

Um estudo prospectivo da cadeia produtiva do milho no Brasil*

Daniel Felipe Marra e Rosa¹

Marlon Vinicius Brisola²

Silvia Araújo dos Reis³

RESUMO

Mudanças técnicas e estruturais estão ocorrendo nos segmentos do agronegócio, inclusive na cadeia brasileira do milho, em decorrência da preocupação dos consumidores e das agências reguladoras por produtos considerados sustentáveis e socialmente corretos. O objetivo deste artigo foi identificar, na literatura, as práticas que indicam estas mudanças e contextualizá-las em relação à realidade da agricultura brasileira. Para tanto, pelo prisma dos estudos prospectivos, aplicou-se um questionário a 72 produtores rurais, e efetuaram-se 23 entrevistas com especialistas da cadeia de produção de milho. Os questionários envolveram produtores de milho que cultivam em 206 mil hectares, espalhados por 15 estados brasileiros. As respostas indicaram que os produtores já fazem rotação de 13 culturas, praticam o plantio direto e a segunda safra, usam produtos biológicos, fazem plantio de cobertura e a integração lavoura-pecuária. Concluiu-se que o Brasil está relativamente bem posicionado no que diz respeito às práticas agrícolas sustentáveis e à adoção de tecnologias. No entanto, ainda é preciso avançar quanto nas questões de rastreabilidade, combate ao desmatamento ilegal, estímulo à indústria ecológica e ao processamento sustentável, controle da contaminação dos lençóis freáticos, estímulo ao consumo sustentável e redução de perdas e desperdícios.

Termos para indexação: estudo prospectivo, novas tecnologias, sustentabilidade.

A prospective study on the corn production chain in Brazil

ABSTRACT

Technical and structural changes are taking place in the agribusiness segments, including the Brazilian corn chain, due to the concern of consumers and regulatory agencies for products considered sustainable and socially correct. The objective of this article was to identify, practices indicating these changes, reported in the literature, and contextualize them in relation to the Brazilian agricultural reality. For this purpose, by the perspective of prospective studies, a questionnaire was applied to 72 rural producers, and 23 interviews were carried out with specialists of the corn production chain. The questionnaires involved corn producers who cultivate 206,000 hectares spread across 15 Brazilian states. The responses indicated that producers already rotate 13 crops, practice no-tillage and second crop, the application of biological products, cover crop, and crop-livestock integration. Therefore, Brazil is relatively well-positioned with regard to

*Este artigo faz parte da Chamada “CT&I no mundo em transformação: que atores, caminhos e motores se revelam?”

¹Mestre em Agronegócio pela Universidade de Brasília, responsável técnico da Associação Brasileira dos Produtores de Milho. E-mail: daniel.abramilho@gmail.com.

²Médico Veterinário e doutor em Ciências Sociais, com especialização em estudos comparados sobre as Américas. Professor Associado na Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária e credenciado no Programa de Pós-graduação em Agronegócios da Universidade de Brasília. E-mail: mvbrisola@unb.br.

³Doutora em Engenharia de Produção com ênfase em Logística, pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, professora associada (Departamento de Administração da Faculdade de Administração, Contabilidade, Economia e Gestão de Políticas Públicas) e professora (Programa de Pós-Graduação em Agronegócios) da Universidade de Brasília. E-mail: silviareis@unb.br.

Ideias centrais

- As práticas sustentáveis da cadeia produtiva do milho são biotecnologia, redução de fertilizantes nitrogenados, rotação de cultura, biogás, perda e desperdício de alimentos, bioenergia, agricultura digital, biocombustível e bioplástico.
- Os produtores já fazem rotação entre 13 culturas, praticam o plantio direto, usam produtos biológicos, fazem plantio de cobertura e a integração lavoura-pecuária.
- O Brasil está relativamente bem-posicionado no que diz respeito a algumas práticas agrícolas sustentáveis.
- É preciso avançar na rastreabilidade, combate ao desmatamento ilegal, estímulo à indústria ecológica, controle da contaminação dos lençóis freáticos e redução de perdas e desperdícios.

Recebido em
29/06/2023

Aprovado em
04/12/2023

Publicado em
28/12/2023



This article is published in Open Access under the Creative Commons Attribution licence, which allows use, distribution, and reproduction in any medium, without restrictions, as long as the original work is correctly cited.

sustainable agricultural practices and the adoption of technologies. However, progress is still needed for traceability, combating illegal deforestation, encouraging the ecological industry and sustainable processing, controlling of groundwater contamination, encouraging sustainable consumption, and reducing losses and waste.

Index terms: sustainability, prospective study, new technologies.

INTRODUÇÃO

O Brasil é o terceiro maior produtor de milho do mundo e concorre pela liderança nas exportações tanto do grão quanto de aves, suínos e bovinos que compõem a cadeia produtiva do milho. A cadeia produtiva do milho – representada por 1 milhão de produtores do grão espalhados por todo o Brasil (IBGE, 2024) – traz desenvolvimento social e econômico para o país.

No entanto, o aumento da preocupação dos consumidores por produtos mais sustentáveis e a redução das perdas e desperdícios de alimentos pressionam todas as cadeias produtivas por mudanças estruturais. Estas mudanças irão passar necessariamente pela ciência, tecnologia e inovação. As cadeias produtivas que não buscarem esta modernização serão marginalizadas pelo mercado.

Até a década de 1970, havia uma falsa crença na inesgotabilidade dos recursos naturais. Foi somente em 1968, em resposta à crescente preocupação com a questão ambiental, que a Assembleia das Nações Unidas decidiu realizar a Conferência Mundial sobre o Meio Ambiente, que ocorreu na cidade de Estocolmo na Suécia, bem como a realização da Conferência sobre a Conservação e Uso Racional da Biosfera, promovida pela Unesco no mesmo ano (Dias, 2006).

A partir da década de 1970, o conceito de sustentabilidade é apresentado como estímulo ao desenvolvimento econômico, à igualdade social e à qualidade do meio ambiente (Philippi Jr. et al., 2000). Estes debates foram intensificados por meio das conferências de Estocolmo (1972), do Rio de Janeiro (1992, 2012) e de Paris (2015) e resultaram nos Relatórios Brundtland, (1984), Agenda 21 (1992), Protocolo de Kyoto (1997) e Agenda 2030 (2015) (Tiradentes, 2021).

Mais recentemente, um movimento global no sentido de acelerar a transição para um modelo de desenvolvimento sustentável continua. Em outubro de 2021, a COP-26 (Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas), realizada em Glasgow (Escócia), reforçou os seguintes objetivos: busca de neutralidade das emissões de gases nocivos para limitar o aquecimento global; proteção dos ecossistemas dos países afetados pelas mudanças climáticas; formação de fundos para financiar as metas acordadas; e cooperação global entre governos e sociedade civil (Tiradentes, 2021).

Se, por um lado, a COP 26 ainda não apresentou resultados concretos, o “*green deal*” já impacta e aumenta ainda mais a pressão para a “transição verde”. Intitulado “Pacto Ecológico Europeu” ou “Green Deal”, este acordo foi instituído por meio de um Comunicado da Comissão Europeia, divulgado em dezembro de 2019 em Bruxelas, endereçado ao Parlamento Europeu, ao Comitê Ecológico e Social e aos Comitês Regionais Europeus (Comissão Europeia, 2019).

No Brasil, exemplos dos efeitos imediatos dos desdobramentos do Green Deal são o *farm to fork* (limita a entrada de produtos agropecuários que não tenham o mesmo modelo produtivo proposto pela legislação europeia) e o regulamento da União Europeia nº 1115, de 31 de maio de 2023, publicado no diário oficial no dia 9 de junho de 2023 (trata sobre barreiras a produtos associados à desflorestação e à degradação floresta) que entrará em pleno funcionamento a partir de 2024 (Comissão Europeia, 2021, 2023).

Neste contexto, a sustentabilidade e a preocupação com as mudanças climáticas, que outrora eram apenas ideias, tonaram-se pressões econômicas, barreiras comerciais e possíveis perdas de *market share*. A maior exigência do mercado consumidor passou a requerer a rastreabilidade e a certificação de que os produtos não contrastam com as premissas de um mundo mais sustentável. Neste sentido, a manutenção do protagonismo mundial do Brasil dependerá também de sua capacidade de adaptar-se a estas novas exigências. Por tudo isso, a proposta deste estudo é responder a seguinte questão:

Quais ações são necessárias para tornar a cadeia produtiva nacional do milho mais sustentável e competitiva?

MATERIAL E MÉTODOS

Revisão sistemática de literatura

A disponibilidade de qualidade e quantidade das informações, a superação de lacunas de pesquisa, com base nas quais teorias e métodos são aplicados em diferentes ambientes e contextos (Paul & Criado, 2020), indicam a necessidade de uma revisão sistemática de literatura (RSL), em conformidade com o protocolo de Cronin (Cronin et al., 2008), em razão de sua abordagem rigorosa e bem definida, em comparação à revisão tradicional ou narrativa.

Duas buscas foram realizadas nas bases da *Science Direct* e *Web of Science* e foram analisadas 67 publicações. A primeira busca resultou em 161 artigos sem limitação de data. Após a análise dos títulos e resumos, restaram 35 artigos. A pesquisa foi repetida na segunda base, restringindo-se aos últimos 5 anos, e resultou 187 artigos com dados abertos. Após a análise de título e resumo, restaram 31 artigos.

