileiro contrasta com desafios estruturais, ambientais e sociais que dificultam o cumprimento das metas de melhoria da qualidade ambiental no setor, especialmente no contexto dos ODS (Figura 6.7). Durante a Conferência do Clima de Glasgow (COP26), o Brasil assumiu metas ambiciosas, como eliminar o desmatamento ilegal até 2028, reduzir pela metade as emissões de GEE até 2030 (em relação aos níveis de 2005) e alcançar a neutralidade de carbono até 2050 (UNFCCC, 2022a, 2022b; Bieluczyk et al., 2024).

Figura 6.7 - Desempenho do Brasil no cumprimento das metas da Agenda 2030



Fonte: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA (2024).

Expansão da fronteira agrícola sobre áreas sensíveis

Um dos entraves que dificultam o cumprimento das metas é a expansão da fronteira agrícola sobre áreas sensíveis, como a Amazônia e o Cerrado. Embora o desmatamento na Amazônia tenha diminuído 31% entre 2023 e 2024 (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, 2024), o número ainda está longe de ser considerado sustentável. Estima-se que, para que o Brasil cumpra suas metas climáticas, é essencial eliminar completamente o desmatamento – tanto legal quanto ilegal – e restaurar aproximadamente 35 milhões de hectares de vegetação nativa. Essa abordagem, baseada em soluções naturais, é considerada a mais eficaz e econômica para o país atingir a neutralidade de emissões de GEE até 2050 (Soterroni et al., 2023; Bieluczyk et al., 2024). A expansão da produção agrícola é reconhecida como um dos vetores do desmatamento em regiões tropicais, respondendo por 45% a 65% dessa conversão de uso da terra (Pendrill et al., 2019; Levy et al., 2023). Desde 2001, essa dinâmica contribuiu para mais de 20% das emissões globais de GEE de origem antrópica (Levy et al., 2023) e ocasionou perdas de biodiversidade em diversos ecossistemas tropicais (Giam, 2017; Levy et al., 2023). O desmatamento é apontado como fator de risco para a ocorrência de colapsos ecológicos abruptos, como o declínio massivo da cobertura florestal na Amazônia (Lapola et al.,

2018; Levy et al., 2023). Esses eventos podem desencadear impactos severos sobre a produtividade agrícola e o desempenho econômico regional, comprometendo a segurança alimentar (Nepstad et al., 2008; Levy et al., 2023; Boakes et al., 2024). O avanço da agropecuária sobre ecossistemas nativos compromete diretamente o cumprimento do ODS 13 (Ação contra a mudança global do clima) e do ODS 15 (Vida terrestre), dificultando a conservação da biodiversidade e a redução das emissões de GEE.

Baixa adesão a práticas que conciliam produtividade e conservação ambiental

Agricultura de precisão, plantio direto, fixação biológica de nitrogênio e recuperação de pastagens degradadas ainda não atingiram escala suficiente para gerar impactos positivos consistentes. Pesquisas revelam que, embora 84% dos agricultores brasileiros utilizem pelo menos uma tecnologia digital em seus sistemas de produção, a adoção de tecnologias de agricultura de precisão ainda é restrita. Fatores como altos custos de aquisição, falta de conectividade e necessidade de treinamento especializado são apontados como barreiras para a expansão dessas tecnologias (Bolfe et al., 2020)

Em muitas regiões predomina o modelo de monocultivo com baixa diversificação produtiva, reduzindo a resiliência agrícola às mudanças climáticas (De Groot et al., 2021;

Suarez; Gwozdz, 2023; Kaur et al., 2024). Destaca-se a alta dependência de insumos químicos como um dos principais obstáculos ao avanço socioambiental do setor (Santos et al., 2023; Yang et al., 2024). O uso excessivo e muitas vezes inadequado desses produtos compromete a qualidade do solo, dos recursos hídricos e da biodiversidade local, além de representar riscos diretos à saúde humana e agravar desigualdades sociais, sobretudo em áreas rurais vulneráveis (Yang et al., 2024; Yilmaz e Yilmaz, 2025).

Essa dependência está diretamente relacionada ao ODS 12 (Consumo e produção responsáveis), em especial à meta 12.4, que prevê a gestão ambientalmente adequada de produtos químicos e resíduos. O modelo agrícola vigente contraria essa meta por não assegurar o uso seguro e sustentável dos insumos. Soma-se a isso o fato de que cerca de 85% dos fertilizantes utilizados no Brasil são importados, expondo a agricultura nacional a riscos geopolíticos e econômicos, como evidenciado durante a guerra entre Rússia e Ucrânia, que elevou os custos de produção e ameaçou a segurança alimentar (Brasil, 2022).

Desigualdade no acesso à terra, recursos e assistência técnica

Dados do Censo Agropecuário 2017 indicam que a concentração fundiária no meio rural brasileiro se mantém elevada, com o índice de Gini alcançando 0,867 – o maior valor registrado desde 1985. Esse patamar supera os observados nos censos anteriores: 0,854 em 2006, 0,856 em 1995-1996 e 0,857 em 1985, evidenciando a persistência da desigualdade na distribuição de terras ao longo do tempo (IBGE, 2019b).

Essa desigualdade dificulta o acesso de pequenos produtores a recursos para implementar práticas sustentáveis e tecnologias mais limpas. O acesso ao crédito rural e à assistência técnica é limitado, principalmente, para agricultores familiares (IBGE, 2019a). Apenas 20% dos estabelecimentos agrícolas no Brasil recebem algum tipo de orientação técnica. Essa deficiência é mais pronunciada nas regiões Norte e Nordeste, onde menos de 10% dos estabelecimentos são atendidos (IBGE, 2019a). Ademais, parte da assistência

disponível é fornecida por empresas de agroquímicos, limitando a difusão de alternativas sustentáveis e reforçando o modelo baseado no uso intensivo de insumos químicos. A ausência de apoio técnico e financeiro reduz as possibilidades de adoção de sistemas agroecológicos ou agricultura regenerativa, que requerem conhecimentos específicos e suporte contínuo (Côte et al., 2022).

Esses entraves comprometem o cumprimento dos ODS e os compromissos assumidos pelo Brasil na COP 26. Superá-los requer políticas públicas integradas, fortalecimento da governança ambiental, apoio ampliado a pequenos produtores e investimentos em tecnologias sustentáveis. Apenas com ação coordenada entre governo, setor produtivo e sociedade civil será possível alinhar a agricultura à conservação ambiental, à justiça social e ao cumprimento da Agenda 2030.

4. Justiça Ambiental

A sustentabilidade constitui fundamento conceitual e prático da agricultura, uma vez que esta representa uma das formas permanentes de interação entre os seres humanos e a natureza (Congreves, 2025). Assim, a qualidade ambiental – expressa na preservação do solo fértil, da água limpa, do ar puro, da biodiversidade e do equilíbrio climático – constitui-se pilar fundamental para garantir a continuidade da produção agrícola, segurança alimentar e bem-estar das populações rurais e urbanas (FAO, 2021).

Entretanto, o crescimento contínuo e as demandas insustentáveis da população têm ultrapassado a capacidade de regeneração dos recursos naturais (Gamage et al., 2023). Segundo projeções das Nações Unidas, a população mundial pode alcançar 10,4 bilhões até a década de 2080 (UN, 2022), agravando a pressão sobre os ecossistemas. Sem intervenções apropriadas, torna-se cada vez mais difícil manter a qualidade ambiental, pois os danos aos ecossistemas estão se intensificando e se tornando mais difíceis de reverter (Gamage et al., 2023; Congreves, 2025).

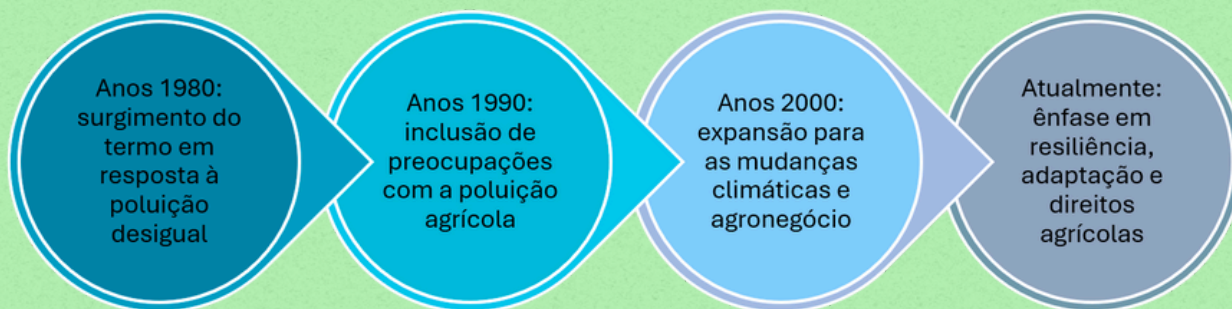
No Brasil, marcado por profunda concentração de terras, poder econômico e político das elites agrárias e desigualdade de acesso aos recursos naturais e instrumentos de proteção ambiental, a presença/ausência de qualidade ambiental afeta diferentemente agricultores familiares, comunidades indígenas e tradicionais e grandes produtores (IBGE, 2019b; Maluf et al., 2022; Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento – PNUD, 2022). Os benefícios e prejuízos associados à qualidade ambiental na agricultura não são distribuídos de forma equitativa entre os diferentes grupos sociais (Epps et al., 2025).

Essa desigualdade é o objeto de estudo da justiça ambiental, abordagem que busca compreender e corrigir as assimetrias no acesso aos bens naturais e na exposição aos riscos socioambientais (Embrapa, 2018;

PNUD, 2022). A compreensão do conceito de justiça ambiental vem se transformando ao longo do tempo (Schlosberg; Collins, 2014), especialmente quando se considera sua intersecção com a agricultura. Originalmente concebido como reação às injustiças raciais e sociais na distribuição de riscos ambientais, o conceito passou progressivamente a incorporar elementos ligados à produção de alimentos, ao acesso à terra e à água, à valorização dos saberes tradicionais e à adaptação às mudanças climáticas (Figura 8). Essa evolução tem sido marcada pelo reconhecimento das desigualdades no uso dos recursos naturais, valorização de sistemas de produção sustentáveis e luta por direitos territoriais e alimentares, sobretudo de pequenos agricultores, povos indígenas e comunidades tradicionais (Schlosberg; Collins, 2014; Knoble; Yu, 2023).

Quadro 6.3 - Evolução do conceito de justiça ambiental com ênfase na agricultura

Figura Q6.3 - Síntese da evolução do conceito de justiça ambiental com ênfase na agricultura



Fonte: Elaborado pelos autores.

Anos 1980: o conceito de justiça ambiental surgiu nos Estados Unidos como resposta à distribuição injusta da poluição e à instalação de indústrias poluentes em áreas habitadas por populações negras e pobres. Essa abordagem tinha como foco a justiça distributiva e a exposição desigual a riscos ambientais (Bullard, 1990; Knoble; Yu, 2023).

Anos 1990: com o avanço da agricultura intensiva e uso crescente de agrotóxicos, os impactos da poluição agrícola passaram a ser incorporados às discussões sobre justiça ambiental. Trabalhadores rurais e comunidades próximas às lavouras passaram a figurar como grupos vulneráveis à contaminação e aos efeitos da degradação ambiental (Shekhar et al., 2024).

Anos 2000: o conceito se amplia para incluir os efeitos das mudanças climáticas sobre a agricultura. Ganha força o debate sobre a vulnerabilidade de pequenos produtores e a responsabilidade das corporações do agronegócio na emissão de GEE e na apropriação de terras e recursos (Schlosberg; Collins, 2014; Dos Santos et al., 2024; Maluf et al., 2022).

Atualmente: é incorporada a ideia de justiça climática, defendendo políticas de adaptação, soberania alimentar, direitos territoriais e valorização dos modos de vida tradicionais. Privilegia-se a construção de sistemas alimentares sustentáveis e inclusivos, de base agroecológica, com equidade de gênero e participação social (PNUD, 2022; Berg et al., 2025; Araujo Fonseca; Bustamante, 2025).

Fonte: Elaborado pelos autores.

Enquanto algumas populações conseguem usufruir dos benefícios de uma agricultura ambientalmente equilibrada (alimentos saudáveis, solos produtivos e estabilidade hídrica), outras enfrentam efeitos da degradação ambiental com pouca capacidade de reação, como a exposição a pesticidas, conflitos territoriais, insegurança alimentar, baixa qualidade do ar e intensificação de eventos climáticos extremos (PNUD, 2022; Dos Santos et al., 2024; Yu et al., 2024; Leite et al., 2025). A justiça ambiental, portanto, exige reconhecimento à diversidade de impactos e à necessidade de políticas para equidade no acesso à qualidade ambiental no campo (PNUD, 2022).

A degradação ambiental, causada por desmatamento, uso irracional de pesticidas, erosão, contaminação hídrica e mudanças climáticas, tem impactos mais intensos sobre grupos com menor poder econômico, político e institucional (Arcuray et al., 2021; Donley et al., 2022; PNUD, 2022). Povos indígenas e comunidades tradicionais têm sua existência comprometida, pois a poluição de rios, desmatamento e degradação do solo afetam seus modos de vida, ameaçam seus conhecimentos e ampliam a insegurança alimentar (Fernández-Llamazares et al., 2023; Scheidel et al., 2023).

Ademais, muitas dessas comunidades enfrentam restrições no acesso a políticas ambientais, como regularização fundiária, assistência técnica e incentivos à agroecologia, agravando sua vulnerabilidade (Goris et al., 2024; Berg et al., 2025). A concentração fundiária intensifica esse quadro: o coeficiente de Gini da propriedade no Brasil chegou a 0,73, colocando o país entre os mais desiguais do mundo. Cerca de 25% da área agrícola está em apenas 15.686 imóveis, equivalentes a 0,3% das propriedades registradas (Pinto et al., 2020). Essa desigualdade no acesso e legalização da terra contribui para a pobreza rural e limita práticas agrícolas sustentáveis.