A revisão sistemática quanto à sustentabilidade da cadeia produtiva do milho permitiu a elaboração de um quadro com destaque para os seguintes temas: biotecnologia, fertilizantes nitrogenados, rotação de cultura e produtividade, perdas e desperdícios de alimentos, bioenergia, biocombustível e bioplástico.

Os estudos foram agrupados segundo temas e similaridades, o que resultou em 10 grandes grupos, cujos cinco maiores em número de estudos foram responsáveis por 66% dos trabalhos e referem-se aos seguintes temas: biotecnologia (11), redução de fertilizantes nitrogenados (9), rotação de cultura (8), biogás (8) e perdas e desperdícios de alimentos (8).

A análise mais acurada dos trabalhos levou à necessidade de classificá-los pelo critério do tripé da sustentabilidade, ou seja ambiental, social e econômico. Os trabalhos analisados abordaram a questão ambiental e a sustentabilidade com enfoques distintos. Constatou-se que houve uma prevalência de estudos voltados para os ganhos econômicos, que totalizaram 32 estudos correspondentes a 48% do total, seguidos pelo ambiental com 20 e o social com 14 trabalhos.

Os temas biotecnologia, biogás, bioenergia, biocombustível e bioplástico, ainda que tragam benefícios sociais e ambientais, foram considerados com foco no econômico. O foco no meio-ambiente enfatizou a questão da redução de fertilizantes nitrogenados, a rotação de cultura e a redução de CO². A perda e desperdício de alimentos (PDA) e a agricultura digital se enquadraram no foco social. No caso da agricultura digital, os estudos analisados são voltados sobretudo para a aplicação a pequenos produtores. Os estudos sobre o tema ambiental têm aumentado ao longo do tempo, trazendo questões de interesse geral e com distintas propostas.

A literatura acadêmica especializada na cadeia produtiva do milho define as principais práticas relativas à referida transição, que segue a tendência mundial de desenvolvimento de sistemas agroalimentares mais sustentáveis e inclusivos e indica os seguintes recursos: biotecnologia, redução de fertilizantes nitrogenados, rotação de cultura e produtividade, biogás, perda e desperdício de alimentos (PDA), bioenergia, agricultura digital, biocombustível e bioplástico.

A prática da transgenia – ainda persistem controvérsias – é vista ora como elemento de pressão sobre o agroambiente, ora como uma resposta modernizadora a uma crise econômica e ambiental (Binimelis et al., 2009). Autores defendem que esta prática trouxe melhoria à produtividade e à sustentabilidade das lavouras (Grote et al., 2021), gerando benefícios econômicos significativos para os produtores rurais (Brookes & Barfoot, 2020). Os resultados positivos quanto à renda agrícola explicam o porquê da crescente adoção dessa tecnologia, tanto para os grandes quanto para os pequenos produtores (Brookes & Barfoot, 2020). Um exemplo significativo se refere à resistência a insetos GM

(IR), o que proporcionou maiores rendimentos e menores custos de produção, especialmente com menos gastos com inseticidas (Brookes & Barfoot, 2020).

O melhoramento genético também contribuiu para a redução nas emissões de gases de efeito estufa (GEE), uma vez que aumenta a produtividade e evita a conversão de terras, aumentando o sequestro de carbono por hectare (Khatri-Chhetri et al., 2021). Houve, também, benefícios ambientais associados às mudanças nas práticas de controle de ervas daninhas e pragas, o que permitiu reduzir a carga ambiental relacionada ao uso de pesticidas no milho (Brookes & Dinh, 2021). Pode-se citar, também, as novas variedades para controle de toxinas no grão, o que possibilita maior durabilidade e resistência à infecção fúngica e ao acúmulo de aflatoxinas (Williams et al., 2011).

O fertilizante nitrogenado é um dos principais fatores da emissão de gases de efeito estufa e é também causador de alterações abióticas que afetam as comunidades bacterianas no solo. Essa comunidade microbiana afeta diretamente o crescimento das plantas por meio de um *feedback* positivo ou negativo. (Chen et al., 2021). A aplicação de fertilizantes minerais nitrogenados, em prazo longo, pode provocar a redução da atividade biológica da rizosfera, o que reduz a fertilidade do solo (Wang et al., 2018), por isso, coloca-se a ênfase na recomendação de aplicações escalonadas e de liberação lenta (Chen et al., 2021).

Os fertilizantes orgânicos são recomendáveis, pois promovem maior atividade biológica no solo e são uma forma complementar, para que haja redução dos impactos em cultivos menos exigentes por nitrogênio, como no caso da soja que, diferentemente do milho, é possível fazer a substituição de forma quase integral (Moretti et al., 2020).

Outra ação positiva tanto para a microbiologia do solo quanto para a sanidade das lavouras é a rotação de cultura. As consequências negativas da crescente especialização são conhecidas: tensões sobre a água, em áreas com extensas monoculturas, aumento do consumo de energia fóssil e emissões de gases de efeito estufa estão relacionados ao quase desaparecimento de leguminosas (Meynard et al., 2018). Diante desse quadro, a rotação de culturas deve ser utilizada intensamente (Kumar et al., 2018). É importante acrescentar as leguminosas, como a soja, porque servem para fixar nitrogênio no solo, aumentam a produtividade das culturas subsequentes e reduzem o uso de fertilizantes (Acevedo-Siaca & Goldsmith, 2020).

A combinação da leguminosa soja com o cereal milho cria um sistema estável que pode ajudar a proteger a fertilidade do solo e reduzir as pressões abióticas e bióticas, além de proporcionar rendimentos elevados. Evidências empíricas mostram a complementariedade entre o milho e a soja como um sistema agrícola sustentado, em toda a América do Norte e do Sul, bem como na Europa Oriental, presente tanto em regiões de clima temperado quanto subtropical e tropical (Acevedo-Siaca & Goldsmith, 2020).

No sentido de estimular o plantio de leguminosas por pequenos produtores e criar um mercado consumidor, uma possibilidade aventada foi a criação de programas para a produção de *biodiesel*, semelhante ao Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (Florin et al., 2013). No entanto, existem fatores limitantes a esta cadeia produtiva que se apresenta desestruturada e com escassez de sementes e pesticidas registrados para a cultura, sobretudo tratando-se de *minor crops* (Meynard et al., 2018).

À rotação de culturas pode-se somar a integração agricultura-pecuária-floresta, que representa uma oportunidade para o aumento de renda para o produtor por se tratar de uma atividade a mais (Esteves et al., 2021). Os sistemas de integração lavoura-pecuária (ILP) contribuem para melhorar a fertilidade e disponibilidade do solo, por meio da adoção de estratégias de rotação e diversificação de culturas, de modo a otimizar os ciclos biológicos (Esteves et al., 2021).

Uma gama de produtos e coprodutos são passíveis de integração, com destaque para pecuária bovina, soja, milho e os coprodutos como biogás do sebo bovino, *biodiesel* da soja e etanol de milho, além dos derivados da silvicultura e o bioplástico (Esteves et al., 2021). A integração resulta também

em um maior aproveitamento da água pluvial, em comparação ao sistema de agricultura convencional, em razão da sua intensificação (Acevedo-Siaca & Goldsmith, 2020).

Ao passar para a fase pós-colheita, uma cadeia produtiva sustentável deve também diminuir os desperdícios. A maioria das perdas e desperdícios de alimentos ocorre durante os estágios iniciais da cadeia de valor, que incluem a produção, a colheita e o armazenamento (Mesterházy et al., 2020). Tudo isso estimula uma discussão sobre o papel da integração no manejo de pragas, melhoramento de plantas e agronomia, na produção de grãos, e as implicações para o fornecimento futuro de grãos para alimentos e rações (Mesterházy et al., 2020). Este esforço é coerente com as estratégias promovidas pelos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) das Nações Unidas, que visam “acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e melhorar a nutrição, bem como promover a agricultura sustentável até 2030” (Galford et al., 2020, tradução nossa).

Em relação às perdas, ressalte-se que grande parte ocorre em consequência da precariedade de infraestrutura e limitações de capital para investimento em armazenagem (Galford et al., 2020). As perdas de grãos armazenados são causadas, em sua maioria, pela contaminação de micotoxinas (Mesterházy et al., 2020) e, daí vem a importância de silos metálicos para a redução da infecção, em especial aquelas causadas por aflatoxinas (Galford et al., 2020). Para controlar as perdas dos grãos armazenados, há isolados não produtores de aflatoxina (referidos como atoxigênicos) que diminuem o teor dessas substâncias quando usados em formulações de biocontrole (Ortega-Beltran & Bandyopadhyay, 2021), e o *Clonostachys rosea* (Gimeno et al., 2019).

Outra opção aos silos metálicos é a armazenagem de grãos em sacos tipo PICS, capazes de manter a umidade estável durante o período de armazenamento de 6,5 meses. Além disso, os sacos PICS preservam bem as sementes de milho contra o ataque de insetos como *P. truncatus*, *S. zeamais* e *R. dominica* (Baoua et al., 2014).

No caso do processamento do milho, as mudanças climáticas globais têm causado grande preocupação, e uma das alternativas de grande interesse é a produção e o uso da bioenergia, por ser um recurso renovável para substituir os combustíveis fósseis e descarbonizar a atmosfera (Pirelli et al., 2021). As matérias-primas orgânicas oferecem múltiplas oportunidades para a geração de biocombustíveis como o etanol, biodiesel, biogás e o biometano, para o uso final de energia como calor, eletricidade e combustíveis para transporte. Ao contrário de outras energias renováveis, a bioenergia é programável e até certo ponto armazenável (Pirelli et al., 2021).

A utilização de resíduos agrícolas para a produção de bioenergia moderna em larga escala já se consolidou como uma prática comum em muitos países. De acordo com os cenários do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) quanto à implantação de energia de biomassa, os resíduos agrícolas desempenharão um papel importante fornecimento global de energia em longo prazo (Batidzirai et al., 2016). Vários países, como Dinamarca, Reino Unido, Espanha, Suécia, China e Índia desenvolveram instalações de energia de resíduos de culturas em grande escala, utilizando resíduos como a palha de milho, palha de trigo e palha e casca de arroz (Batidzirai et al., 2016).

Outro desafio quanto às fontes agroalimentares, em uma análise de 490 estudos, dos quais a maioria utilizou resíduos de trigo, milho, cana-de-açúcar e arroz, é a competitividade com a silvicultura (Cassoni et al., 2022). A utilização de biomassa, sobretudo do milho, é uma alternativa sustentável para a produção de energia. No entanto, ainda é preciso atribuir um maior valor agregado, para que essa utilização seja vantajosa quanto ao custo-benefício, em comparação a fontes tradicionais (Muylle et al., 2015).

Um importante uso da bioenergia é aquele para a produção de biocombustível que, além de reduzir em até 80% as emissões de CO₂, também pode ser usada para levar desenvolvimento ao pequeno produtor, como é o caso do Selo Social proveniente do Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel no Brasil, voltado para a compra de insumos de pequenos agricultores (Florin et al., 2013).

O etanol de milho consolidou-se como biocombustível, incentivado por políticas governamentais de apoio nos EUA (Chen et al., 2017). O Brasil é destaque mundial na geração de energia com biocombustíveis, graças ao consolidado parque agroindustrial de produção de etanol, a partir da cana de açúcar, e à crescente expansão da produção a partir do milho. O novo modelo híbrido das usinas permite a produção de etanol tanto de cana-de-açúcar quanto de milho (Ekener et al., 2018).

Na União Europeia (EU), as metas estabelecidas de biocombustíveis iniciaram-se com 10% de energias renováveis no sistema de transporte, em 2020, e foram aumentadas para 14%, até 2030, conforme definido na reformulação da Diretiva de Energias Renováveis da União Europeia (Balugani et al., 2022). No entanto, uma crítica ao biocombustível é o deslocamento de áreas destinadas à produção de alimentos para combustível – *feed x fuel* –, porém, isso pode ser remediado por meio dos biocombustíveis de segunda geração, que usam os resíduos do milho; assim, em uma mesma área, há tanto a produção de alimentos quanto de combustível (Chen et al., 2017).

Um ponto ainda pouco explorado é o de adoção do bioplástico; o milho poderá figurar entre as culturas para este fim. No caso de filmes biodegradáveis feitos a partir da goma de xantana, tal adoção se mostra uma alternativa promissora (Soares et al., 2005), visto que os bioplásticos trarão benefícios para reduzir a pegada global de carbono (Bishop et al., 2022).

Prospecção

Com o objetivo de contextualizar a situação em que se encontra a cadeia produtiva do milho no Brasil, em relação às propostas de transição para um modelo de desenvolvimento sustentável, optou-se pela análise da opinião de especialistas no assunto. Tendo como referência os resultados de estudos sobre os recursos necessários para a transição para o modelo proposto, coletaram-se as opiniões de 72 produtores rurais, por meio de questionários, e entrevistaram-se 23 especialistas da cadeia.

A finalidade da comparação entre a opinião dos especialistas brasileiros e dos resultados publicados na literatura acadêmica foi criar, explorar e testar os cenários futuros possíveis e desejáveis para melhorar o processo decisório. Portanto, o presente estudo pode ser classificado como prospectivo (Reis et al., 2016). Neste sentido, o trabalho de prospecção visa interligar várias forças, tendências e fatores condicionantes, a fim de visualizar futuros alternativos (Reis et al., 2016).

Os estudos prospectivos são conhecidos como um modo de “construir conhecimento”, ou seja, buscam agregar valor às informações do presente, transformando-as em conhecimento, para subsidiar os tomadores de decisão e os formuladores de políticas, na construção de suas estratégias, e para identificar rumos e oportunidades futuras para os diversos atores sociais (Silva, 2017).

As entrevistas realizadas foram semiestruturadas e combinadas com perguntas espontâneas. Os especialistas, escolhidos pelo critério da familiaridade com o tema proposto, tiveram o seguinte roteiro de entrevista: Qual é o seu segmento de atuação? Quais são os principais desafios enfrentados no seu segmento? Quanto à sustentabilidade, quais práticas são ou serão adotadas?

Buscando percorrer os elos da cadeia, foram selecionadas instituições que compõem os segmentos de insumos, produção e processamento do milho e, posteriormente, foram selecionados os representantes dos ministérios de maior relevância para o setor: Ministério da Agricultura, da Fazenda e do Meio Ambiente.

As entidades setoriais que participaram das entrevistas realizadas para o presente estudo, estão relacionadas a seguir, para que se possa entender e contextualizar a realidade agrícola brasileira e os desafios para uma cadeia produtiva mais sustentável (Tabela 1).

Tabela 1. Lista de entidades setoriais participantes da entrevista.

Insumos	Produtor Rural	Comercialização
Abimaq	Abramilho	Abiove
Syngenta	Aprosoja	Anec
Renai – Rede de Irrigantes	GASS – Grupo Associado de Agricultura Sustentável	Movimento PróLogística
Corteva		
Bayer		
Processamento	Governo	Pesquisa
Abimilho	Ministério da Agricultura	Embrapa Milho e Sorgo
Abpa	Ministério do Meio Ambiente	Embrapa Cerrados
Sindrações	Ministério da Fazenda	Embrapa Pecuária
Unem		Inspet/USP
Comigo ComBio		UFRGS
		UNB

Assim, o critério da relevância para o segmento de insumos indica, como destaque, as seguintes entidades: a Associação Brasileira da Indústria de Máquinas e Equipamentos (Abimaq); a CropLife; e a Rede Nacional de Irrigantes (Renai), que é composta por representantes de produtores rurais e da indústria de máquinas e equipamentos para irrigação. No âmbito da produção rural, as instituições mais representativas são: a Associação de Produtores de Milho (Abramilho); a Associação de Produtores de Soja e Milho (Aprosoja); e o Grupo Associado de Agricultura Sustentável.

No tocante à comercialização do milho, os destaques são: a Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais (Abiove) e a Associação Nacional dos Exportadores de Cereais (Anec). Relativamente ao processamento do milho, as principais entidades são: a Associação Brasileira das Indústrias do Milho (Abimilho); a Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA); o Sindicato Nacional da Indústria de Alimentação Animal (Sindrações); e a União Nacional do Etanol de Milho (Unem), que congrega as usinas produtoras de etanol de milho.

Os questionários foram dirigidos aos produtores rurais de milho e, ao todo, obtiveram-se respostas de 72 produtores rurais de 15 estados brasileiros distintos, cujas áreas de cultivo somadas corresponderam a 206 mil hectares. Do total de produtores 47 responderam de forma presencial e 25 por meio de um questionário *online* na plataforma Google Forms.

O estado de Mato Grosso – maior produtor de milho –, houve o maior número de entrevistas, com o total de 38 produtores, o que corresponde a 52% dos entrevistados, seguido de Paraná (6), Goiás (6) e Bahia (5).

A seguir representa-se a distribuição dos entrevistados, por unidade da Federação, que responderam ao questionário (Figura 1). As demais regiões apresentam pouca relevância do ponto de vista da produção de milho.

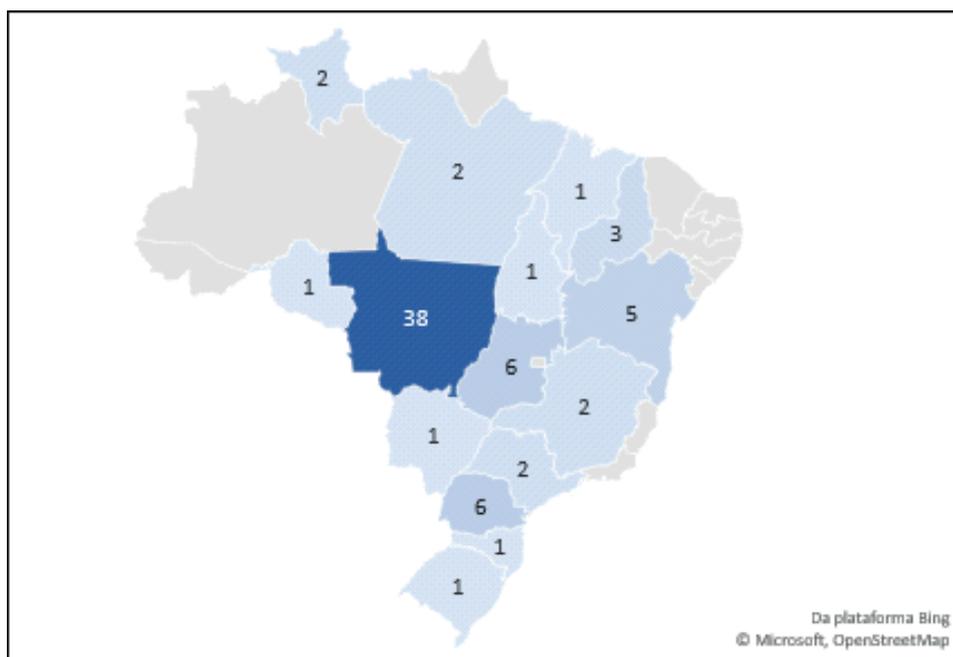


Figura 1. Distribuição dos produtores, por unidade da Federação, que responderam ao questionário.