Povos indígenas e comunidades tradicionais exercem papel essencial na conservação ambiental e na preservação da biodiversidade, graças a seus modos de vida sustentáveis e aos conhecimentos

ancestrais sobre o manejo racional dos recursos naturais (IPCC, 2022; Reyes-García et al., 2022; Sinthumule, 2023; Araujo Fonseca; Bustamante, 2025). Estudos mostram que territórios sob sua gestão apresentam menor desmatamento e maior integridade ambiental, reflexo de práticas como agroflorestas, extrativismo sustentável e agroecologia (Fa et al., 2020; O'Bryan et al., 2020; Reyes-García et al., 2022).

Agricultores familiares, quilombolas, ribeirinhos, indígenas e outros povos tradicionais, comumente utilizam práticas agrícolas de base ecológica, com pouca ou nenhuma dependência de insumos químicos, contribuindo para a conservação da biodiversidade brasileira (Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, 2025; Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima – MMA, 2024). Para essas populações, a boa qualidade do solo, da água e da biodiversidade não é apenas benefício ambiental, mas condição de sobrevivência e de reprodução sociocultural (Oviedo; Doblas, 2022; Santos et al., 2022).

Em territórios onde o ambiente está conservado, esses grupos conseguem manter sistemas agrícolas sustentáveis, que geram alimentos, renda e proteção dos ecossistemas (Oviedo; Doblas, 2022; MMA, 2024). Exemplos incluem experiências agroecológicas no semiárido nordestino apoiadas por redes como a Articulação Semiárido Brasileiro – ASA Brasil, ou práticas agroflorestais desenvolvidas por indígenas no Acre, que aliam conservação ambiental e soberania alimentar (Bianchini; Bianchini, 2007; ASA Brasil, 2015).

Reconhecer e fortalecer a atuação dos povos tradicionais é fundamental para a justiça ambiental, pois envolve garantir direitos territoriais, valorizar a diversidade cultural e apoiar sistemas produtivos sustentáveis (Adams; Sarvestani, 2024; Osborne et al., 2024). Incorporar seus saberes e demandas nas políticas públicas, além de imperativo ético, constitui-se solução para promover desenvolvimento rural inclusivo e conservação dos biomas brasileiros (Araujo Fonseca; Bustamante, 2025).

Reconhecê-los como atores centrais na adaptação e mitigação das mudanças climáticas é essencial. Guardiões de práticas

sustentáveis e detentores de profundo conhecimento sobre seus territórios, desempenham papel fundamental no fortalecimento da resiliência dos ecossistemas dos quais fazem parte. Enfrentam os desafios climáticos de forma inovadora, combinando saberes tradicionais com tecnologias modernas, criando soluções adaptativas que beneficiam tanto suas comunidades quanto a sociedade como um todo. Esse papel dos povos tradicionais deve ser incorporado às discussões globais como exemplo de liderança diante das mudanças ambientais (Salick; Ross, 2018). Felizmente, observa-se reconhecimento crescente do valor do conhecimento local de comunidades tradicionais para a pesquisa climática (Cuni-Sanchez et al., 2025).

Enfrentar os desafios da justiça ambiental e climática exige ações baseadas na equidade e no respeito aos direitos humanos, sobretudo nas estratégias de mitigação e adaptação às mudanças climáticas, conservação dos ecossistemas e combate à poluição. É essencial garantir direitos territoriais dos povos tradicionais na expansão de áreas protegidas, assegurar participação social e acesso à informação nas decisões ambientais, criar mecanismos de responsabilização por violações ligadas à degradação ambiental e considerar os direitos das futuras gerações (PNUD, 2022).

A transição para uma economia sustentável e de baixo carbono deve ser justa, com distribuição equilibrada de esforços e benefícios, apoiada por marcos legais sólidos e governança democrática. Na agricultura brasileira, isso implica reconhecer desigualdades no acesso à terra e recursos, promover políticas que assegurem qualidade ambiental como direito coletivo, garantir direitos territoriais e ambientais de povos indígenas e comunidades tradicionais, apoiar práticas sustentáveis e ampliar a assistência técnica voltada à conservação.

5. Políticas agrícolas e ambientais no Brasil

O desenvolvimento da agricultura brasileira é marcado por uma dualidade: de um lado, sua notável capacidade produtiva, que posicionou o país como um dos maiores produtores e exportadores globais de commodities; de outro, os impactos ambientais decorrentes desse modelo, com destaque para o desmatamento, dependência de insumos químicos e emissões de GEE. Com base no componente “Respostas” da metodologia DPSIR, nessa seção são analisadas as principais políticas públicas e iniciativas voltadas à mitigação dos impactos e à promoção da sustentabilidade no setor. Mostramos que há uma trajetória de políticas que oscilam entre a promoção da “modernização agrícola” e tentativas de incorporar critérios de sustentabilidade. No entanto, sua efetividade é frequentemente comprometida pelo arcabouço institucional fragmentado, conflitos de interesse e falta de coordenação entre os órgãos governamentais.

Desde a segunda metade do século XX, o país desenvolveu um conjunto de instituições voltado à promoção da agricultura, cuja origem remonta ao chamado “tripé da modernização”: crédito rural, pesquisa agrícola e extensão rural (Castro, 1984). A partir dos anos 1960, consolida-se a intervenção estatal planejada, com a criação de sistemas estruturantes, como o Sistema Nacional de Planejamento Agropecuário, o Sistema Nacional de Crédito Rural, o Sistema Nacional de Pesquisa Agropecuária, liderado pela Embrapa e o Sistema Nacional de Extensão Rural, com a Empresa Brasileira de Assistência Técnica e Extensão Rural (Embrater) (Santana et al., 2014; Buainain et al., 2014; Almeida; Zylbersztajn, 2008). Esses instrumentos foram fundamentais para impulsionar a modernização tecnológica e o crescimento setorial, mas priorizaram a expansão da fronteira agrícola sem preocupação com os limites ecológicos.

De acordo com Santana et al. (2014), o crescimento da agropecuária nos anos 1970 não se manteve na década seguinte, resultando em crises de abastecimento, alta nos preços agrícolas (que pressionaram a inflação) e aumento das importações

agropecuárias. Essa conjuntura desfavorável só foi definitivamente superada a partir do final da década de 1990. Buainain et al. (2013) explicam que o Brasil entrou outra fase do desenvolvimento agrícola, marcada por padrão produtivo intensivo em capital e inovação tecnológica. Esses autores também argumentam que essa fase rompeu com o modelo desenvolvimentista estatizante e inaugurou um modelo de orientação liberal, com forte presença do setor privado nas decisões e investimentos. A abertura comercial e a desregulamentação contribuíram nesse processo, ampliando o acesso aos mercados externos.

A partir da década de 1990, a questão ambiental passou a ser incorporada ao debate sobre o meio rural, sendo especialmente associada à agricultura familiar, vista como mais alinhada aos princípios do desenvolvimento sustentável (Candiotto; Corrêa, 2004). Alguns marcos institucionais dessa época devem ser destacados: país desenvolveu um conjunto de instituições voltado à promoção da agricultura, cuja origem remonta ao chamado “tripé da modernização”: crédito rural, pesquisa agrícola e extensão rural (Castro, 1984). A partir dos anos 1960, consolida-se a intervenção estatal planejada, com a criação de sistemas estruturantes, como o Sistema Nacional de Planejamento Agropecuário, o Sistema Nacional de Crédito Rural, o Sistema Nacional de Pesquisa Agropecuária, liderado pela Embrapa e o Sistema Nacional de Extensão Rural, com a Empresa Brasileira de Assistência Técnica e Extensão Rural (Embrater) (Santana et al., 2014; Buainain et al., 2014; Almeida; Zylbersztajn, 2008). Esses instrumentos foram fundamentais para impulsionar a modernização tecnológica e o crescimento setorial, mas priorizaram a expansão da fronteira agrícola sem preocupação com os limites ecológicos.

De acordo com Santana et al. (2014), o crescimento da agropecuária nos anos 1970 não se manteve na década seguinte, resultando em crises de abastecimento, alta nos preços agrícolas (que pressionaram a inflação) e aumento das importações agropecuárias. Essa conjuntura desfavorável só foi definitivamente superada a partir do final da década de

1990. Buainain et al. (2013) explicam que o Brasil entrou outra fase do desenvolvimento agrícola, marcada por padrão produtivo intensivo em capital e inovação tecnológica. Esses autores também argumentam que essa fase rompeu com o modelo desenvolvimentista estatizante e inaugurou um modelo de orientação liberal, com forte presença do setor privado nas decisões e investimentos. A abertura comercial e a desregulamentação contribuíram nesse processo, ampliando o acesso aos mercados externos.

A partir da década de 1990, a questão ambiental passou a ser incorporada ao debate sobre o meio rural, sendo especialmente associada à agricultura familiar, vista como mais alinhada aos princípios do desenvolvimento sustentável (Candiotto; Corrêa, 2004). Alguns marcos institucionais dessa época devem ser destacados:

Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar – PRONAF (1996); criação do Ministério do Desenvolvimento Agrário (2000); Conselho Nacional de Desenvolvimento Rural Sustentável – CNDRS (2000); e Plano Nacional de Desenvolvimento Rural Sustentável – PNDRS (2002). Destaca-se ainda a Agenda 21 brasileira, que continha, entre seus objetivos, o “Desenvolvimento sustentável do Brasil rural” e a “Promoção da agricultura sustentável”¹ (Candiotto; Corrêa, 2004).

Na década seguinte, a questão ambiental passou a ocupar mais espaço no debate agrícola, conforme destacado na Figura 9. Ao longo da primeira década do século XXI, o Plano Agrícola e Pecuário (PAP), que agrega as principais ações e políticas públicas voltadas ao setor, incluindo o Plano Safra e o Plano Safra da Agricultura Familiar, passou a incorporar de forma crescente o discurso da conservação ambiental como diretriz, incluindo elementos como produção orgânica, agroecologia e agricultura de baixo carbono (Grisa; Chechi, 2016). Desde 2023, por exemplo, o Plano Safra passou a oferecer reduções nas taxas de juros de financiamento para custeio aos produtores que adotam práticas como recuperação de pastagens degradadas, produção orgânica ou agroecológica, utilização de bioinsumos, tratamento de dejetos, rebanho bovino rastreado e certificação de sustentabilidade. Os

produtores com direito a descontos são aqueles cujo Cadastro Ambiental Rural (CAR) foi validado pelos órgãos ambientais e classificados em uma das seguintes situações: (i) sem passivos ambientais (não teve áreas desmatadas ilegalmente, por exemplo); (ii) com excedente de vegetação nativa em Reserva Legal acima do exigido por lei; e (iii) com passivo ambiental, mas que já iniciou o processo de regularização, apresentando um Plano de Regularização Ambiental (PRA) ou compromisso de recuperação (Araújo, 2023).

É preciso enfatizar que, pelo menos duas das legislações mencionadas acima têm sido alvo de críticas por favorecerem retrocessos na agenda ambiental brasileira:

- O novo Código Florestal reduziu obrigações legais de conservação em propriedades privadas. Apesar da ampla adesão ao CAR, poucos proprietários tomaram medidas para recuperar áreas ilegalmente desmatadas, e o cumprimento integral da legislação oferece baixos incentivos econômicos. Além disso, por ter anistiado desmatamentos anteriores, gerou estímulo para mais desmatamentos na expectativa de futuras anistias (Rajão et al., 2022; Azevedo et al.; 2017; Soares Filho et al., 2014).
- A nova “Lei dos Agrotóxicos” reduziu o controle sanitário e ambiental ao concentrar as decisões sobre registro e liberação de agrotóxicos no Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA). A norma flexibilizou critérios toxicológicos, permitiu o registro de substâncias com efeitos comprovadamente

nocivos à saúde humana e autorizou a produção para exportação de agrotóxicos proibidos no país. Esses dispositivos podem ampliar a exposição da população e do ambiente a riscos associados ao uso de agrotóxicos (Hess et al., 2024).

Apesar do enfraquecimento recente das políticas ambientais, o Brasil busca promover a transição sustentável da agricultura (Rajão et al., 2022). A “modernização ecológica” tem como pontos fortes a capacidade de promover inovações tecnológicas e institucionais voltadas à substituição de combustíveis fósseis, o aproveitamento da biodiversidade como ativo econômico e a inserção de discursos ambientais nas políticas públicas, mesmo que de forma seletiva (Bastos Lima, 2021). Reis et al. (2023) associam a intensificação sustentável à integração de atividades produtivas, governança efetiva, políticas adequadas e avaliação sistêmica dos sistemas agrícolas.

A Moratória da Soja, por exemplo, representa a tentativa de reduzir o desmatamento causado pela expansão agropecuária. Trata-se de um acordo voluntário, firmado em 2006, em que grandes corporações se comprometeram a não adquirir soja produzida em áreas da Amazônia desmatadas após julho de 2006 (Gibbs et al., 2015). Estima-se que a moratória evitou de 2.304 a 18.000 km² de desmatamento na Amazônia entre 2006 e 2016. Esse resultado também se deve ao fortalecimento das políticas públicas ambientais, como o Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia (PPCDAm), que reforçou a fiscalização e puniu infratores, criando ambiente institucional mais rígido (Brandão; Cardoso; Garrett, 2025).

¹ A Agenda 21 foi um plano global de desenvolvimento sustentável apresentado na Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (Rio-92). Estabelecia diretrizes para equilibrar progresso socioeconômico e preservação ambiental, com mecanismos de monitoramento e revisão periódica. Mais detalhes podem ser obtidos em: <https://sdgs.un.org/sites/default/files/publications/Agenda21.pdf>.