A seguir estão apresentados os resultados colhidos com as entrevistas e a comparação das respostas com as conclusões da revisão sistemática, para uma análise prospectiva.

RESULTADOS

O arrendamento de terras mostrou-se bastante presente, e seu uso é feito por 65% dos produtores (ou 47 questionários respondidos), ao que se somam 05 produtores sem nenhuma área própria, e outros 18 em que a área arrendada é superior à sua área própria. Das lavouras dos produtores entrevistados 31% estão em áreas arrendadas.

Quanto às culturas plantadas pelos produtores, há 13 culturas distintas e a adoção da pecuária bovina. Todos os 72 produtores afirmaram cultivar soja e 94% plantam milho. A criação de bovinos, seja por meio da integração com a agricultura ou não, está presente em 44% das respostas, seguida pela cultura do feijão em 29%.

No que se refere às práticas agrícolas adotadas nas propriedades, todos os produtores afirmaram realizar o plantio direto, e 61 fazem o cultivo da segunda safra, ou seja, 84% dos produtores. A utilização de insumos biológicos, como inoculantes e bioinsumos, foi a terceira prática mais adotada por 55 produtores ou 76%, seguidos pela rotação de cultura e o plantio de cobertura 52 (72%) e 50 (69%) respectivamente.

Em análise mais profunda e pormenorizada dos resultados, evidenciou-se que os produtores adotam práticas da agricultura regenerativa como o plantio direto, a rotação de culturas e o plantio de cobertura. Porém, algumas ressalvas devem ser feitas; por exemplo, 8 produtores afirmaram fazer a rotação de cultura, porém, informaram cultivar apenas soja e milho, o que indica que se trata de uma sucessão de culturas e não uma rotação propriamente dita.

Outro ponto que chama a atenção é o fato de que 32 produtores informaram fazer a criação de bovinos, porém, apenas 25 responderam que realizam a integração lavoura-pecuária. Além da possibilidade da criação em confinamento ou em pastagens dedicadas, para que haja uma integração verdadeira, é preciso que as pastagens sejam rotacionadas com a lavoura. Esta diferenciação não foi abordada pelos produtores.

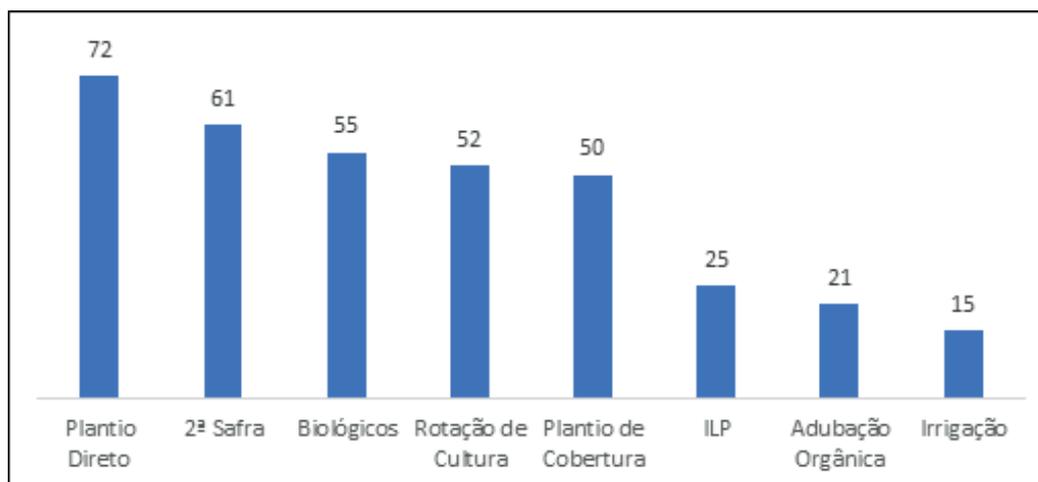


Figura 2. Questionário sobre práticas adotadas.

O elevado uso de insumos biológicos pode estar mais associado ao uso de inoculantes na soja, prática bastante comum no Brasil, do que na adoção de outros bioinsumos. Isto se traduz na baixa adesão ao uso da adubação orgânica, que somou apenas 29%. No tocante à irrigação, notou-se maior variedade de culturas, plantio direto e segunda safra e, entre os 15 produtores que possuem irrigação, apenas 4 não produzem soja, milho e feijão.

Em relação às entrevistas realizadas com 23 especialistas, o primeiro ponto a ser destacado é que há consenso entre os entrevistados sobre a relevância da sustentabilidade e a importância de sua adoção, seja por razão econômica, como forma de contornar possíveis barreiras, seja por necessidade de adequação à demanda dos consumidores.

Segundo o Departamento de Produção Sustentável e Irrigação (Depros/SDI) do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), a pasta adotou uma série de políticas de descarbonização, como o Plano Agricultura de Baixo Carbono (ABC), Crédito de Carbono, Irriga Mais e Pronasolo. O Plano ABC surgiu em 2010, com foco nas tecnologias do plantio direto, integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), floresta plantada, biofertilizantes, irrigação e recuperação de pastagens degradadas. “Para operacionalizar os referidos programas, o Ministério criou um grupo de gestores estaduais do Plano ABC +, para customizar o plano de acordo aos biomas brasileiros” (informação verbal)⁴.

Ainda quanto ao Ministério da Agricultura, cabe acrescentar que o Departamento de Apoio à Inovação para Agropecuária (Diagro/MAPA), em parceria com o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), está trabalhando no Programa Nacional de Proteínas Alternativas, que contou com um processo participativo desenvolvido por meio de uma audiência pública e diversos *workshops*.

Destaca-se quanto às proteínas alternativas a tendência para o futuro, para atender as demandas crescentes por proteínas, decorrentes do aumento populacional, seja por meio dos *plant-based*, como por meio de carnes cultivadas em laboratório, ou “*meat growers*”. Algumas empresas de destaque já adotam o *plant-based* no Brasil, como são os casos da Burger King, JBS e BR Foods. “Quanto ao mercado de carne cultivada, Singapura e Israel foram os primeiros países a adotarem esta tecnologia em larga escala. No caso do Brasil, a expectativa é que deverá chegar aos supermercados no ano 2024” (informação verbal)⁵.

⁴Informação da Diretora do Departamento de Produção Sustentável e Irrigação (DEPROS/SDI/MAPA) em entrevista ao autor em 22/03/2022.

⁵Informação da Diretora do Departamento de apoio à Inovação para Agropecuária (DIAGRO/MAPA) em entrevista ao autor em 12/04/2022.

No âmbito do Ministério do Meio Ambiente, a Secretaria de Clima e Relações Internacionais (SCRI/MMA) atua em diversas frentes, como o Programa Floresta Mais, Mercado de Carbono e a redução de metano. Recentemente, publicou-se o Decreto do Plano de Mitigação de Emissões, que será integrado ao Sistema Nacional de Redução de Emissões de Gases de Efeito Estufa (Sinare), as informações do Sistema de Registro Nacional de Emissões (Sirene) e o Programa de Registro do GHG Protocolo. “O Plano de Mitigação de Emissões traz um roteiro de como os setores irão chegar a 2050, cria uma Central Única de Registro do Mercado de Carbono e estabelece os parâmetros mínimos para os registros” (informação verbal)⁶.

A Subsecretaria de Política Agrícola e Negócios Agroambientais do Ministério da Economia (SPAN/SPE/ME) têm em sua agenda a possibilidade da monetização de ativos ambientais. Ressalte-se que, para tanto, é importante a homologação do Cadastro Ambiental Rural (CAR), para que se possa dar maior credibilidade, transparência e agilidade a tal monetização. A intenção é que se consiga que as compensações ambientais, destinadas a reservas ambientais, possam ser negociadas em bolsa. Importa ressaltar que o Ministério da Fazenda, em parceria com o Ministério da Agricultura, criou a Cédula do Produtor Rural (CPR) Verde; trata-se de um título de crédito feito para financiar atividades de reflorestamento e a manutenção de vegetação nativa em propriedades rurais. Por meio da CPR Verde, os produtores rurais podem ter incentivos para preservar o meio ambiente, em troca de recursos financeiros. A CPR Verde é um documento que permite a negociação de “entregáveis ambientais”, ou seja, a remuneração por ações como a preservação de nascentes, a biodiversidade, a redução de gases do efeito estufa, entre outros, a partir de títulos verdes que representam a floresta em pé ou a mata-nativa existente em uma determinada propriedade rural ou, até mesmo, em reservas legais. “Em outras palavras, é o chamado “pagamento pela floresta em pé”, em que o produtor rural que preserva a vegetação nativa recebe recursos financeiros em troca” (informação verbal)⁷.

A Embrapa Milho e Sorgo destacou o desenvolvimento de novas variedades de milho, sorgo e milheto. No caso do milho, destacam-se: a cultivar ‘BRS 304’ – híbrido triplo de milho resistente ao acamamento e ao quebraamento; o milho ‘BRS Gorutuba’ voltado para pequenos produtores do Sertão do Nordeste; bem como o milho ‘BRS Caimbé’, também voltado para pequenos agricultores, tanto para a safra de verão quanto para a segunda safra; o milho ‘BRS Caatingueiro’ para regiões áridas; e o milho ‘BR 205’, tolerante à toxidez de alumínio e ao estresse hídrico.

Além do desenvolvimento de cultivares mais adaptadas a cada região brasileira, outro trabalho importante publicado em 2022 foi o “Controle biológico de pragas do milho: uma oportunidade para os agricultores”: “De forma resumida, são apresentadas quatro estratégias de controle de pragas: parasitoides, predadores, controle biológico conservativo com plantas secundárias e microrganismos. Este guia desponta como uma excelente ferramenta de manejo sustentável das lavouras de milho” (informação verbal)⁸.

Segundo a Embrapa Cerrados e membro da Rede Nacional de Irrigantes (Renai), a irrigação tem um papel fundamental na sustentabilidade, uma vez que permite a intensificação da produção em uma mesma área, tornando possível duas e até três safras em um mesmo ano. Comentou-se que, caso acabasse a irrigação no mundo, seria necessária a abertura de mais 300 milhões de hectares, para suprir o que é hoje produzido pela irrigação. Ressaltou-se que há também um avanço importante na tecnologia empregada, que permite maior eficiência no uso da água. “Outras iniciativas importantes são a adoção de painéis solares para funcionamento de pivôs de irrigação e o uso de luz de led, que permite que mesmo em períodos de escassez hídrica haja um incremento na produtividade. Esta tecnologia já está sendo usada no Brasil e tem crescido substancialmente” (informação verbal)⁹.

⁶Informação do Secretário Adjunto da Secretaria de Clima e Relações Internacionais do Ministério do Meio Ambiente (SCRI/MMA) em entrevista ao autor em 16/06/2022.

⁷Informação do Subsecretário de Política Agrícola e Negócios Agroambientais do Ministério da Economia (SPAN/SPE/ME) em entrevista ao autor em 15/06/2023.

⁸Informação do Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo em entrevista ao autor em 15/06/2022.

⁹Informação do Pesquisador da Embrapa Cerrados em entrevista ao autor em 21/03/2023.

Além do seu papel na produção de alimentos, a irrigação também permite o acúmulo de água do período chuvoso, para uso no período de estiagem, que pode ser direcionado para atender as cidades e centros urbanos. No entanto, o Brasil ainda precisa evoluir muito na legislação bastante restritiva, no acesso a financiamento e energia elétrica estável e confiável.

Do ponto de vista da pecuária, a Diretoria Executiva de Gestão Institucional da Embrapa Pecuária trabalha visando uma pecuária sustentável, que preserve o meio ambiente e seja neutra em carbono. A programação envolve três frentes de melhoria: a genética dos animais (que emitem menos), a nutrição (maior absorção e otimização) e a redução do ciclo de vida dos animais. “Já se adota o modelo de integração lavoura-pecuária em 17 milhões de hectares no Brasil, e espera-se que em menos de 5 anos estas práticas sejam disseminadas pelo país, tornando-se preponderante no meio rural” (informação verbal)¹⁰

Na concepção do Insper/UsP, há uma crescente exigência por cadeias produtivas coordenadas que visam adequar-se às mudanças climáticas, à necessidade do aumento da produtividade e à garantia da segurança alimentar, que serão elementos-chave para a transição agroecológica. Neste sentido, projeta-se que a integração lavoura-pecuária será um elemento-chave que possibilitará que 100 milhões de hectares sejam poupados e, que neste caminho, o Brasil se tornará exemplo de sustentabilidade, servindo de exemplo para outros países, principalmente tropicais, como os do continente Africano e da Ásia.

No entanto, o Brasil ainda precisa enfrentar as questões do desmatamento e da invasão de terras. “Avanços importantes estão ocorrendo no setor privado, porém, ainda é preciso que o governo faça o seu papel e implemente o Código Florestal de forma integral”, conforme pesquisador do Insper/UsP (informação verbal)¹¹.

Segundo Ernst Gotsch, agricultor e pesquisador suíço, criador do conceito de agricultura sintrópica e agrofloresta, o Brasil precisa passar por uma transição em seu modelo produtivo e, neste sentido, a rotação de cultura e o consórcio de diversas variedades são fundamentais. Algumas práticas já testadas trazem benefícios ecológicos e econômicos para o produtor, tais como o consórcio de milho com capim ou do algodão com frutas como o caju ou a manga, a introdução do eucalipto ou outro elemento florestal, junto à produção de bovinos, também se mostra bastante efetiva para garantir disponibilidade de capim de qualidade, por um período de tempo maior que o convencional, e melhor qualidade de vida para os animais pelo sombreamento. (informação verbal)¹².

Estas práticas citadas podem ser adotadas por todos os países, inclusive em regiões semiáridas, como é o caso do uso da planta palma forrageira, um cacto presente no Nordeste brasileiro, voltado para a alimentação animal durante todo o ano. “No entanto, uma prática antiga no Brasil que precisa ser combatida é o uso do fogo na agricultura. Estima-se que cerca de 98% dos casos de queimadas são provocados, já que a queimada por motivos naturais é rara e em muitos casos não se alastra como as praticadas pelo ser humano” (informação verbal)¹³.

Trabalhos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) abordam, também, a temática da mudança de percepção dos consumidores que pressionam por uma mudança do sistema alimentar, voltado para uma agricultura sensível à nutrição. Os referidos trabalhos indicam que a agricultura precisa se centrar na produção de alimentos de qualidade e na adequada distribuição dos alimentos. Esta nova agricultura terá três pilares: a mudança climática, o aumento da urbanização e a saúde e nutrição das pessoas (informação verbal)¹⁴.

¹⁰Informação do Diretor Executivo de Gestão Institucional da Embrapa Pecuária Sul em entrevista ao autor em 08/03/2022.

¹¹ Informação do Professor e Pesquisador do Insper/USP em entrevista ao autor em 16/03/2022.

¹² Informação do Pesquisador, agricultor e criador da Agricultura Sintrópica, Ernst Gotsch, em entrevista ao autor em 07/03/2023.

¹³ Informação do Pesquisador, agricultor e criador da Agricultura Sintrópica, Ernst Gotsch, em entrevista ao autor em 07/03/2023.

¹⁴ Informação de Professor e Pesquisador da UFRGS em entrevista ao autor em 06/06/2023.

O mundo passa por uma epidemia de obesidade, registrando mais de 1 bilhão de pessoas nesta condição e, com a urbanização crescente, até 2030 este problema deve ser agravado. “Os consumidores são os agentes desta mudança, e deve haver uma aproximação entre a agricultura e a gastronomia, que vise adequar a produção de alimentos a dietas mais saudáveis. Alguns conceitos importantes, como o EcoChefs, são colocados em prática, por meio do Programa Nacional de Alimentação Escolar (PNAE), e estas novas dietas devem ser introduzidas ainda na infância para formar adultos mais conscientes” (informação verbal)¹⁵.

No setor de insumos, empresas como Syngenta, Corteva e Bayer são importantes atores para a promoção da sustentabilidade, ainda no início da cadeia e, por isso, foram foco de entrevista no presente estudo. A visão de uma agricultura positiva ou sustentável que adote práticas como o plantio direto, o manejo de plantas de cobertura, a rotação de cultura e a integração lavoura-pecuária-floresta, são elementos essenciais para alcançar uma agricultura do futuro mais consciente. “Neste sentido, o Programa Reverte, por exemplo, busca recuperar 1 milhão de hectares de pastagens degradadas no Cerrado” (informação verbal)¹⁶.

Outra ação relevada é o Projeto Prospera, que visa impulsionar a produção de milho nos estados de Alagoas, Paraíba, Rio Grande do Norte e Ceará. Estes estados produzem aproximadamente 900 mil toneladas de milho anualmente, para uma demanda de mais de 6,6 milhões de toneladas para atender, principalmente, os setores aviário e pecuário. Esta deficiência faz com que o preço do milho nesses estados seja um dos mais altos do Brasil. O Projeto Prospera já atendeu 3.500 produtores e tem como objetivo beneficiar mais de 50 mil pequenos agricultores, nos próximos cinco anos, com ações que envolvem a capacitação dos pequenos agricultores em técnicas modernas de plantio e comercialização dos grãos.

A produtividade média de milho nos referidos estados é de apenas 13 sacas por hectare, enquanto os produtores participantes do Programa Prospera conseguiram ampliar esse número para 80 sacas por hectare. Em 2019, o programa firmou um acordo de cooperação com universidades e escolas técnicas locais, para capacitar também os estudantes, que serão os futuros profissionais do campo e fortalecerão este sistema produtivo de alto rendimento em longo prazo (informação verbal)¹⁷.

O Projeto Pró Carbono é outro exemplo de esforço que envolve os setores público e privado e conta com a participação dos centros de pesquisa Embrapa Agricultura Digital, Embrapa Instrumentação e Embrapa Meio Ambiente. A ênfase do Programa é o avanço das técnicas de amostragem e quantificação do carbono no solo, na modelagem e simulação, na realização de balanço de carbono com base na análise de ciclo de vida e, principalmente, no subsídio a uma agricultura de baixa emissão de carbono.

Do ponto de vista institucional, conseguiu-se um relevante avanço com a criação de uma rede de colaboração técnico-científica Pró Carbono, formada por 70 consultorias, 32 pesquisadores, 23 bolsistas de mestrado e doutorado e 10 instituições parceiras. “Pretende-se atingir os objetivos, incentivando as boas práticas de manejo para uma agricultura sustentável baseada em três pilares: ausência de revolvimento do solo, cobertura do solo e rotação de culturas que irão resultar em aumento no sequestro de carbono” (informação verbal)¹⁸.