Figura 6.8 - Marcos Regulatórios em meio ambiente, clima e agricultura sustentável no Brasil



Fonte: elaborado pelos autores com base em Brasil, 2000; Pizella; De Souza, 2012; Brasil, 2005; Brasil 2009; Brasil, 2009; Brasil, 2023a, b; Brasil, 2012; Brasil, 2015; Brasil, 2017; Brasil, 2021; Brasil, 2023c; Brasil, 2024^a; Brasil, 2024b; Brasil, 2024c; Brasil, 2024d.

Nunes et al. (2024, p. 1) estudaram políticas, práticas e mudanças institucionais na aplicação de leis ambientais na porção brasileira do bioma amazônico e afirmaram que “o Brasil tem leis ambientais sólidas no papel, mas sua aplicação é frequentemente insuficiente”. Segundo os autores, a aplicação das leis é essencial, mas só funciona com continuidade, coerência e respaldo político. É preciso coordenação governamental centralizada, apoio político, recursos técnicos e punições efetivas. A fiscalização é fundamental e pode ter sua precisão e eficácia melhoradas com investimentos em monitoramento por satélite e georreferenciamento. Uma de suas principais conclusões é que o Brasil precisa de vontade política, governança estável e compromisso duradouro com a conservação ambiental.

Em conjunto, as legislações e políticas públicas brasileiras têm potencial para que a

agropecuária avance em qualidade ambiental enquanto amplia sua competitividade internacional. Porém, sua efetividade enfrenta desafios importantes, como a desigualdade na capacidade de adoção entre pequenos e grandes produtores, as dificuldades de acesso ao crédito rural, a carência de capacitação técnica para o uso de tecnologias sustentáveis e a limitada oferta de assistência técnica e extensão rural contínuas e qualificadas. A complexidade é ampliada pela natureza multinível da governança agrícola e ambiental no Brasil, na qual estados e municípios desempenham papéis relevantes tanto na formulação de políticas próprias quanto na implementação e adaptação das diretrizes nacionais às realidades locais. Essa proximidade com os territórios pode gerar avanços, mas também impõe desafios adicionais de coordenação e coerência entre as diferentes esferas de governo.

Considerações finais: oportunidades para a transformação sustentável da agricultura brasileira

Este capítulo demonstrou que o Brasil enfrenta dilemas profundos entre a expansão produtiva e a conservação ambiental. Portanto, é essencial implementar oportunidades que promovam a transformação estrutural no setor por meio de práticas sustentáveis, integradas e resilientes. Destacamos:

- Sistemas agrícolas de baixo carbono representam oportunidade-chave, considerando que aproximadamente 60% das pastagens apresentam algum grau de degradação (Bolfé et al., 2024). A recuperação de pastagens contribui para mitigar emissões de GEE, conservar o solo e intensificar a produção (Bieluczyk et al., 2024; Bolfé et al., 2024; Gianetti; Filho, 2024). Aproximadamente 28 milhões de hectares de pastagens que estão em estado intermediário ou avançado de degradação possuem elevado potencial para conversão em áreas agrícolas. A recuperação e utilização dessas terras poderia expandir em

35% a área destinada ao cultivo de grãos no país (Bolfé et al. 2024) e aumentar 0,56% no PIB e 0,73% no consumo real das famílias; ademais, para cada real investido na recuperação de pastagens, estima-se retorno social de R\$ 8,27 (Gianetti; Filho, 2024).

- Em culturas nas quais o país possui alta produtividade, como soja e milho, a adoção de rotação de culturas, práticas de diversificação agrícola e manejo orgânico de solos – práticas de intensificação ecológica – podem aumentar a eficiência no uso de nutrientes, reduzindo a necessidade de insumos sintéticos, além de contribuir com o controle biológico de pragas e ciclagem de nutrientes, aumentando a resiliência dos sistemas produtivos (van Ittersum et al., 2025).
- Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA) permitem conciliar produção agrícola e conservação, ao remunerar práticas que preservam a biodiversidade e aumentam o sequestro de carbono

(Mamedes et al., 2023; Mota et al., 2023). São considerados eficazes por oferecer incentivos e reconhecimento a quem contribui com a proteção ambiental (Farley et al., 2010; Muradian et al., 2010; Mota et al., 2023). Apesar das críticas à mercantilização da natureza e à fraca integração socioecológica, há evidências de que os PSA contribuem para a conservação e a governança sustentável (Adhikari; Baral, 2018; Mamedes et al., 2023).

- A agroecologia – abordagem sistêmica que integra saberes tradicionais e ciência ecológica – constitui-se oportunidade promissora, já que o país conta com diversidade de agricultores familiares e povos tradicionais (IBGE, 2019). A experiência latino-americana mostra seu potencial transformador ao promover práticas agrícolas diversas, resilientes e menos dependentes de insumos químicos e gerar benefícios socioeconômicos, como aumento de renda, produtividade e eficiência na gestão rural (Levidow; Sansolo; Schiavinatto, 2022; Mouratiadou et al., 2024). Durante a pandemia de COVID-19, a agroecologia camponesa mostrou maior resiliência frente às dificuldades dos modelos intensivos (Van der Ploeg, 2020; Levidow; Sansolo; Schiavinatto, 2022).
- A adoção de energia verde e bioinsumos é apoiada por vantagens estruturais e ecológicas. A matriz energética nacional é composta por 49,1% de fontes renováveis, como hidrelétricas, biomassa, solar e eólica (Balanço Energético Nacional – BEN, 2024). Essa base limpa favorece a descarbonização na irrigação, beneficiamento e armazenagem. Ademais, os resíduos agropecuários oferecem alto potencial para geração de biogás e biomassa, promovendo ganhos ambientais e econômicos (Portugal-Pereira et al., 2015; Mendes et al., 2023).
- A biodiversidade brasileira oferece base científica para o desenvolvimento de bioinsumos adaptados às diferentes regiões agroecológicas (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA, 2022). Biofertilizantes e biopesticidas permitem reduzir o uso de insumos químicos, diminuir a contaminação de solos e águas, melhorar a saúde do solo e aumentar a resiliência

agroecológica (Ferreyra-Suarez; García-Depraect; Castro-Muñoz, 2024). No Brasil, o mercado de bioinsumos cresceu cerca de 23% entre 2022 e 2023, consolidando-se como vetor de inovação agrícola (Embrapa, 2023).

As oportunidades para a agricultura brasileira envolvem a união de inovações tecnológicas e saberes tradicionais. Para liderar essa transição é fundamental implementar ações concretas: fortalecer a governança multinível, ampliar a assistência técnica – especialmente para a agricultura familiar e povos tradicionais –, revisar incentivos fiscais, expandir programas de crédito “verde”, garantir direitos territoriais e basear as políticas em evidências científicas. Dada a importância histórica do crédito rural para o desenvolvimento da agropecuária nacional (Lopes; Lowery; Peroba, 2016; Leite; Wesz Junior, 2015), é necessário um reposicionamento estratégico do Estado brasileiro, priorizando cadeias de valor sustentáveis, a agricultura familiar e produtos da sociobiodiversidade, restringindo o crédito a atividades que avancem sobre territórios protegidos. Essas iniciativas, que dialogam com diversos ODS (em especial 12, 13 e 15), podem contribuir para articular sustentabilidade ambiental, justiça social e desenvolvimento econômico, especialmente em territórios historicamente pela pressão sobre os recursos naturais.

Referências

- Abrahão, G. M., & Costa, M. H. (2018). Evolution of rain and photoperiod limitations on the soybean growing season in Brazil: The rise (and possible fall) of double-cropping systems. **Agricultural and Forest Meteorology**, 256–257, 32–45. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.02.031>
- Adams, M. M., & Sarvestani, D. B. (2024). Indigenous Peoples' Rights Discourse: Toward Hemispheric Indigenous Climate and Environmental Justice. **Environmental Justice**. <https://doi.org/10.1089/env.2023.0076>
- Adhikari, S., & Baral, H. (2018). Governing forest ecosystem services for sustainable environmental governance: A review. **Environments**, 5(5), 53. <https://doi.org/10.3390/environments5050053>
- Almeida, L. F. de, & Zylbersztajn, D. (2008). Crédito agrícola no Brasil: uma perspectiva institucional sobre a evolução dos contratos. *Internext – Revista Eletrônica de Negócios Internacionais*, 3(2), 267–287.
- Araújo, W. V. (2023). Plano Safra: Uma política de desenvolvimento agropecuário sustentável. **Revista de Política Agrícola**, 32(3), 3–5.
- Araujo Fonseca, F. N., & Bustamante, M. M. C. (2025). The importance of indigenous territories for the provision of ecosystem services: A case study in the Brazilian Cerrado-Amazon Transition. **Ecosystem Services**, 72, 101706. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2025.101706>
- Arcury, T. A., Chen, H., Quandt, S. A., Talton, J. W., Anderson, K. A., Scott, R. P., Jensen, A., & Laurienti, P. J. (2021). Pesticide exposure among Latinx children: Comparison of children in rural, farmworker and urban, non-farmworker communities. **Science of the total environment**, 763, 144233. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144233>
- Articulação Semiárido Brasileiro - ASA Brasil. (2015). **Agroecologia**. <https://asabrasil.org.br/2015/03/21/agroecologia/>
- Azevedo, A. A., Rajão, R., Costa, M. A., Stabile, M. C. C., Macedo, M. N., dos Reis, T. N. P., Alencar, A., Soares-Filho, B. S., & Pacheco, R. (2017). Limits of Brazil's Forest Code as a means to end illegal deforestation. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, 114(29), 7653–7658. <https://doi.org/10.1073/pnas.1604768114>
- Azevedo Junior, W. C., Rodrigues, M., & Silva, D. C. C. (2022). Does agricultural efficiency contribute to slowdown of deforestation in the Brazilian Legal Amazon? **Journal for Nature Conservation**, 65, 126092. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2021.126092>
- Baca, M. F. D., Moreno Lerma, L., Triana Ángel, N., & Burkart, S. (2024). The relationships between land tenure, cattle production, and climate change: A systematic literature review. **Land Use Policy**, 141, 107169. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2024.107169>
- Balanço Energético Nacional – BEN. (2024). **Relatório síntese do Balanço Energético Nacional 2024: Ano base 2023**. <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2024>
- Bastos Lima, M. G. (2021). Corporate Power in the Bioeconomy Transition: The Policies and Politics of Conservative Ecological Modernization in Brazil. **Sustainability**, 13(12), 6952. <https://doi.org/10.3390/su13126952>
- Benso, M. R., Silva, R. F., Gesualdo, G. C., Saraiva, A. M., Delbem, A. C. B., Marques, P. A. A., Marengo, J. A., & Mendiondo, E. M. (2025). A data-driven framework for assessing climatic impact drivers in the context of food security. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, 25, 1387–1404. <https://doi.org/10.5194/nhess-25-1387-2025>

Benso, M. R., Silva, R. F., Gesualdo, G. C., Saraiva, A. M., Delbem, A. C. B., Marques, P. A. A., Marengo, J. A., & Mendiondo, E. M. (2025). A data-driven framework for assessing climatic impact drivers in the context of food security. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, 25, 1387–1404. <https://doi.org/10.5194/nhess-25-1387-2025>

Berg, T., Nieto, E. A., Moura, S., Souza, M., Lucio, Z. M., & Meisner, J. (2025). Socio-ecological conflict in Quilombola territory: land titling and ecosystem health. **Sustainability Science**, 1-16. <https://doi.org/10.1007/s11625-025-01632-8>

Bianchini, F., & Bianchini, P. C. (2007). Os agentes agrofloreais indígenas do Acre. **Agriculturas: experiências em agroecologia**, 4(2), 18–19. https://aspta.org.br/files/2019/10/Agriculturas_Julho-2007-Artigo-4.pdf

Bieluczyk, W., Cherubin, M. R., Cerri, C. E. P., Siqueira-Neto, M., Abdalla Filho, A. L., Castro, J. I. A., Locatelli, J.L., Tsai, S.M., & de Camargo, P. B. (2024). Greenhouse gas fluxes in Brazilian climate-smart agricultural and livestock systems: a systematic and critical overview. **Journal of Cleaner Production**, 142782. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.142782>

Boakes, E. H., Dalin, C., Etard, A., & Newbold, T. (2024). Impacts of the global food system on terrestrial biodiversity from land use and climate change. **Nature Communications**, 15(1), 5750. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-49999-z>

Bolfe, É. L., Victoria, D. D. C., Sano, E. E., Bayma, G., Massruhá, S. M. F. S., & de Oliveira, A. F. (2024). Potential for agricultural expansion in degraded pasture lands in Brazil based on geospatial databases. **Land**, 13(2), 200. <https://doi.org/10.3390/land13020200>

Bolfe, É. L., Jorge, L. A. D. C., Sanches, I. D. A., Luchiari Júnior, A., da Costa, C. C., Victoria, D. D. C., Inamasu, R.Y., Grego, C., Ferreira, V.R., & Ramirez, A. R. (2020). Precision and digital agriculture: Adoption of technologies and perception of Brazilian farmers. **Agriculture**, 10(12), 653. <https://doi.org/10.3390/agriculture10120653>

Brandão, J., Cardoso, F. C., & Garrett, R. (2025). Why has the Brazilian Cerrado been left behind by voluntary environmental policies? **Global Environmental Change**, 92, 103005. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2025.103005>

Brasil. (2000). **Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000**. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9985.htm