Do ponto de vista dos produtores rurais, a Associação Brasileira dos Produtores de Milho (Abramilho) ressalta que o Brasil pratica uma agricultura sustentável, com diversas práticas que merecem destaque, tais como o plantio direto, o uso de bioinsumos e a realização do plantio subsequente de soja e milho. Em razão do armazenamento de nitrogênio no solo, promovido pela soja, esta prática pode resultar em uma redução de até 100 quilos de nitrogênio por hectare para a cultura do milho.

¹⁵ Informação de Professor e Pesquisador da UFRGS em entrevista ao autor em 06/06/2023.

¹⁶ Informação do Diretor de Sustentabilidade da Syngenta em entrevista ao autor em 05/04/2023.

¹⁷ Informação do Diretor de Relações Institucionais da Corteva em entrevista ao autor em 25/04/2023.

¹⁸ Informação do Diretor de Sustentabilidade da Bayer em entrevista ao autor em 16/05/2023.

O uso de inoculantes e a agregação de valor ao cereal também ganham força no país. “Se comparado com países avançados, como os Estados Unidos, maior competidor do Brasil, a agricultura brasileira desponta no quesito sustentabilidade. O Brasil também se destaca na produção *on farm* de bioinsumos como biodefensivos e biofertilizantes” (informação verbal)¹⁹.

A Associação de Produtores de Soja e Milho do Brasil (Aprosoja Brasil) destaca que a agricultura brasileira é sustentável, se comparada com outros países com altas produtividades, porque se adotam práticas conservacionistas do solo como o plantio direto, sequestro de carbono, recarga de aquíferos que evita erosão e reduz a lixiviação, por diminuir a necessidade do revolvimento do solo. “O Brasil também é pioneiro na adoção de bioinsumos. Os biopesticidas são utilizados em cerca de 20 milhões de hectares, com o uso de bactérias BT, de fungos e insetos como a *Trichogramma* spp.” (informação verbal)²⁰.

A Aprosoja também chama a atenção para o fato de o Brasil utilizar menos de 9% da área do país com agricultura e conta com preservação nas propriedades, que variam de 20 a 80% da área que é destinada à preservação. Cerca de 49% da área preservada do país está dentro das propriedades rurais, ao que se agregam as matas ciliares nas margens de rios e as nascentes. Também destaca que as referidas práticas conservacionistas do Brasil não são respeitadas nos principais competidores brasileiros, como Estados Unidos, Argentina, Canadá e Europa (informação verbal)²¹.

O Grupo Associado de Agricultura Sustentável (GAAS) registra que está implementando práticas sustentáveis em larga escala com seus associados. O intuito é diminuir o uso de produtos químicos, por meio dos microrganismos que enriquecem a biota do solo. Utiliza-se também a aplicação de matéria orgânica no solo seja por meio da adubação ou plantio de cobertura e o uso de remineralizadores. A adoção destas práticas permite reduzir o uso de diversos produtos químicos como fungicidas, aplicações foliares e para tratamento de sementes. “Esses microrganismos são capturados na natureza e, posteriormente, podem ser multiplicados na própria propriedade, “*on farm*” ou adquiridos no mercado. Isso se traduz também na redução de custos para os produtores, que podem chegar a usar apenas uma aplicação de pesticidas ou até mesmo a não aplicar qualquer produto químico na lavoura.” (informação verbal)²².

No âmbito da produção de aves e suínos, segmentos que são os principais destinos do milho brasileiro, algumas iniciativas para dar maior sustentabilidade são: o Programa Alimento a Esperança, o Protocolo de Bem-Estar para Aves Poedeiras, o Selo Mais Integridade, o Programa ABPA de Incentivo às Práticas Sustentáveis e o Good Food For The People And The Planet. Foi elaborado também um guia voltado para a implantação de sistemas de energia fotovoltaica em granjas e propriedades rurais. Referido material foi produzido em parceria com a Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (Absolar) e traz informações sobre pontos de atenção, *payback* e linhas de financiamento. “Em outra frente, na indústria e frigoríficos, também se promove o Selo Mais Integridade que é uma premiação mantida pelo Ministério da Agricultura para estimular a transparência setorial, reconhecendo práticas de integridade voltadas para a responsabilidade social, sustentabilidade ambiental e ética” (informação verbal)²³.

No tocante à fabricação de rações, grande parte da produção de ração hoje no Brasil é destinada ao mercado interno, com uma pequena parte que é exportada para países vizinhos, principalmente a ração para *pets* e aquicultura. O setor também promove o evento *FeedLatina*, no qual se reúnem as empresas de ração de toda a América Latina, com o objetivo principal de construir princípios de equivalência e padronização. O setor segue as normas do Ministério da Agricultura e também incorporou as práticas europeias a partir de 2006. “Assim, se pode afirmar que a ração brasileira

¹⁹Informação do Diretor Executivo da Associação Brasileira dos Produtores de Milho (Abramilho) em entrevista ao autor em 27/04/2022.

²⁰Informação do Diretor Executivo da Associação Brasileira dos Produtores de Soja (Aprosoja-Brasil) em entrevista ao autor em 27/04/2022.

²¹Informação do Diretor Executivo da Associação Brasileira dos Produtores de Soja (Aprosoja-Brasil) em entrevista ao autor em 27/04/2022.

²²Informação do Diretor do Grupo Associado de Agricultura Sustentável (GAAS) em entrevista ao autor em 06/04/2023.

²³Informação de Relações Institucionais da Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA) em entrevista ao autor em 11/04/2023.

está em linha com as exigências internacionais da Federação Internacional de Alimentação Animal, que estabelece parâmetros mundiais, e isso fez com que a imagem da ração brasileira mudasse nos últimos anos” (informação verbal)²⁴.

Ainda no que se refere ao consumo interno do cereal, os biocombustíveis têm um papel fundamental na transição energética e na pegada de carbono. A rota de produção do milho segunda safra transformou o território onde se localizam as usinas de etanol. As mencionadas refinarias agregam bastante valor ao grão, pois, além do biocombustível, produz também o farelo de milho, ou *dried distillers grains* (DDG), que tem incrementado a produção de bovinos, aves e suínos e resulta em um ciclo virtuoso, em que o grão produzido também é consumido internamente, o que reduz significativamente a emissão de CO₂.

Outro ponto importante em que o Brasil é pioneiro é a forma pela qual o Brasil produz um dos combustíveis mais limpos do planeta. Trata-se do Programa Renovabio, que regulamenta as emissões de créditos de carbono (CBIOS). Assim, há uma mitigação do carbono emitido que passa por uma rastreabilidade que se inicia na fazenda, segue pelo transporte até as refinarias que posteriormente vai para o posto de abastecimento para atender à população brasileira (informação verbal)²⁵.

Um insumo essencial para o funcionamento das usinas de etanol é a biomassa para a queima. Cooperativas como a Comigo, do Estado de Goiás, passaram a desenvolver projetos para a geração de energia com combustível renovável. Entretanto, a biomassa florestal ainda é a principal fonte. O eucalipto, por meio do cavaco, viabiliza a produção de 1,8 bilhão de toneladas de biomassa, seguido pelo pinus, com cerca de 1,8 milhão de toneladas. Novas alternativas têm sido buscadas, para contornar o elevado preço do cavaco e do bagaço como o plantio de bambu, que tem-se mostrado promissor, em razão de seu ciclo mais curto do que o do eucalipto e do pinus.

O uso de resíduos agrícolas para a produção de biomassa tem-se apresentado como uma possível saída para baratear os custos e aumentar a sustentabilidade das indústrias. As laranjeiras, por exemplo, devem ser cortadas após 25 anos de plantio, para evitar a proliferação de doenças e, desta forma, estima-se que seja possível uma produção de até 1,3 milhão de toneladas por ano de cavaco proveniente destas laranjeiras. No caso do café, a utilização da borra e a casca produzem 3,7 milhões de toneladas por ano de biomassa, que podem ser utilizadas para a geração de energia. O caroço do açaí também é uma opção para a região Norte, pois tem o potencial de gerar 220 mil toneladas de biomassa por ano. Para a região Sul, um produto com potencial é a casca de arroz, que pode suprir as indústrias com 2,45 milhões de toneladas de biomassa por ano.

Outro setor importante no processamento de milho, não pelo seu volume, mas pela sua presença no prato dos brasileiros, é a indústria voltada à alimentação humana. O consumo *per capita* brasileiro, de fato, não atinge os vinte quilos anuais por habitante. “Como medida de comparação, o México, país com características socioeconômicas similares às do Brasil, registra média de consumo per capita 3,5 vezes maior, situando-se na faixa dos 63 quilos anuais”, conforme a Associação das Indústrias de Milho (informação verbal)²⁶.

Para mudar este quadro, a Associação da Indústria de Milho vem operando em diversas frentes, num esforço de comunicação que envolve desde a distribuição de material informativo, para veículos de imprensa e publicações dirigidas, cursos com nutricionistas e donas de casa até ações de divulgação envolvendo alunos do ensino fundamental.

Relativamente à exportação de milho, na ótica dos exportadores de cereais, há uma grande pressão pela rastreabilidade dos produtos por parte do mercado consumidor internacional, de tal forma que se possa comprovar que não são provenientes de áreas de desmatamento e que seguem preceitos sustentáveis. Um exemplo é a moratória da soja, que impede a compra de grãos provenientes de

²⁴ Informação de Relações Institucionais e Governamentais do Sindrações em entrevista ao autor em 21/03/2023.

²⁵ Informação do Presidente da União Nacional do Etanol de Milho (UNEM) em entrevista ao autor em 15/06/2022.

²⁶ Informação do Presidente da Associação Brasileira das Indústrias do Milho (Abimilho) em entrevista ao autor em 16/03/2022.

áreas abertas após 2008 e que, também, passou a ser adotada para o milho. “Produtores que fizeram a abertura após 2008, diante da impossibilidade da comercialização de soja, passaram a plantar milho, o que contribuiu para a ampliação da área cultivada. Para contornar isso, criou-se o Protocolo Verde de Grãos, do estado do Pará, que abrange soja, milho e arroz, o qual adota os mesmos princípios”, conforme a Associação Nacional de Exportadores de Cereais (informação verbal)²⁷.

“O Protocolo do Pará está em vigor há 8 anos e conta com a parceria do Ministério Público Federal, Green Peace, WWF e Aflora, entre outros. Neste caso, os grãos produzidos no Pará devem cumprir uma série de critérios: não pode haver sobreposição com terras indígenas e unidades de conservação, estar de acordo com o Prodis, não pode ter embargo no Ibama, tampouco registro de desmatamento ilegal na Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade do Estado do Pará (Semas)” (informação verbal)²⁸.

Além do controle do desmatamento, algumas certificações também estão sendo adotadas como forma de comprovação de práticas sustentáveis na produção do milho, como a Certificação RTRS, FSC, CCIC, Protocolo Pró Terra e o *Rainforest Alliance Certified*. Estas certificações, além dos aspectos ligados ao meio ambiente, também abordam a promoção social e práticas agrícolas amigas do meio ambiente.

Estas certificações também são adotadas no segmento da indústria de óleo vegetal, que atua também na comercialização de grãos em geral. Somadas à Abiove e à Anec, respondem por 90% do poder de compra e financiamento de lavouras de soja e milho no Brasil. Diversos programas de sustentabilidade, como o Agro Plus, foram desenvolvidos. Anteriormente o programa restringia-se à Soja Plus, mas foi ampliado para milho, pecuária, algodão, café e cana de açúcar. O Programa está em vigor há 11 anos e está presente em mais de cinco mil propriedades, em oito estados brasileiros. Trata-se do maior serviço privado de assistência técnica do Brasil, que proporciona capacitação técnica e assistência no cumprimento legal das leis trabalhistas, ambientais e sociais.

A Moratória da Soja está em vigor há 15 anos e limita produtos provenientes de desmatamento na Amazônia, sendo mais rigorosa que a legislação brasileira, pela qual se aplica mesmo para desmatamentos legais com licenciamento.

A maior exigência vem do mercado europeu, o qual compra 54% do farelo de soja exportado pelo Brasil e gera receitas da ordem de 9 bilhões de dólares. Importantes consumidores são McDonalds, Walmart, Carrefour, Danone, Nestlé e Unilever, que exigem produtos livres de desmatamento e conflitos com terras indígenas. Inicialmente o foco era somente com a Amazônia, mas nos últimos cinco anos cresceu também a preocupação com o Cerrado. Dados da Embrapa mostram que 82% do milho é plantado em seguida ao cultivo da soja, portanto, esses critérios são aplicados tanto para soja quanto milho (informação verbal)²⁹.

Nota-se, pelas falas dos entrevistados, uma preocupação com a temática da sustentabilidade e algumas iniciativas importantes adotadas no Brasil, ao longo dos elos da cadeia produtiva do milho, que vão desde práticas agrícolas a mecanismos de certificação voltados controle do desmatamento.

Análise de tendências

Na comparação entre os estudos analisados e a percepção dos produtores rurais e dos atores do elo da cadeia produtiva, nota-se claramente que houve um avanço brasileiro nos seguintes quesitos: biotecnologia, redução de fertilizantes nitrogenados, rotação de culturas e biocombustível.

Ainda que a biotecnologia seja um tema não pacificado teoricamente, os artigos analisados, sobretudo aqueles referentes ao continente africano, apontam para a necessidade de se buscar uma

²⁷Informação da Diretora de Qualidade e Biotecnologia da Associação Nacional dos Exportadores de Cereais (ANEC) em entrevista ao autor em 04/05/2022.

²⁸Informação do Diretor de Sustentabilidade da Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais (Abiove) em entrevista ao autor em 05/04/2023.

²⁹Informação do Diretor de Sustentabilidade da Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais (Abiove) em entrevista ao autor em 05/04/2023.

solução tecnológica que permita o aumento da produtividade das lavouras do continente. Nesse sentido, o Brasil se destaca no contexto comparativo, pois utiliza intensamente a biotecnologia na cultura do milho, em área superior a 90% das lavouras (Abimilho, 2021).

A fixação biológica de nitrogênio no solo – de cerca de 35 quilos por hectare, promovido pelas leguminosas como a soja – permite que haja uma redução da aplicação de fertilizantes nitrogenados, que são indicados como grandes causadores da emissão agrícola de carbono na atmosfera (Acevedo-Siaca & Goldsmith, 2020). Somado a isso, o uso de inoculantes como a bactéria promotora de crescimento de plantas, *Azospirillum brasilense*, proporciona uma redução de até 20 kg de nitrogênio por hectare (Fibach-Paldi et al., 2012). O uso de inoculantes é uma prática comum nas lavouras brasileiras; dos 72 produtores questionados, 76% afirmaram utilizar biológicos como inoculante.

No quesito rotação de culturas, a análise dos questionários mostrou um resultado relevante, que identificou que este modelo é praticado por 72% dos produtores e que o uso da integração lavoura-pecuária é adotado por 34% dos produtores. No entanto, é preciso diferenciar a rotação de culturas com a sucessão de culturas. Nota-se, no Brasil, uma prevalência da sucessão de culturas, que pode ser observada na crescente área de cultivo de soja e milho, em detrimento de outras culturas. Cabe registrar que a área de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) está aumentando, e espera-se que até 2030 chegue a 35 milhões de hectares, superando toda a área dedicada ao plantio de milho no Brasil que, atualmente, é de 22 milhões de hectares (Rede ILPF, 2021).

A produção de biocombustível no Brasil é referência mundial, registrando-se um crescimento expressivo nos últimos anos, a partir do aumento da produção do etanol de milho. Além do etanol proveniente do milho e da cana-de-açúcar, deve-se considerar, ainda, que a soja, a palma e o sebo bovino também contribuem na produção de biodiesel. Há uma grande vantagem no uso de etanol de milho para combustível porque o resíduo da produção é usado para a produção de grande volume de *dried distillers grain* (DDG) que é absorvido pela pecuária.

Para a comparação entre a revisão sistemática da literatura e o contexto brasileiro, extraído a partir das entrevistas e questionários aplicados neste estudo, adotou-se a classificação, conforme o grau de atendimento aos pressupostos apontados pela literatura, em três níveis: plenamente, parcialmente e não atendido (Tabela 2).

Tabela 2. Comparação entre a revisão sistemática da literatura e o contexto brasileiro.

Tema	Contexto brasileiro	Atendido
Biotecnologia	Largamente usado	Plenamente
Redução de nitrogênio	Inoculantes e rotação soja/milho	Parcialmente
Rotação de culturas	ILPF	Parcialmente
Biogás	Milho pouco usado	Parcialmente
Perdas e desperdícios	Deficit de armazenagem	Não Atendido
Bioenergia	Milho pouco usado	Não Atendido
Agricultura Digital	Falta maior conectividade no campo	Parcialmente
Biocombustível	Etanol de milho	Plenamente
Redução de CO ²	ILPF/rotação de culturas	Parcialmente
Bioplástico	Milho pouco usado	Não Atendido

As conclusões evidenciam que, se por um lado os temas biotecnologia, redução de fertilizantes nitrogenados, rotação de culturas e biocombustível estão em elevado grau de adoção no Brasil, outras práticas relevantes ainda precisam avançar, como são os casos de redução de perdas e desperdícios, agricultura digital, redução de CO² e produção de bioplástico.

Na produção de biogás e geração de bioenergia a partir do milho, um dos fatores limitantes é o fato de que vai contra aos preceitos do sistema de plantio direto, amplamente utilizado no Brasil e que preconiza a manutenção da palhada e dos resíduos no solo como forma de melhoria da fertilidade.

Outro tema importante é o déficit de armazenagem e de infraestrutura, especialmente o relativo às estradas, o que explica uma das principais causas de perdas do cereal no Brasil. Estimativas apontam para uma perda de 1,5 milhão de toneladas de soja e 1,3 milhão de toneladas de milho que se perdem no transporte por estradas, todos os anos, devido a uma infraestrutura de qualidade deficiente (Machado Junior & Reis Neto, 2021).

Já o déficit entre a produção de grãos e a capacidade de armazenamento, que atualmente é de mais de 100 milhões de toneladas, pode e deve ser diminuído a partir do aumento das instalações de armazenagem dentro das propriedades (Machado Junior & Reis Neto, 2021). Trata-se de questão-chave para mitigar as perdas e para garantir a qualidade dos grãos. Comparativamente a outros países, Brasil registra grande atraso, pois apenas 15% das instalações de armazenagem são localizadas nas fazendas, enquanto em outros países como Canadá alcança 85%, Estados Unidos atinge a 65%, continente europeu é de 50% e na vizinha Argentina está em 40% (Boletim Logístico, 2021).

No que se refere à tecnologia na agricultura (ou Agro 4.0 como é também denominada), o Brasil conta com parques industriais e maquinários de ponta. Porém, a falta de conectividade no campo, infraestrutura de comunicação e de energia elétrica estável ainda restringem o uso pleno das tecnologias que estão à disposição (Milanez et al., 2020).