Brasil. (2005). **Lei nº 11.105, de 24 de março de 2005**. Dispõe sobre a Política Nacional de Biossegurança, cria o Conselho Nacional de Biossegurança – CNBS, reestrutura a Comissão Técnica Nacional de Biossegurança – CTNBio, dispõe sobre a segurança e mecanismos de fiscalização de atividades que envolvam organismos geneticamente modificados – OGMs e seus derivados, e dá outras providências. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2005/lei/l11105.htm

Brasil. (2009). **Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009**. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC e dá outras providências. Atualizada pela Lei nº 14.539, de 2023. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/l12187.htm

Brasil. (2012). **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Diário Oficial da União. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm

Brasil. (2015). **Lei nº 13.123, de 20 de maio de 2015**. Dispõe sobre o acesso ao patrimônio genético, a proteção e o acesso ao conhecimento tradicional associado e a repartição de benefícios para conservação e uso sustentável da biodiversidade. Diário Oficial da União. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/lei/l13123.htm

Brasil. (2017). **Lei nº 13.576, de 26 de dezembro de 2017**. Institui a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio). Diário Oficial da União. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/lei/l13576.htm

Brasil. (2021). **Lei nº 14.119, de 13 de janeiro de 2021**. Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais – PNPSA. Diário Oficial da União. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2021/lei/L14119.htm

Brasil. (2022). **Brazilian government launches National Fertilizer Plan to reduce input imports**. Governo do Brasil. <https://www.gov.br/en/government-of-brazil/latest-news/2022/brazilian-government-launches-national-fertilizer-plan>

Brasil (2023a). Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima – MMA. **Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm) – 5ª Fase (2023 a 2027)**. https://www.gov.br/mma/pt-br/ppcdam_2023_sumario-rev.pdf

Brasil (2023b). Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima – MMA. **Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas no Bioma Cerrado (PPCerrado) – 4ª Fase (2023 a 2027)**. <https://www.gov.br/participamaisbrasil/consultapublica-ppcerrado>

Brasil. (2023c). **Lei nº 14.785, de 27 de dezembro de 2023**. Dispõe sobre a regulamentação de agrotóxicos e afins, substituindo a Lei nº 7.802, de 1989. Diário Oficial da União. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2023/lei/L14785.htm

Brasil. (2024a). **Decreto nº 12.044, de 5 de junho de 2024**. Institui a Estratégia Nacional de Bioeconomia. <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/2024/decreto-12044-5-junho-2024-795723-publicacaooriginal-171976-pe.html>

Brasil. (2024b). **Lei nº 15.070, de 23 de dezembro de 2024**. Institui o Marco Regulatório dos Bioinsumos. Presidência da República. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2024/lei/l15070.htm

Brasil. (2024c). **Decreto nº 12.063, de 22 de abril de 2024**. Institui o Programa Selo Verde. Presidência da República. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2024/decreto/D12063.htm

Brasil. (2024d). **Lei nº 15.042, de 9 de julho de 2024**. Institui o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa – SBCE. Presidência da República. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2024/lei/l15042.htm

Buainain, A. M., Alves, E., da Silveira, J. M., & Navarro, Z. (2013). Sete teses sobre o mundo rural brasileiro. **Revista de Política Agrícola**, 22(2), 106–121.

Buainain, A. M., Santana, C. A. M., Silva, F. P., Garcia, J. R., & Loyola, P. (2014). O tripé da política agrícola brasileira: crédito rural, seguro e Pronaf. In A. M. Buainain, E. Alves, J. M. da Silveira, & Z. Navarro (Eds.), **O mundo rural no Brasil do século 21: a formação de um novo padrão agrário e agrícola** (pp. 827–864). Embrapa. Brasília, DF.

Bueno, C., Ávila, A. S. P., Durán, J. M., Perez, L., Rodríguez-Pérez, C., De León, G., Medina-Elizalde, M., del Puerto, L., Inda, H., Figueira, R. C. L., Ferreira, P. A. L., Etchevers, I., Cuña-Rodríguez, C., Velázquez, P., González, L., Fernandes, E. H. L., Pinho, G. L. L., & García-Rodríguez, F. (2025). Links between international market trends, agricultural intensification and extreme sedimentation rates in a transboundary South American coastal lagoon. **Science of The Total Environment**, 975, 179281. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.179281>

Bullard, R. D. (1990). **Dumping in Dixie: Race, class, and environmental quality**. Westview Press.

Câmara, A. A. F., & Mendes, J. F. (2023). A política permissiva brasileira aos agrotóxicos e suas repercussões para a sadia qualidade de vida: uma análise sobre o uso de agrovenenos. **Revista Brasileira de Políticas Públicas**, 13(2), 299–317. <https://doi.org/10.5102/rbpp.v13i2.8487>

Campos, M. A., Ribeiro, P. H. C., & da Cruz, G. M. (2024, julho 23). **Efeito Poupas-Terra: produtividade é a chave para a sustentabilidade ambiental do agro brasileiro?** <https://agro.insper.edu.br/agro-in-data/artigos/efeito-poupa-terra-productividade-e-a-chave-para-a-sustentabilidade-ambiental-do-agro-brasileiro>

Candiotto, L. Z. P., & Corrêa, W. K. (2004). Desenvolvimento rural sustentável: algumas considerações sobre o discurso oficial do governo federal. **Geografia**, 29(2), 265–280.

Carreira, I., Costa, F., & Pessoa, J. P. (2024). The deforestation effects of trade and agricultural productivity in Brazil. **Journal of Development Economics**, 167, 103217. <https://doi.org/10.1016/j.jdeveco.2023.103217>

Castro, A. C. (1984). Ciência e tecnologia para a agricultura: Uma análise dos planos de desenvolvimento. **Caderno Difusão de Tecnologia**, 1(3), 309–344.

Ceddia, M. G. (2019). The impact of income, land, and wealth inequality on agricultural expansion in Latin America. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, 116(7), 2527–2532. <https://doi.org/10.1073/pnas.1814894116>

Christo, B. F., Okawati, G. A. A., de Vasconcellos, D. M., Rosas, J. T. F., de Araujo, M. A., Dourado-Neto, D., & Nóia-Júnior, R. de S. (2025). Agricultural sustainability index in Brazil. **Environmental Challenges**, 19, 101133. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2025.101133>

Commar, L. F. S., Abrahão, G. M., & Costa, M. H. (2023). A possible deforestation-induced synoptic-scale circulation that delays the rainy season onset in Amazonia. **Environmental Research Letters**, 18(4), 044041. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/acc95f>

Companhia Nacional de Abastecimento – Conab. (2025). **Séries históricas: Safra de grãos**. Portal de Informações Agropecuárias. <https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/safra-serie-historica-graos.html>

Congreves, K. A. (2025). Agricultural environmental ethics: an emerging way to understand and solve sustainability challenges. **npj Sustainable Agriculture**, 3(1), 1–3. <https://doi.org/10.1038/s44264-025-00071-3>

Costa, F. de A., Assad, E. D., Bebbington, D. H., Brondizio, E. S., Fearnside, P. M., Garrett, R., Hecht, S., Heilpern, S., McGrath, D., Oliveira, G., Pereira, H. dos S., & Schmink, M. (2024). Complex, diverse and changing agribusiness and livelihood systems in the Amazon. **Acta Amazonica**, 54(spe1), e20220096. <https://doi.org/10.1590/1809-4392202200960>

Côte, F. X., Rapidel, B., Sourisseau, J. M., Affholder, F., Andrieu, N., Bessou, C., Caron, P., Deguine, J.P., Faure, G., Hainzelin, E., Malezieux, E., Poirier-Magona, E., Roudier, P., Scopel, E., Tixier, P., Toillier, A., & Perret, S. (2022). Levers for the agroecological transition of tropical agriculture. **Agronomy for Sustainable Development**, 42(4), 67. <https://doi.org/10.1007/s13593-022-00799-z>

Cuni-Sanchez, A., Aneseyee, A. B., Baderha, G. K. R., Batumike, R., Bitariho, R., Imani, G., Kalema, V. N., Kiruki, H. M., Kouame, D., Moustapha, M. K., Muhati, G. L., Munishi, P. K. T., Ngugi, M. R., Rija, A. A., Tejeda, A. C., Toirambe, B., Tuyisingize, D., & Zafra-Calvo, N. (2025). Perceived climate change impacts and adaptation responses in ten African mountain regions. **Nature Climate Change**, 15(2), 153–161. <https://doi.org/10.1038/s41558-024-02221-w>

Da Costa, M. V., Debone, D., & Miraglia, S. G. E. K. (2025). Brazilian beef production and GHG emission – Social cost of carbon and perspectives for climate change mitigation. **Environmental Science and Pollution Research**, 32, 5245–5258. <https://doi.org/10.1007/s11356-025-36022-1>

De Groot, G. S., Aizen, M. A., Sáez, A., & Morales, C. L. (2021). Large-scale monoculture reduces honey yield: The case of soybean expansion in Argentina. **Agriculture, ecosystems & environment**, 306, 107203. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.107203>

Dick, M., da Silva, M. A., da Silva, R. R. F., Ferreira, O. G. L., Maia, M. S., de Lima, S. F., Paiva Neto, V. B., & Dewes, H. (2022). Climate change and land use from Brazilian cow-calf production amidst diverse levels of biodiversity conservation. **Journal of Cleaner Production**, 342(15), 130941.

Dick, M., Silva, M. A., Silva, R. R. F., Ferreira, O. G. L., Maia, M. S., Lima, S. F., Paiva Neto, V. B., & Dewes, H. (2021). Environmental impacts of Brazilian beef cattle production in the Amazon, Cerrado, Pampa, and Pantanal biomes. **Journal of Cleaner Production**, 311, 127750. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130941>

Donley, N., Bullard, R. D., Economos, J., Figueroa, I., Lee, J., Liebman, A. K., Navarro Martinez, D., & Shafiei, F. (2022). Pesticides and environmental injustice in the USA: Root causes, current regulatory reinforcement and a path forward. **BMC Public Health**, 22, 708. <https://doi.org/10.1186/s12889-022-13057-4>

dos Santos, E. A., Piedra-Bonilla, E. B., Barroso, G. M., Silva, J. V., Hejazirad, S. P., & dos Santos, J. B. (2024). Agricultural resilience: Impact of extreme weather events on the adoption of rural insurance in Brazil. **Global Environmental Change**, 89, 102938. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2024.102938>

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa. (2018). **Visão 2030: o futuro da agricultura brasileira**. Brasília, DF: Embrapa.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa. (2023). **Bioinsumos: tendência de crescimento no Brasil**. <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/85620702/bioinsumos-tendencia-de-crescimento-no-brasil>

Epps, A., Dressel, I. M., Guo, X., Odanibe, M., Fields, K. P., Carlton, A. M. G., Sun, K., & Pusede, S. E. (2025). Satellite Observations of Atmospheric Ammonia Inequalities Associated with Industrialized Swine Facilities in Eastern North Carolina. **Environmental Science & Technology**. <https://doi.org/10.1021/acs.est.4c11922>

European Environment Agency. (1999). **Environmental indicators: Typology and overview** (Technical report No. 25). EEA. <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/tec25>

Fa, J. E., Watson, J. E. M., Leiper, I., Potapov, P., Evans, T. D., Burgess, N. D., Molnár, Z., Fernández-Llamazares, Á., Duncan, T., Wang, S., Austin, B. J., Jonas, H., Robinson, C. J., Malmer, P., Zander, K. K., Jackson, M. V., Ellis, E., Brondizio, E. S., & Garnett, S. T. (2020). Importance of Indigenous Peoples' lands for the conservation of Intact Forest Landscapes. **Frontiers in Ecology and the Environment**, 18(3), 135–140. <https://doi.org/10.1002/fee.2148>

Farley, J., Aquino, A., Daniels, A., Moulaert, A., Lee, D., & Krause, A. (2010). Global mechanisms for sustaining and enhancing PES schemes. **Ecological economics**, 69(11), 2075–2084. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2010.02.016>

Fernández-Llamazares, Á., Lepofsky, D., Lertzman, K., Armstrong, C. G., Brondizio, E. S., Gavin, M. C., Lyver, P. O. B., Nicholas, G. P., Pascua, P., Reo, N. J., Reyes-García, V., Turner, N. J., Yletyinen, J., Anderson, E. N., Balée, W., Cariño, J., David-Chavez, D. M., Dunn, C. P., Garnett, S. C., Greening La'goot, S., Jackson, S. N., Kuhnlein, H., Molnár, Z., Odonne, G., Retter, G. B., Ripple, W. J., Sáfián, L., Sharifian Bahraman, A., Torrents-Ticó, M., & Vaughan, M. B. (2023). Scientists' warning to humanity on threats to Indigenous and local knowledge systems. *Journal of Ethnobiology*, 41(2), 144–169. <https://doi.org/10.2993/0278-0771-41.2.144>

Ferreira-Suarez, D., García-Depraect, O., & Castro-Muñoz, R. (2024). A review on fungal-based biopesticides and biofertilizers production. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 283, 116945. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2024.116945>

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2021). **The state of the world's land and water resources for food and agriculture – Systems at breaking point (SOLAW 2021)**. FAO.

Franco-Solís, A., & Montaña, C. V. (2021). Dynamics of deforestation worldwide: A structural decomposition analysis of agricultural land use in South America. *Land Use Policy*, 109, 105619. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105619>

Fundação Heinrich Böll. (2024). **Atlas dos agrotóxicos: Fatos e dados do uso dessas substâncias na agricultura 2024** (2ª ed.). <https://br.boell.org/sites/default/files/2024-05/240416-atlas-do-agrotoxico-2024-segunda-edicao.pdf>. Acesso em 21 de maio de 2025.

Gamage, A., Gangahagedara, R., Gamage, J., Jayasinghe, N., Kodikara, N., Suraweera, P., & Merah, O. (2023). Role of organic farming for achieving sustainability in agriculture. *Farming System*, 1(1), 100005. <https://doi.org/10.1016/j.farsys.2023.100005>

Giam, X. (2017). Global biodiversity loss from tropical deforestation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(23), 5775–5777. <https://doi.org/10.1073/pnas.1706264114>

Gibbs, H. K., Rausch, L., Munger, J., Schelly, I., Morton, D. C., Noojipady, P., Soares-Filho, B., Barreto, P., Micol, L., & Walker, N. F. (2015). Brazil's Soy Moratorium. *Science*, 347(6220), 377–378. <https://doi.org/10.1126/science.aaa0181>

Goris, M., Bakker, E., van den Berg, L., Siegmund-Schultze, M., O'Keeffe, S., Ravesloot, M., Bufe, C., & Hassink, J. (2024). Collective land arrangements that decommodify land for agroecological transformations. *Elementa: Science of the Anthropocene*, 12(1). <https://doi.org/10.1525/elementa.2023.00061>

Gianetti, G. W., & de Souza Ferreira Filho, J. B. (2024). Pasture recovery, emissions, and the Brazilian Paris agreement commitments. *Land Use Policy*, 141, 107118. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2024.107118>

Grisa, C., & Chechi, L. (2016). Narrativas sobre sustentabilidade, produção orgânica e agroecologia nas políticas públicas de desenvolvimento rural no Brasil. *Retratos de Assentamentos*, 19(2), 125–166.

Haddad, E. A., Araújo, I. F., Feltran-Barbieri, R., Perobelli, F. S., Rocha, A., Sass, K. S., & Nobre, C. A. (2024). Economic drivers of deforestation in the Brazilian Legal Amazon. *Nature Sustainability*, 9, 1141–1148. <https://doi.org/10.1038/s41893-024-01387-7>

Hess, S. C., Bombardi, L. M., Nodari, R. O., Soares, M. R., Meirelles, L. C., Mua, C. T. B., & Augusto, L. G. da S. (2024). Agrotóxicos no Brasil: cenários de políticas sinistras. *Revista Da ANPEGE*, 20(42). <https://doi.org/10.5418/ra2024.v20i42.18069>

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). (2019a). **Censo agropecuário 2017: Resultados definitivos**. IBGE. <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuário/censo-agropecuário-2017/resultados-definitivos>

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). (2019b). Estrutura fundiária. In IBGE, **Atlas do espaço rural brasileiro** (2ª ed.). IBGE. https://www.ibge.gov.br/apps/atlasrural/pdfs/02_00_Texto.pdf

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGEa). (2024). **PAM – Pesquisa Agrícola Municipal**. <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5457>

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGEb). (2024). **PPM – Pesquisa da Pecuária Municipal**. <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9107-producao-da-pecuaria-municipal.html>

Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio). (2025). **Populações tradicionais**. <https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/populacoes-tradicionais>

Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). (2024). **Ipea avalia desempenho do Brasil no cumprimento de metas dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. <https://www.ipea.gov.br/portal/categorias/45-todas-as-noticias/noticias/15217-ipea-avalia-desempenho-do-brasil-no-cumprimento-de-metas-dos-objetivos-de-desenvolvimento-sustentavel>

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). (2024). **PRODES – Monitoramento do desmatamento da Floresta Amazônica Brasileira por satélite**. INPE. <http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodes>

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2022). **Climate change 2022: Mitigation of climate change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge University Press.

Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC (2023). Summary for policymakers. In **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 & J. Romero, Eds.)**, 1–34. IPCC. <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001>

Kaur, S., Bedi, M., Singh, S., Kour, N., Bhatti, S. S., Bhatia, A., Kumar, M., & Kumar, R. (2024). Monoculture of crops: A challenge in attaining food security. <https://doi.org/10.1016/bs.af2s.2024.07.008>

Kennedy, C. M., Miteva, D. A., Baumgarten, L., Hawthorne, P. L., Sochi, K., Polasky, S., Oakleaf, J.R., Uhlhorn, E.M., & Kiesecker, J. (2016). Bigger is better: Improved nature conservation and economic returns from landscape-level mitigation. **Science Advances**, 2(7), e1501021. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1501021>

Knoble, C., & Yu, D. (2023). Environmental justice: An evolving concept in a dynamic era. **Sustainable Development**, 31(4), 2036–2045. <https://doi.org/10.1002/sd.2519>

Lapola, D. M., Pinho, P., Quesada, C. A., Strassburg, B. B. N., Rammig, A., Kruijt, B., Brown, F., Ometto, J. P. H. B., Prevedida, A., Marengo, J. A., Vergara, W., & Nobre, C. A. (2018). Limiting the high impacts of Amazon forest dieback with no-regrets science and policy action. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, 115(46), 11671–11679. <https://doi.org/10.1073/pnas.1721770115>

Lapola, D. M., Brando, P. M., Davidson, E. A., Malhi, Y., da Costa, M. H., Gatti, L. V., ... & Nobre, C. A. (2023). The drivers and impacts of Amazon forest degradation. **Science**, 379, eabp8622. <https://doi.org/10.1126/science.abp8622>

Leite-Filho, A. T., Soares-Filho, B. S., Davis, J. L., et al. (2021). Deforestation reduces rainfall and agricultural revenues in the Brazilian Amazon. **Nature Communications**, 12, 2591. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-22840-7>

Leite-Filho, A. T., Soares-Filho, B. S., & de Oliveira, U. (2024). Climate risks to soy-maize double-cropping due to Amazon deforestation. **International Journal of Climatology**, 44, 1245–1261. <https://doi.org/10.1002/joc.8381>

Leite-Filho, A. T., Soares-Filho, B. S., Oliveira, U., et al. (2025). Intensification of climate change impacts on agriculture in the Cerrado due to deforestation. **Nature Sustainability**, 8, 34–43. <https://doi.org/10.1038/s41893-024-01475-8>

Leite, S. P., & Wesz Junior, V. (2015). Estado, políticas públicas e agronegócio no Brasil: revisitando o papel do crédito rural. **Revista Pós Ciências Sociais**, 11(22), 83-108.

Leite, Y. L., Duque, T. S., Santos, J. B. D., & Santos, E. A. D. (2025). Potential Residual Pesticide Consumption: A Stratified Analysis of Brazilian Families. **Journal of Xenobiotics**, 15(2), 37. <https://doi.org/10.3390/jox15020037>

Levidow, L., Sansolo, D., & Schiavinatto, M. (2022). EcoSol-agroecology networks respond to the Covid-19 crisis: building an economy of proximity in Brazil's Baixada Santista region. *The Journal of Peasant Studies*, 49(7), 1409-1445. <https://doi.org/10.1080/03066150.2022.2096447>

Levy, S. A., Cammelli, F., Munger, J., Gibbs, H. K., & Garrett, R. D. (2023). Deforestation in the Brazilian Amazon could be halved by scaling up the implementation of zero-deforestation cattle commitments. *Global Environmental Change*, 80, 102671. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2023.102671>

Li, C., Camac, J., Robinson, A., & Kompas, T. (2025). Predicting changes in agricultural yields under climate change scenarios and their implications for global food security. *Scientific Reports*, 15, 2858. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-87047-y>

Lopes, D., Lowery, S., & Peroba, T. L. C. (2016). Crédito rural no Brasil: desafios e oportunidades para a promoção da agropecuária sustentável. *Revista do BNDES*, 45, 155-196.

Lucas, K. R. G., Caldarelli, C. E., & Ventura, M. U. (2023). Agriculture and biodiversity damage: A prospective evaluation of the impact of Brazilian agriculture on its ecoregions through life cycle assessment methodology. *Science of The Total Environment*, 899, 165762. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165762>

Maluf, R. S., Burlandy, L., Cintrão, R. P., Jomalinis, E., Carvalho, T. C., & Tribaldos, T. (2022). Sustainability, justice and equity in food systems: Ideas and proposals in dispute in Brazil. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 45, 183-199. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2022.10.005>

Mamedes, I., Guerra, A., Rodrigues, D. B., Garcia, L. C., de Faria Godoi, R., & Oliveira, P. T. S. (2023). Brazilian payment for environmental services programs emphasizes water-related services. **International Soil and Water Conservation Research**, 11(2), 276-289. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2023.01.001>

MAPA – Ministério da Agricultura e Pecuária. (2022). **Programa Nacional de Bioinsumos**. MAPA. <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inovacao/bioinsumos/national-bioinputs-program>

MAPA – Ministério da Agricultura e Pecuária. (2023). **Projeções do agronegócio: Brasil 2022/23 a 2032/33 – Projeções de longo prazo**. Secretaria de Política Agrícola. MAPA. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/producao-de-graos-brasileira-devera-chegar-a-390-milhoes-de-toneladas-nos-proximos-dez-anos/ProjeesdoAgronegocio20232033.pdf>. Acesso em 21 de maio de 2025.

Maranhão, R. L. A., Guimarães, R. F., Hermuche, P. M., Gomes, R. A. T., Peripolli, V., Tanure, C. B., Carvalho, O. L. F. de, Carvalho Jr., O. A. de, & McManus, C. (2025). Growth and acceleration analysis of the soybean, sugar cane, maize and cattle production in Brazil. **Environment, Development and Sustainability**, 27(11697–11742). <https://doi.org/10.1007/s10668-023-04377-5>

- Mello, N. G. R., Gulinck, H., Van den Broeck, P., et al. (2025). Social innovation and social-ecological development in the Cerrado: The case of agroforestry systems in the Federal District, Brazil. **Agroforestry Systems**, 99, 69. <https://doi.org/10.1007/s10457-025-01152-5>
- Mendes, F. B., Volpi, M. P. C., da Silva Clementino, W., Albarracin, L. T., & de Souza Moraes, B. (2023). An overview of the integrated biogas production through agro-industrial and livestock residues in the Brazilian São Paulo state. **Wiley interdisciplinary reviews: energy and environment**, 12(6), e494. <https://doi.org/10.1002/wene.494>
- Miranda, J., Britz, W., & Börner, J. (2024). Impacts of commodity prices and governance on the expansion of tropical agricultural frontiers. **Scientific Reports**, 14, 9209. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-59446-0>
- MMA - Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. (2024). **Povos e comunidades tradicionais**. <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/povos-e-comunidades-tradicionais>
- Mota, P. K., da Costa, A. M., Prado, R. B., Fernandes, L. F. S., Pissarra, T. C. T., & Pacheco, F. A. L. (2023). Payment for Environmental Services: A critical review of schemes, concepts, and practice in Brazil. **Science of the Total Environment**, 899, 165639. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165639>
- Mouratiadou, I., Wezel, A., Kamilia, K., Marchetti, A., Paracchini, M. L., & Bàrberi, P. (2024). The socio-economic performance of agroecology. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, 44(2), 19. <https://doi.org/10.1007/s13593-024-00945-9>
- Muradian, R., Corbera, E., Pascual, U., Kosoy, N., & May, P. H. (2010). Reconciling theory and practice: An alternative conceptual framework for understanding payments for environmental services. **Ecological economics**, 69(6), 1202-1208. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.11.006>
- Nazareth, M. S., Gurgel, A. C., & Da Cunha, D. A. (2022). Economic effects of projected decrease in Brazilian agricultural productivity under climate change. **GeoJournal**, 87, 957–970. <https://doi.org/10.1007/s10708-020-10286-1>
- Nepstad, D. C., Stickler, C. M., Filho, B. S., & Merry, F. (2008). Interactions among Amazon land use, forests and climate: prospects for a near-term forest tipping point. **Philosophical transactions of the royal society B: biological sciences**, 363(1498), 1737-1746. <https://doi.org/10.1098/rstb.2007.0036>
- Nunes, F. S. M., Soares-Filho, B. S., Oliveira, A. R., Veloso, L. V. S., Schmitt, J., Van der Hoff, R., Assis, D. C., Costa, R. P., Börner, J., Ribeiro, S. M. C., Rajão, R. G. L., de Oliveira, U., & Costa, M. A. (2024). Lessons from the historical dynamics of environmental law enforcement in the Brazilian Amazon. **Scientific Reports**, 14(1), 1828. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-52180-7>
- O'Bryan, C. J., Garnett, S. T., Fa, J. E., Leiper, I., Rehbein, J. A., Fernández-Llamazares, Á., Jackson, M.V., Jonas, H.D., Brondizio, E.S., Burgess, N.D., Robinson, C.J., Zander, K.K., Molnár, Z., Venter, O., & Watson, J. E. (2020). The importance of Indigenous Peoples' lands for the conservation of terrestrial mammals. **Conservation Biology**, 35(3), 1002-1008. <https://doi.org/10.1111/cobi.13620>
- Osborne, T., Cifuentes, S., Dev, L., Howard, S., Marchi, E., Withey, L., & Santos Rocha da Silva, M. (2024). Climate justice, forests, and Indigenous Peoples: toward an alternative to REDD+ for the Amazon. **Climatic Change**, 177(8), 128. <https://doi.org/10.1007/s10584-024-03774-7>
- Oteros-Rozas, E., Ruiz-Almeida, A., Aguado, M., González, J. A., & Rivera-Ferre, M. G. (2019). A social-ecological analysis of the global agrifood system. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, 116(52), 26465-26473. <https://doi.org/10.1073/pnas.1912710116>
- Oviedo, A. F. P., & Doblás, J. (2022). **As florestas precisam das pessoas**. Instituto Socioambiental. <https://acervo.socioambiental.org/sites/default/files/documents/m9d00064.pdf>

Piedra-Bonilla, E. B., Da Cunha, D. A., Braga, M. J., et al. (2025). Extreme weather events and crop diversification: Climate change adaptation in Brazil. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, 30, 28. <https://doi.org/10.1007/s11027-025-10211-2>

Pendrill, F., Persson, U. M., Godar, J., & Kastner, T. (2019). Deforestation displaced: trade in forest-risk commodities and the prospects for a global forest transition. **Environmental Research Letters**, 14(5), 055003. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab0d41>

Pinto, L. F. G., et al. (2020). Quem são os poucos donos das terras agrícolas no Brasil – O mapa da desigualdade. **Sustentabilidade em Debate**, (10), 1–20. https://admin.imaflora.org/public/media/biblioteca/1588006460-sustentabilidade_terras_agricolas.pdf

Pires, G. F. (2023). The forest is not yet lost. **Nature Climate Change**, 13, 606–607. <https://doi.org/10.1038/s41558-023-01707-3>

Pizella, D. G., & de Souza, M. P. (2012). Brazilian GMO regulation: Does it have an environmental approach? **Journal of Environmental Assessment Policy and Management**, 14(2), 1250013. <https://doi.org/10.1142/S1464333212500135>

Portugal-Pereira, J., Soria, R., Rathmann, R., Schaeffer, R., & Szklo, A. (2015). Agricultural and agro-industrial residues-to-energy: Techno-economic and environmental assessment in Brazil. **Biomass and bioenergy**, 81, 521-533. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2015.08.010>

Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD). (2022). **Environmental justice: Securing our right to a clean, healthy and sustainable environment**. UNDP. <https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/2022-06/Environmental-Justice-Technical-Report.pdf>

Projeto MapBiomias. (2023). **Mapeamento anual de cobertura e uso da terra no Brasil entre 1985 a 2022 – Coleção 8** [Relatório técnico]. MapBiomias. https://brasil.mapbiomas.org/wp-content/uploads/sites/4/2023/08/FACT_MapBiomias_Mapeamento-Anual-Cobertura_Colecao8_31.pdf

Rabeschini, G., Persson, U. M., West, C., & Kastner, T. (2025). Choosing fit-for-purpose biodiversity impact indicators for agriculture in the Brazilian Cerrado ecoregion. **Nature Communications**, 16, 1799. <https://doi.org/10.1038/s41467-025-57037-9>

Rajão, R., Nobre, A. D., Cunha, E. L. T. P., Duarte, T. R., Marcolino, C., Soares-Filho, B., Sparovek, G., Rodrigues, R. R., Valera, C., Bustamante, M., Nobre, C., & Lima, L. S. de. (2022). The risk of fake controversies for Brazilian environmental policies. **Biological Conservation**, 266, 109447. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2021.109447>

Refati, D. C., Bezerra da Silva, J. L., Santana Macedo, R., Correia Lima, R. da C., da Silva, M. V., Pandorfi, H., Costa Silva, P., & de Oliveira-Júnior, J. F. (2023). Influence of drought and anthropogenic pressures on land use and land cover change in the Brazilian semiarid region. **Journal of South American Earth Sciences**, 126, 104362. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2023.104362>

Raimi, A., Roopnarain, A., & Adeleke, R. (2021). Biofertilizer production in Africa: Current status, factors impeding adoption and strategies for success. **Scientific African**, 11, e00694. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2021.e00694>

Reis, J. C., Rodrigues, G. S., de Barros, I., et al. (2023). Fuzzy logic indicators for the assessment of farming sustainability strategies in a tropical agricultural frontier. **Agronomy for Sustainable Development**, 43, 8. <https://doi.org/10.1007/s13593-022-00858-5>

Reyes-García, V., Fernández-Llamazares, Á., Aumeeruddy-Thomas, Y., Benyei, P., Bussmann, R. W., Diamond, S. K., García-del-Amo, D., Guadilla-Sáez, S., Hanazaki, N., Kosoy, N., Lavides, M., Luz, A. C., McElwee, P., Meretsky, V. J., Newberry, T., Molnár, Z., Ruiz-Mallén, I., Salpeteur, M., Wyndham, F. S., Zorondo-Rodríguez, F., & Brondizio, E. S. (2022). Recognizing Indigenous peoples' and local communities' rights and agency in the post-2020 Biodiversity Agenda. *Ambio*, 51(1), 84-92. <https://doi.org/10.1007/s13280-021-01561-7>

Ribeiro, J. M. P., Maculan, G., de Ávila, B. O., et al. (2025). Deforestation by production displacement: Expansion of cropland and cattle ranching on Amazon Forest. *Environmental Development and Sustainability*. <https://doi.org/10.1007/s10668-024-05917-3>

Ruggieri, A. C., Cardoso, A. d. S., Ongaratto, F., Casagrande, D. R., Barbero, R. P., Brito, L. d. F., Azenha, M. V., Oliveira, A. A., Koscheck, J. F. W., & Reis, R. A. (2020). Grazing intensity impacts on herbage mass, sward structure, greenhouse gas emissions, and animal performance: Analysis of Brachiaria pastureland. *Agronomy*, 10(11), 1750. <https://doi.org/10.3390/agronomy10111750>

Sá, Á. R. D. S., & Gomes, L. D. S. (2025). Convergence and Determinants of Carbon Emissions in Brazilian Agriculture. *Revista Portuguesa de Estudos Regionais*, (70), 73–92. <https://doi.org/10.59072/rper.vi70.682>

Safanelli, J. L., Nóia Júnior, R. de S., Coutinho, P. A. Q., de Araujo, M. A., Fendrich, A. N., Rizzo, R., Chamma, A. L. S., Tavares, P. A., Barretto, A. G. O. P., Maule, R. F., Reichardt, K., Sparovek, G., & Dourado Neto, D. (2023). Grain-cropping suitability for evaluating the agricultural land use change in Brazil. *Applied Geography*, 154, 102937. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2023.102937>

Salick, J., & Ross, N. (2018). Traditional peoples and climate change. In *Planning for Climate Change* (pp. 160-166). Routledge.

Santana, C. A. M., Buainain, A. M., Silva, F. P., Garcia, J. R., & Loyola, P. (2014). Política agrícola: avanços e retrocessos ao longo de uma trajetória positiva. In A. M. Buainain, E. Alves, J. M. da Silveira, & Z. Navarro (Eds.), *O mundo rural no Brasil do século 21: a formação de um novo padrão agrário e agrícola* (pp. 795–826). Embrapa. Brasília, DF.

Santos, C. V., Oliveira, A. F., & Ferreira Filho, J. B. S. (2022). Potential impacts of climate change on agriculture and the economy in different regions of Brazil. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 60(1), e220611. <http://dx.doi.org/10.1590/1806-9479.2021.220611>

Santos, E. A. D., Fortini, R. M., Sette, A. B. P., & Braga, M. J. (2022). Povos tradicionais brasileiros: um olhar para as comunidades quilombolas do estado do Piauí.

Santos, E. A. D., Cunha, D. A. D., & Travassos, G. F. (2023). Nitrogen demand and agro-environmental efficiency in Brazilian cereal production. *Brazilian Journal of Biology*, 83, e268927. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.268927>

Santos, J. P. de O., Abreu, K. G., Araújo, J. R. E. S., Sousa, V. F. de O., Macêdo, M. L. A. de, & Torres, E. da N. (2023). Pressões antrópicas em Floresta Tropical Sazonalmente Seca em área suscetível a desertificação no Nordeste do Brasil. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, 16(3), 1–14. <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2023v16n3e10535>

Santos, T. C. C., & Câmara, J. B. D. (Orgs.). (2002). *GEO Brasil 2002: Perspectivas do meio ambiente no Brasil*. Edições IBAMA.

Scheidel, A., Fernández-Llamazares, Á., Bara, A. H., Del Bene, D., David-Chavez, D. M., Fanari, E., Garba, I., Hanaček, K., Liu, J., Martínez-Alier, J., Navas, G., Reyes-García, V., Roy, B., Temper, L., Thiri, M. A., Tran, D., Walter, M., & Whyte, K. P. (2023). Global impacts of extractive and industrial development projects on Indigenous Peoples' lifeways, lands, and rights. *Science Advances*, 9(23), eade9557. <https://doi.org/10.1126/sciadv.ade9557>

Schlosberg, D., & Collins, L. B. (2014). From environmental to climate justice: Climate change and the discourse of environmental justice. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 5(3), 359–374. <https://doi.org/10.1002/wcc.275>

SEEG – Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa. (2024). **Análise das emissões de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas climáticas do Brasil.** <https://seeg.eco.br/wp-content/uploads/2024/11/SEEG-RELATORIO-ANALITICO-12.pdf>

Shekhar, C., Khosya, R., Thakur, K., Mahajan, D., Kumar, R., Kumar, S., & Sharma, A. K. (2024). A systematic review of pesticide exposure, associated risks, and long-term human health impacts. *Toxicology Reports*, 101840. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2024.101840>

Sinthumule, N. I. (2023). Traditional ecological knowledge and its role in biodiversity conservation: a systematic review. *Frontiers in Environmental Science*, 11, 1164900. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1164900>

Sims, K. R. (2023). Towards equity in land protection. *Agricultural and Resource Economics Review*, 52(2), 201-230. <https://doi.org/10.1017/age.2023.18>

Soares-Filho, B., Rajão, R., Macedo, M., Carneiro, A., Costa, W., Coe, M., Rodrigues, H., & Alencar, A. (2014). Cracking Brazil's Forest Code. *Science*, 344(6182), 363–364. <https://doi.org/10.1126/science.1246663>

Soterroni, A. C., Ramos, F. M., Mosnier, A., Fargione, J., Andrade, P. R., Baumgarten, L., Pirker, J., Obersteiner, M., Kraxner, F., Câmara, G., Carvalho, A. X. Y., & Polasky, S. (2019). Expanding the Soy Moratorium to Brazil's Cerrado. *Science Advances*, 5(7), eaav7336. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aav7336>

Soterroni, A. C., Império, M., Scarabello, M. C., Seddon, N., Obersteiner, M., Rochedo, P. R., Schaeffer, R., Andrade, P.R., Ramos, F.M., Azevedo, T.R., Ometto, J.P.H.B., Havlik, P., & Alencar, A. A. C. (2023). Nature-based solutions are critical for putting Brazil on track towards net-zero emissions by 2050. *Global Change Biology*, 29(24), 7085-7101. <https://doi.org/10.1111/gcb.16984>

Suarez, A., & Gwozdz, W. (2023). On the relation between monocultures and ecosystem services in the Global South: A review. *Biological Conservation*, 278, 109870. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2022.109870>

UNFCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change. (2022a). **Report of the Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to the Paris Agreement on its third session, held in Glasgow from 31 October to 13 November 2021. Addendum. Part two: Action taken by the Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to the Paris Agreement at its third session.** Bonn: UNFCCC, 2022. Disponível em: https://unfccc.int/sites/default/files/resource/cma2021_10_add1_adv.pdf. Acesso em: 30 maio 2025.

UNFCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change. (2022b). **Updated first nationally determined contribution – Brazil.** Bonn: UNFCCC. Retrieved from <https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-06/Updated%20-%20First%20NDC%20-%20%20FINAL%20-%20PDF.pdf>

- United Nations – UN. (2022). **World population prospects 2022: Summary of results**. New York: United Nations. Retrieved from https://www.un.org/development/desa/pd/sites/www.un.org.development.desa.pd/files/wpp2022_summary_of_results.pdf
- United States Department of Agriculture – USDA. (2023). **Grain and feed update**. https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=Grain%20and%20Feed%20Update_Brasilia_Brazil_BR2023-0028
- United States Department of Agriculture – USDA. (2025). **International agricultural productivity**. <https://www.ers.usda.gov/data-products/international-agricultural-productivity>
- United States Department of Agriculture– USDA. (2022). **USDA agricultural projections to 2031**. <https://www.usda.gov/sites/default/files/documents/USDA-Agricultural-Projections-to-2031.pdf>
- Valdes, C. (2022). Brazil's momentum as a global agricultural supplier faces headwinds. **Amber Waves**. United States Department of Agriculture, Economic Research Service. <https://www.ers.usda.gov/amber-waves/2022/september/brazil-s-momentum-as-a-global-agricultural-supplier-faces-headwinds/>
- van der Ploeg, J. D. (2020). From biomedical to politico-economic crisis: the food system in times of Covid-19. **The Journal of Peasant Studies**, 47(5), 944-972. <https://doi.org/10.1080/03066150.2020.1794843>
- van Ittersum, M. K., Silva, J. V., Bommarco, R., Hijbeek, R., Lundin, O., Nandillon, R., Bergkvist, G., Menegat, A., Öborn, I., Söderholm-Emas, A., Stoddard, F. L., Vico, G., Vonk, W. J., Watson, C. A., & MacLaren, C. (2025). Narrowing the ecological yield gap to sustain crop yields with less inputs. *Global Food Security*, 45, 100857. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2025.100857>
- Vasconcelos, Y., & Zapparoli, D. (2022). Manejo do pasto e mudanças na alimentação podem tornar pecuária mais sustentável. **Revista Pesquisa FAPESP**, (314). <https://revistapesquisa.fapesp.br/manejo-do-pasto-e-mudancas-na-alimentacao-podem-tornar-pecuaria-mais-sustentavel/>
- Vermeulen, S. J., Campbell, B. M., & Ingram, J. S. (2012). Climate change and food systems. **Annual review of environment and resources**, 37(1), 195-222. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-020411-130608>
- Yang, Y., Tilman, D., Jin, Z., Smith, P., Barrett, C. B., Zhu, Y.-G., Burney, J., D'Odorico, P., Fantke, P., Fargione, J., Finlay, J. C., Rulli, M. C., Sloat, L., van Groenigen, K. J., West, P. C., Ziska, L., Michalak, A. M., the Clim-Ag Team, & Lobell, D. B. (2024). Climate change exacerbates the environmental impacts of agriculture. *Science*, 385(6713), eadn3747. <https://doi.org/10.1126/science.adn3747>
- Yilmaz, H., & Yilmaz, A. (2025). Hidden Hunger in the Age of Abundance: The Nutritional Pitfalls of Modern Staple Crops. **Food Science & Nutrition**. <https://doi.org/10.1002/fsn3.4610>
- Yu, M., Zhang, S., Ning, H., Li, Z., & Zhang, K. (2024). Assessing the 2023 Canadian wildfire smoke impact in Northeastern US: Air quality, exposure and environmental justice. **Science of The Total Environment**, 926, 171853. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.171853>
- Zheng, H., Ma, W., & He, Q. (2024). Climate-smart agricultural practices for enhanced farm productivity, income, resilience, and greenhouse gas mitigation: a comprehensive review. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, 29(4), 28. <https://doi.org/10.1007/s11027-024-10124-6>
- Zilli, M., Scarabello, M., Soterroni, A. C., Valin, H., Mosnier, A., Leclère, D., Havlík, P., Kraxner, F., Lopes, M. A., & Ramos, F. M. (2020). The impact of climate change on Brazil's agriculture. **Science of The Total Environment**, 740, 139384. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139384>

AGRICULTURA

Quais são os principais desafios da sustentabilidade ambiental da agricultura brasileira? Podemos expandir nossa produção agrícola para alimentar o mundo?



Maria Julia Ferreira^{1,2} Michel Xocaira Paes³

¹Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Manaus, Brasil

²Instituto Juruá, Manaus, Brasil

³Fundação Getulio Vargas, São Paulo, Brasil

O Brasil é um dos maiores produtores agrícolas do mundo, com o agronegócio ocupando vastas áreas do território e contribuindo fortemente para a economia nacional. Contudo, esse sucesso tem custado caro ao meio ambiente. O modelo dominante, baseado em monoculturas de commodities em larga escala, como gado, soja, cana-de-açúcar e milho, muitas vezes ocupando milhões de hectares, tem provocado desmatamento, perda de biodiversidade, degradação do solo e desigualdade social. Esses sistemas dependem de fertilizantes e pesticidas químicos que contaminam o solo, os rios e os lençóis freáticos, além de eliminar polinizadores e organismos benéficos. A simplificação das paisagens em plantações uniformes reduz a biodiversidade, fragmenta habitats e aumenta a vulnerabilidade a pragas e doenças. Essa dependência de insumos externos e dos mercados globais torna a agricultura brasileira ambientalmente insustentável e economicamente frágil, além de contribuir para emissões de gases de efeito estufa e reduzir a resiliência das paisagens rurais às mudanças climáticas. No Cerrado e na Amazônia, a expansão desse modelo destruiu ecossistemas inteiros, substituindo a vegetação nativa por campos biologicamente empobrecidos. Construir um futuro agrícola sustentável no Brasil exige uma profunda transformação ecológica, social, econômica e política.

Em contraste, a agricultura familiar e de pequena escala oferece bases sólidas para um modelo mais sustentável. Enraizada no conhecimento local e em sistemas de produção diversificados, tende a ser mais resiliente e equilibrada ambientalmente, sendo responsável por mais de 70% dos alimentos consumidos no país. Agricultores familiares praticam rotação e consorciação de culturas, além da policultura, que ajudam a manter a fertilidade do solo, reduzir pragas

e aumentar a produtividade sem depender de insumos químicos. Esses sistemas se alinham aos princípios da agroecologia, que integra a ciência ecológica aos saberes tradicionais. As práticas agroecológicas valorizam a diversidade, a reciclagem de nutrientes e as interações entre plantas, animais e seres humanos, promovendo solos mais vivos, águas mais limpas e alimentos mais saudáveis.

A rotação de culturas desempenha papel essencial na restauração do solo e no controle de pragas. Alternar diferentes cultivos ao longo do tempo permite a recuperação de nutrientes e da estrutura do solo, além de interromper ciclos de pragas. Quando combinada com adubação verde e sistemas agroflorestais, essa prática transforma áreas degradadas em paisagens produtivas e biodiversas. Diante da vasta extensão de terras degradadas no país, tais práticas representam grande potencial de restauração ecológica e produção sustentável de alimentos. Outro pilar é a substituição de insumos químicos por bioinsumos naturais, como compostos orgânicos, microrganismos, repelentes vegetais e biofertilizantes. Esses produtos restauram a vida e a produtividade do solo sem contaminar os ecossistemas. O Brasil já conta com uma rede crescente de laboratórios comunitários e programas públicos de pesquisa voltados aos bioinsumos, que poderiam ser ampliados para beneficiar pequenos produtores. A combinação entre bioinsumos e conhecimento tradicional estimula a inovação adaptada às realidades locais, fortalecendo soluções economicamente viáveis, ambientalmente regenerativas e socialmente inclusivas.

Tornar a agricultura sustentável é um desafio ambiental, social e político. Agricultores familiares e comunidades tradicionais, indígenas, quilombolas e

e ribeirinhas, são fundamentais para a soberania alimentar e a conservação da biodiversidade, mas enfrentam barreiras como acesso limitado a crédito, infraestrutura e assistência técnica. Ampliar programas como o PRONAF e garantir segurança fundiária são passos essenciais. A insegurança da posse da terra e a falta de apoio institucional limitam a inovação e desestimulam práticas ecológicas de longo prazo. Reconhecer os direitos sociais das famílias rurais ao território, a mercados justos e à educação é fundamental para fortalecê-las como agentes de mudança. Políticas públicas também devem incentivar a permanência das novas gerações no campo, expandindo a educação rural, o cooperativismo e o acesso a mercados para produtos agroecológicos. O valor econômico da produção amiga da biodiversidade deve ser reconhecido e recompensado por meio de pagamentos por serviços ambientais e programas de certificação verde. Programas de compras públicas, como o PAA e o PNAE, podem assegurar demanda estável e promover alimentação saudável nas escolas e comunidades.

A transição para uma agricultura sustentável exige políticas públicas coerentes orientadas pelos princípios da agroecologia: diversidade, reciclagem, sinergia, resiliência e co-criação de conhecimento. Esses princípios deslocam o foco da maximização da produtividade para o fortalecimento dos ecossistemas e das comunidades. O apoio governamental deve priorizar a intensificação ecológica em vez da expansão de fronteiras, restaurando áreas degradadas em lugar de abrir novas.

O futuro da agricultura brasileira depende de substituir monoculturas que exaurem o solo por sistemas diversificados que o regeneram. Sustentabilidade agrícola significa integrar restauração ecológica, justiça social e inovação tecnológica. Apoiar pequenos produtores, ampliar o acesso à terra e ao crédito, investir em bioinsumos e aplicar princípios agroecológicos pode transformar as paisagens rurais em sistemas resilientes, produtivos e justos. Assim, o Brasil pode liderar uma transição global rumo a uma agricultura que não apenas alimente as pessoas, mas também regene

o planeta, onde biodiversidade, cultura e sustentabilidade cresçam juntas no mesmo solo.

Referências

Costa M.B.B. 2017. Agroecologia no Brasil: história, princípios e práticas. 141p. ISBN: 978-85-7743-311-7.

Farrell J.G. & Altieri M. 2014. Estratégias técnicas para o manejo agroecológico: Sistemas agroflorestais. 281–304. ISBN: 978-85-7743-191-5

Costa, F. de A., Assad, E. D., Bebbington, D. H., Brondizio, E. S., Fearnside, P. M., Garrett, R., Hecht, S., Heilpern, S., McGrath, D., Oliveira, G., Pereira, H. dos S., & Schmink, M. (2024). Complex, diverse and changing agribusiness and livelihood systems in the Amazon. *Acta Amazonica*, 54(spe1), e20220096. <https://doi.org/10.1590/1809-4392202200960>

Levis, C., Flores, B. M., Campos-Silva, J. V., Peroni, N., Staal, A., Padgurschi, M. C., Dorshow, W., Moraes, B., Schmidt, M., Kuikuro, T.W., Wauja, K., Kuikuro, K., Kuikuro, A., Fausto, C., Franchetto, B., Watling, J., Lima, H., Heckenberger, M., & Clement, C. R. (2024). Contributions of human cultures to biodiversity and ecosystem conservation. *Nature Ecology & Evolution*, 8(5), 866- 879. <https://doi.org/10.1038/s41559-024-02356-1>.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa. (2018). **Visão 2030: o futuro da agricultura brasileira**. Brasília, DF: Embrapa.

Raquel Rizzi¹ Allan Razera² Patrícia Ravallet³

¹Ministério do Desenvolvimento Agrário e Agricultura Familiar

²Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima

³Ministério do Desenvolvimento Agrário e Agricultura Familiar

O alimento que chega à mesa dos brasileiros e de milhões de consumidores em diferentes partes do mundo vem da terra cultivada em nossos territórios. Do arroz e feijão que sustentam a dieta cotidiana brasileira ao café das manhãs de diversos países, passando pela soja e o milho, que abastecem cadeias globais de carne, a agricultura brasileira é essencial para a segurança alimentar nacional e mundial. De acordo com relatório da FAO e a OCDE, o Brasil está entre os três maiores exportadores mundiais de produtos agroalimentares, o que evidencia sua centralidade na produção agrícola internacional.

Um desafio importante é diversificar a produção brasileira, concentrada em poucas culturas. Pastagens, soja e cana concentram 77% de toda a área utilizada pela agropecuária brasileira. Essa dependência compromete a diversidade alimentar e a biodiversidade, aumenta a vulnerabilidade a pragas, o uso de agrotóxicos, degrada o solo e fragiliza a soberania alimentar e econômica diante de eventos climáticos extremos.

O clima, a água, o solo e a biodiversidade são fundamentais para cada prato de comida. O aumento das temperaturas, a irregularidade das chuvas e a frequência de secas e enchentes impactam diretamente lavouras sensíveis, como café e feijão. Quase 70% da água consumida no Brasil é destinada à irrigação, enquanto práticas inadequadas degradam solos.

O desmatamento também é um desafio. Sem florestas, o regime de chuvas se altera e a agricultura é impactada. É crucial diferenciar o desmatamento legal, previsto em lei, do ilegal, que ainda predomina na Amazônia e em parte significativa do Cerrado.

Entre os desafios ambientais, é preciso considerar as pessoas. Sistemas alimentares sustentáveis também devem se ancorar na justiça social. A agricultura familiar desempenha papel fundamental no desenvolvimento sustentável, na segurança alimentar e na geração de renda. Porém, enfrenta desafios como o envelhecimento rural e a invisibilidade do trabalho das mulheres, que limita seu acesso à terra, crédito e tecnologias. Povos indígenas, quilombolas e comunidades tradicionais, que preservam saberes essenciais para a produção sustentável, permanecem vulneráveis e pressionados.

Apesar das dificuldades, o Brasil apresenta condições para uma transição de modelo dos sistemas alimentares, garantindo produção sustentável e capaz de contribuir na alimentação do mundo. Para isso, é necessário incentivar a diversificação da produção, apoiar cultivos regionais e criar mercados que escoem essa variedade produtiva.

A biodiversidade brasileira é uma aliada invisível: insetos polinizadores, microrganismos do solo e espécies nativas sustentam a produtividade e a saúde dos ecossistemas agrícolas. Outra frente é avançar para que o país cumpra seu compromisso de zerar o desmatamento até 2030. Investir em bioinsumos, controle biológico e práticas agroecológicas permite conciliar produtividade e sustentabilidade. Fortalecer ações do Programa Nacional de Redução de Agrotóxicos, recentemente aprovado no Brasil, é essencial, enfrentando interesses econômicos e lobbys políticos do setor.

A transição não se limita à produção; ela envolve o fortalecimento de mercados locais, feiras regionais e programas de compras institucionais, como o da alimentação

escolar, que aproximam agricultores e consumidores. Além disso, é preciso reduzir perdas e desperdícios e investir em pesquisa e inovação tecnológica, com parcerias estratégicas para a mecanização da agricultura familiar. Com tecnologia, a agricultura brasileira, especialmente a familiar, pode oferecer caminhos para produção sustentável e resiliente às mudanças climáticas.

A transição de modelo começa reconhecendo quem garante o abastecimento. A agricultura familiar fornece boa parte da comida do mercado interno — feijão, mandioca, leite, hortaliças e ovos. A agricultura empresarial é responsável por grandes commodities, como soja, milho e carnes, que abastecem cadeias globais. Ambas são essenciais, mas cumprem papéis diferentes: alimentar os brasileiros não é o mesmo que abastecer mercados internacionais. Sistemas alimentares equilibrados precisam valorizar essas duas dimensões, fortalecendo a agricultura familiar, a produção de alimentos saudáveis e a produção de commodities.

Políticas voltadas à juventude rural e às mulheres são essenciais para promover igualdade e garantir a sucessão rural. Para povos e comunidades tradicionais, o acesso à terra e o reconhecimento de seus saberes são condições indispensáveis para um desenvolvimento sustentável e solidário.

O Brasil tem condições de liderar essa transição: dispõe de terra e recursos naturais suficientes para ampliar a produção sem novos desmatamentos, de instituições científicas de ponta como a Embrapa, e de uma agricultura familiar capaz de oferecer diversidade e alimentos saudáveis.

É fundamental superar entraves estruturais para implementar e ampliar políticas públicas de forma consistente. Sem investimento que garanta sua chegada aos diferentes territórios e sem articulação coordenada com Universidades, Institutos Federais, movimentos sociais e entes federativos, as políticas voltadas à agricultura familiar — integrando produção, clima, biodiversidade e justiça social — terão eficácia limitada, comprometendo os esforços rumo a uma transição de modelo dos sistemas alimentares.

O futuro do campo e o que teremos no prato dependem das escolhas que o Brasil fizer agora.

Referências

OECD/FAO (2024), OECD-FAO Agricultural Outlook 2024-2033, **OECD Publishing**, Paris/FAO, Rome <https://doi.org/10.1787/4c5d2cfb-en>.

MAPBIOMAS BRASIL. **Pastagem, soja e cana ocupam 77% da área de agropecuária no Brasil**. 6 dez. 2024. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/2024/12/06/pastagem-soja-e-cana-ocupam-77-da-area-de-agropecuaria-no-brasil/>. Acesso em: 15 ago. 2025.

Brasil. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. **Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm): 5ª fase (2023 a 2027)**. Brasília, DF: MMA, 2023.

BRASIL. **Decreto nº 12.538, de 18 de novembro de 2021**. Institui o Programa Nacional de Redução de Agrotóxicos – Pronara. Diário Oficial da União: Brasília, DF, 18 nov. 2021. Seção 1, p. 2. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2021/decreto/D12538.htm

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Agricultura Familiar no Brasil: produção de alimentos e abastecimento do mercado interno**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/media/com_medi_aibge/arquivos/42a86ef6d8c8db0a25e13cdc830799e6.pdf

Jaine Ariely Cubas¹ Amanda Roza¹

¹Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA)

No ano de 2024, 235 países e territórios receberam alimentos brasileiros (Comexstat, 2025). Esse dado é representativo do papel do Brasil na garantia de segurança alimentar em escala global. O país conta com 179 milhões de hectares de pastagens, 63 milhões de hectares de lavouras e extensa cobertura vegetal (IBGE, 2017). Ao longo dos anos, a ciência e a tecnologia transformaram o país em uma potência exportadora, e a construção de uma legislação ambiental robusta associou a produção agropecuária à responsabilidade de preservar os recursos naturais.

As emissões de gases de efeito estufa também são levadas em consideração para avaliar a sustentabilidade da produção brasileira. Em 2022, o setor agropecuário brasileiro foi responsável pela emissão de 622 milhões de toneladas de CO₂eq, o que representou 30% das emissões do Brasil (MCTI, 2024). Entre as categorias que representam o setor produtivo no Inventário Nacional, a agropecuária foi o setor que registrou o menor aumento de emissões entre 2005 e 2022. No mesmo período, o PIB da Agropecuária registrou um aumento de 380%, segundo dados do CEPEA/USP.

Dada a projeção de aumento da população mundial, estima-se que, até 2034, o consumo global de produtos agrícolas e pesqueiros crescerá 13% em relação aos níveis de 2024, em valores constantes e com o crescimento concentrado em países de renda média e baixa. Ao mesmo tempo, o valor bruto da produção agrícola global deve aumentar 14% até 2034, em valores constantes (OCDE/FAO, 2025). Nesse cenário, o Brasil tem um claro desafio: garantir a sustentabilidade ambiental e contribuir substancialmente para a garantia de segurança alimentar global.

O Código Florestal representa a robustez da legislação ambiental brasileira, e uma meta climática ambiciosa, que propõe a redução de emissões em no mínimo 59% até 2035 em relação a 2005, aumentam a

responsabilidade do setor em garantir a produção de alimentos de forma sustentável. Ainda assim, o país enfrenta desafios para garantir a sustentabilidade no longo prazo.

A legislação reconhece a centralidade da atividade agropecuária no desenvolvimento nacional, destacando seu papel na segurança alimentar e no crescimento econômico. Simultaneamente, reafirma a relevância das florestas e da vegetação nativa como elementos essenciais para a sustentabilidade, a qualidade de vida e a competitividade nos mercados globalizados de alimentos e bioenergia.

Nesse sentido, é fundamental que a lei seja plenamente implementada para que o Brasil continue aliando a produção de alimentos à sustentabilidade. Um grande avanço foi a criação do Cadastro Ambiental Rural (CAR), o qual configura-se como um instrumento estratégico para a geração e integração de informações ambientais dos imóveis rurais. Trata-se de uma base de dados essencial para o planejamento ambiental e econômico, o controle, o monitoramento, e a demonstração do compliance ambiental.

A inscrição no CAR é obrigatória e sua implementação, em conjunto com instrumentos como os Programas de Regularização Ambiental (PRA) e as Cotas de Reserva Ambiental (CRA), representa um passo decisivo rumo à integração das políticas agrícolas e ambientais. Entretanto, a etapa de análise das informações declaradas no CAR constitui hoje um dos principais desafios para sua efetiva consolidação. Com mais de sete milhões de cadastros realizados, os órgãos estaduais enfrentam um volume expressivo de trabalho técnico, que exige o fortalecimento institucional das Unidades Federativas e o uso crescente de ferramentas de análise automatizada, além da divergência de dados sobre o domínio do imóvel, mesmo o CAR não sendo um cadastro fundiário, durante a análise são encontradas diversas sobreposições entre imóveis rurais, reflexo

de fragilidades históricas na governança fundiária.

Com os dados do CAR analisados será possível mostrar o equilíbrio no uso das áreas de produção, com as áreas destinadas a preservação. Ainda, o setor pode contribuir, cada vez mais, com a redução de emissões de gases de efeito estufa a partir da adoção de práticas sustentáveis e de ganhos de produtividade, contribuindo para o cumprimento da meta climática do Brasil.

O Plano ABC+, por exemplo, estabelece uma série de metas para adoção de tecnologias de baixo carbono em território nacional. A expectativa é de que a implementação das tecnologias seja capaz de mitigar a emissão de 1 bilhão de toneladas de CO₂eq entre 2020 e 2030.

A reutilização e melhoria da produção com a recuperação e a conversão em sistemas produtivos sustentáveis, conforme proposto pelo Plano ABC+, além de reduzir as emissões de gases de efeito estufa, contribui para a preservação dos biomas brasileiros. Garantir o financiamento adequado para o cumprimento das metas do Plano ABC+ e estimular a continuidade da adoção dessas tecnologias é fundamental.

A superação dos desafios supracitados mantém o Brasil na liderança da produção agropecuária sustentável e amplia as oportunidades para o setor agropecuário, contribuindo para a segurança alimentar e promovendo maior segurança jurídica e valorização ambiental dos imóveis rurais, além de ampliar a rastreabilidade e a transparência de toda a produção rural sustentável no país.

Raul Zoche¹

¹Confederação Nacional dos Trabalhadores Rurais Agricultores e Agricultoras Familiares (CONTAG)

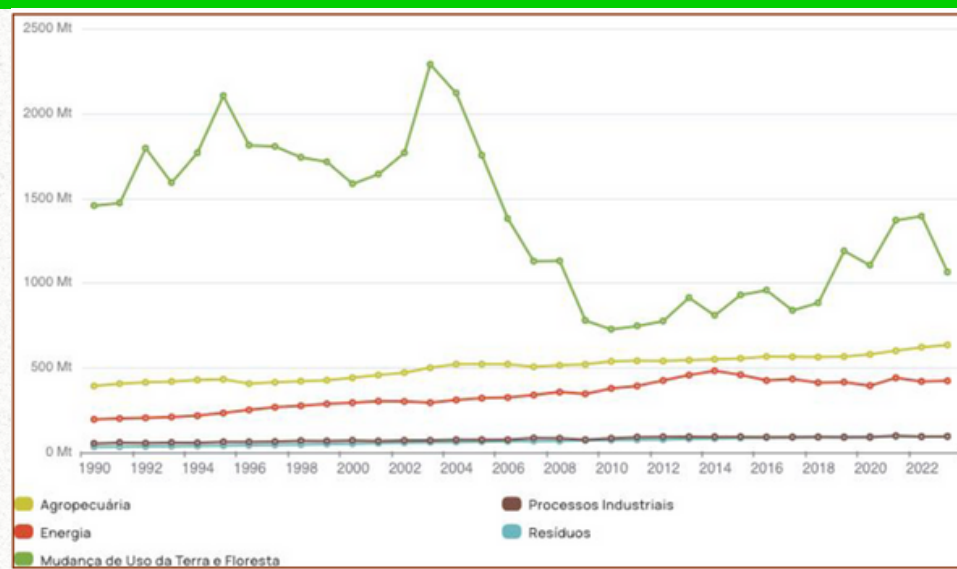
A agricultura brasileira ocupa papel estratégico na agenda global de segurança alimentar e de sustentabilidade ambiental. Por um lado, o país é uma potência agrícola, responsável por parcela significativa da produção mundial de alimentos; por outro, enfrenta enormes desafios para conciliar esse potencial com a preservação dos ecossistemas e a promoção da justiça social. A questão central, portanto, consiste em definir como expandir a produção agrícola sem comprometer os limites ambientais e climáticos, que já se mostram cada vez mais críticos.

O primeiro grande desafio é o impacto das mudanças climáticas sobre os sistemas produtivos. O Brasil tem experimentado eventos extremos cada vez mais frequentes: secas prolongadas no Nordeste, enchentes no Sul, estiagens históricas na Amazônia e perda da previsibilidade das chuvas no Cerrado. Esses fenômenos afetam diretamente culturas estratégicas como a

mandioca, o milho e o feijão, pilares da segurança alimentar nacional. Os públicos amparados pela Lei n.º 11.326/2006, que define a agricultura familiar, sofrem de modo ainda mais intenso, por possuírem menor capacidade de adaptação tecnológica e financeira.

O segundo desafio decorre da pressão exercida pelo agronegócio baseado em monoculturas extensivas, responsável por parcela expressiva das emissões nacionais de gases de efeito estufa. Em 2023, a agropecuária e as mudanças no uso da terra corresponderam a 74% das emissões brasileiras (Figura 1), tendo o desmatamento da Amazônia e do Cerrado como principais vetores. Esse modelo, ao mesmo tempo em que gera divisas, compromete a biodiversidade, contamina solos e águas pelo uso intensivo de agrotóxicos e aprofunda a concentração de renda e de terras, agravando os problemas sociais do campo brasileiro.

Figura C6.1 - Emissões brutas no Brasil por setor



Fonte: SEEG (2023)

Um terceiro desafio consiste nas limitações das políticas públicas e dos investimentos voltados à produção de base familiar. Apesar de sua relevância, já que, segundo o Censo Agropecuário de 2017 do Instituto

Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a agricultura familiar responde por 77% dos estabelecimentos rurais, 67% da ocupação no campo e 23% do valor bruto da produção agropecuária brasileira, o setor ainda

enfrenta severas restrições no acesso a recursos essenciais. Os agricultores familiares encontram dificuldades em acessar linhas sustentáveis do Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (Pronaf), o que resulta em forte concentração do crédito em commodities, sobretudo na região Sul, evidenciando uma exclusão financeira que limita os investimentos em tecnologia e sustentabilidade. Além disso, apenas cerca de 20% das famílias contam com algum tipo de assistência técnica ou extensão rural, o que dificulta a adoção de inovações produtivas e ambientais capazes de aumentar a resiliência climática e a produtividade. A insuficiência de políticas públicas específicas é ilustrada por programas como o Plano ABC (Agricultura de Baixo Carbono) que, embora relevantes para mitigar emissões, não contemplaram de maneira adequada as necessidades dos sistemas produtivos biodiversos.

Apesar dessas dificuldades, a agricultura familiar brasileira se destaca como parte fundamental da solução climática. Diferentemente do modelo de monoculturas, os sistemas familiares tendem a ser mais biodiversos, integrando cultivos, pecuária e manejo florestal. Esses sistemas apresentam baixa emissão de gases de efeito estufa e elevado potencial de remoção de carbono, seja pela adoção de práticas agroecológicas, pela regeneração de pastagens degradadas ou pela implementação de sistemas agroflorestais.

Cumprindo ainda ressaltar que a agricultura familiar exerce papel essencial na manutenção da soberania e da segurança alimentar. De acordo com a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO), em escala global, a agricultura familiar ocupa entre 70% e 80% das terras agrícolas e responde por cerca de 80% do valor dos alimentos produzidos. No Brasil, é responsável por 80% da mandioca, 69% do abacaxi e 42% do feijão, além de expressiva participação na produção de café, banana e produtos da sociobiodiversidade, como a castanha-do-brasil e o açaí.

É possível expandir a produção para alimentar o mundo?

A resposta não está em ampliar indiscriminadamente a área plantada, mas em transformar a base produtiva brasileira considerando três eixos estratégicos:

1. Transição agroecológica: ampliar práticas regenerativas, como sistemas agrossilvipastoris e a agricultura agroecológica, que aumentam a resiliência climática e reduzem a dependência de insumos químicos.
2. Fortalecimento de políticas públicas inclusivas: assegurar crédito orientado, assistência técnica de qualidade e seguro agrícola adaptado às especificidades da agricultura familiar, de modo a ampliar a escala de boas práticas já existentes.
3. Investimento em ciência e dados: superar as lacunas de conhecimento em sistemas de produção sustentáveis, mensurar de forma precisa o potencial de captura de carbono e os impactos da agricultura familiar, de modo a fundamentar políticas baseadas em evidências e valorizar o papel ambiental do setor.

Em suma, os principais desafios da sustentabilidade da agricultura brasileira estão diretamente ligados à crise climática, à concentração fundiária e à fragilidade das políticas voltadas à agricultura familiar. Contudo, essa mesma agricultura familiar apresenta-se como alternativa concreta e escalável para enfrentar a emergência climática e garantir a segurança alimentar global.

Portanto, o Brasil pode, sim, contribuir para alimentar o mundo, mas o caminho passa por reconhecer e apoiar os agricultores e agricultoras familiares como protagonistas de uma transição justa. Apenas assim será possível conciliar expansão da produção com sustentabilidade, assegurando que os alimentos que chegam à mesa das pessoas sejam saudáveis, estejam em conformidade com os limites ambientais e com os direitos das gerações futuras.