Quanto à redução de emissões de CO², algumas práticas citadas anteriormente mitigam e auxiliam o sequestro de carbono, tais como: redução de fertilizantes nitrogenados, plantio direto, rotação de culturas, plantio de cobertura, ILPF e os biocombustíveis. Políticas de descarbonização das cadeias do agronegócio vêm sendo adotadas no Brasil, no entanto, é preciso avançar na regulamentação do mercado de carbono, no pagamento dos créditos de descarbonização e na expansão do Plano de Agricultura de Baixo Carbono (ABC).

A produção de bioplásticos a partir do milho ainda é incipiente no Brasil. O uso da cana-de-açúcar e de fontes florestais predominam. São necessárias políticas públicas voltadas para o estímulo da produção de bioplástico a partir do milho, para que as usinas produtoras de etanol tenham interesse em investir na tecnologia. Sem um mercado garantido, a concorrência com outros usos do milho continuará marginalizando a produção de bioplástico.

As principais ações, em que a cadeia nacional do milho apresenta suas maiores limitações, estão listadas a seguir como pontos de atenção, os quais podem acelerar o processo transitório para uma cadeia produtiva do milho mais sustentável no Brasil:

- Expandir a ILPF e o Plano ABC.
- Encontrar soluções para o plantio direto sem herbicidas.
- Ampliar a produção de nitrogênio verde e amônia verde.
- Finalizar a validação do Cadastro Ambiental Rural (CAR).
- Ampliar o monitoramento da qualidade da água.
- Eliminar o desmatamento ilegal.
- Regulamentar o mercado nacional de carbono.
- Ampliar o acesso a alimentos.
- Superar o *deficit* de armazenagem.
- Criar políticas públicas para a produção de bioplástico.
- Criar a rastreabilidade na cadeia do milho.
- Incentivar a indústria ecológica e o processamento sustentável.

CONCLUSÕES

A avaliação da literatura selecionada e dos depoimentos nas entrevistas e questionários levaram à conclusão geral e objetiva de que o Brasil está relativamente bem posicionado, no que concerne à prática de agricultura sustentável, adoção de tecnologia, modelo energético e legislação ambiental. O trabalho logra o seu objetivo ao elencar ações pertinentes para acelerar a transição.

Um ponto importante percebido durante a aplicação das entrevistas e questionários é o de que, se por um lado, nas lavouras, as práticas sustentáveis estão ganhando espaço, no processo industrial dentro das agroindústrias não se percebeu um engajamento para mudar a forma de se produzir, mas sim de mitigar as externalidades negativas do processo produtivo. É evidente que é necessário ainda um estudo futuro, focado no aprofundamento da questão, abrangendo um maior número de representantes da agroindústria do milho.

No que tange à produção sustentável, os destaques que têm sido mencionados no sistema produtivo são a prática inovadora da integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), a rotação de culturas, o plantio de cobertura, o uso de bioinsumos, a fixação biológica de nitrogênio e o plantio direto. No entanto, no caso do plantio direto, há um grande desafio a ser vencido que é a redução no uso de herbicidas.

Além da adoção de boas práticas de manejo nas lavouras, ainda é preciso concluir a implantação do Código Florestal e do Programa de Regularização Ambiental. Apesar do rigor do Código Florestal, ainda está pendente a validação do Cadastro Ambiental Rural (CAR). Na questão do desmatamento ilegal, o Brasil ainda tem dificuldades para controlar esta prática, fruto da grilagem de terra, extração de madeira e a mineração ilegal.

Quanto à redução de emissões de CO², algumas práticas citadas anteriormente mitigam e auxiliam o sequestro de carbono, no entanto, é preciso avançar na regulamentação do mercado de carbono, no pagamento dos créditos de descarbonização e na expansão do Plano de Agricultura de Baixo Carbono (ABC).

No que se refere ao transporte sustentável, destaca-se que os veículos elétricos serão tão limpos quanto o insumo utilizado para a produção da energia elétrica. No caso do Brasil, que ainda enfrenta dificuldades na infraestrutura de fornecimento de energia e por ser um país de dimensões continentais, os veículos híbridos abastecidos também com biocombustíveis constituem um trunfo na diminuição substancial das emissões de CO².

O expressivo aumento da produção dos alimentos essenciais derivados do milho reforça a afirmativa de que, a rigor, não há falta na disponibilidade de alimentos no Brasil e, sim, falta de acesso por parte da população mais vulnerável, o que nos induz à conclusão de que há necessidade de ações e políticas que vão além dos limites *stricto sensu* da produção de alimentos. Além da ampliação do acesso ao alimento, também é preciso combater as perdas e desperdícios. Isso passa por um aumento da capacidade de armazenagem de grãos nas fazendas.

No que se refere à indústria ecológica e processamento sustentável, ainda são necessários maiores investimentos e políticas públicas de incentivo que incluam a facilitação de acesso ao crédito favorecido e à assistência técnica.

As ações necessárias para a transição ecológica não se esgotam nem tão pouco se limitam às citadas, mas servem para auxiliar a ladrilhar um caminho inevitável que não só a cadeia produtiva, mas todos nós teremos de trilhar.

REFERÊNCIAS

- ABIMILHO. Associação Brasileira das Indústrias do Milho. [Oferta e demanda do milho no Brasil]. 2021. Disponível em: <<http://www.abimilho.com.br/estatisticas>>. Acesso em: 5 abr. 2021.
- ACEVEDO-SIACA, L.; GOLDSMITH, P.D. Soy-maize crop rotations in sub-Saharan Africa: A literature review. **International Journal of Agronomy**, v.2020, art.8833872, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1155/2020/8833872>.
- BALUGANI, E.; SUMFLETH, B.; MAJER, S.; MARAZZA, D.; THRÄN, D. Bridging modeling and certification to evaluate low-ILUC-risk practices for biobased materials with a user-friendly tool. **Sustainability**, v.14, art.2030, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/su14042030>.
- BAOUA, I.B.; AMADOU, L.; OUSMANE, B.; BARIBUTSA, D.; MURDOCK, L.L. PICS bags for post-harvest storage of maize grain in West Africa. **Journal of Stored Products Research**, v.58, p.20-28, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2014.03.001>.
- BATIDZIRAI, B.; VALK, M.; WICKE, B.; JUNGINGER, M.; DAIQLOU, V.; EULER, W.; FAAIJ, A.P.C. Current and future technical, economic and environmental feasibility of maize and wheat residues supply for biomass energy application: Illustrated for South Africa. **Biomass and Bioenergy**, v.92, p.106-129, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2016.06.010>.
- BINIMELIS, R.; MONTERROSO, I.; RODRÍGUEZ-LABAJOS, B. Catalan agriculture and genetically modified organisms (GMOs) - an application of DPSIR model. **Ecological Economics**, v.69, p.55-62, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.02.003>.
- BISHOP, G.; STYLES, D.; LENS, P.N.L. Land-use change and valorisation of feedstock side-streams determine the climate mitigation potential of bioplastics. **Resources, Conservation and Recycling**, v.180, art.106185, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106185>.
- BOLETIM LOGÍSTICO. Brasília: Conab, ano5, abril 2021. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuário-e-extrativista/boletim-logístico/item/download/37307_3037108c4e1d127665d9c6ec29b18239>. Acesso em: 16 de fev. 2024.
- BROOKES, G.; BARFOOT, P. GM crop technology use 1996-2018: farm income and production impacts. **GM Crops and Food**, v.11, p.242-261, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1080/21645698.2020.1779574>.
- BROOKES, G.; DINH, T.X. The impact of using genetically modified (GM) corn/maize in Vietnam: results of the first farm-level survey. **GM Crops and Food**, v.12, p.71-83, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1080/21645698.2020.1816800>.
- CASSONI, A.C.; COSTA, P.; VASCONCELOS, M.W.; PINTADO, M. Systematic review on lignin valorization in the agro-food system: from sources to applications. **Journal of Environmental Management**, v.317, art.115258, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115258>.
- CHEN, L.; LI, K.K.; SHI, W.J.; WANG, X.L.; WANG, E.T.; LIU, J.F.; SUI, X.H.; MI, G.H.; TIAN, C.F.; CHEN, W.X. Negative impacts of excessive nitrogen fertilization on the abundance and diversity of diazotrophs in black soil under maize monocropping. **Geoderma**, v.393, art.114999, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.114999>.
- CHEN, M.; SMITH, P.M.; THOMCHICK, E. Qualitative insights into buyer-supplier relationship attributes in the U.S. biofuels industry. **Renewable Energy Focus**, v.22/23, p.1-9, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ref.2017.09.001>.
- COMISSÃO EUROPEIA. **List of potential agricultural practices that eco-schemes could support**. 2021. Disponível em: <<https://portugal.representation.ec.europa.eu>>. Acesso em: 28 jan. 2022.
- COMISSÃO EUROPEIA. **Pacto Ecológico Europeu**. 2019. Disponível em: <<https://portugal.representation.ec.europa.eu>>. Acesso em: 28 jan. 2022.
- COMISSÃO EUROPEIA. **Regulamento (UE) 2023/1115 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 31 de maio de 2023**. Disponibilização no mercado da União e à exportação para fora da União de determinados produtos de base e produtos derivados associados à desflorestação e à degradação florestal e que revoga o Regulamento (UE) n.º 995/2010. 2023. Disponível em: <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/HTML/?uri=CELEX:32023R1115>>. Acesso em: 18 jun. 2023.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Portal Armazéns do Brasil**. Brasília, 2023. Disponível em: <<https://app.powerbi.com/w?r=eyJrIjoiNDdkNDM4ZjctYzkwOS00NWVjLWFiYjktZWQ4Njg3MDEyMTg0IiwidCI6ImU2ZDkwZGYyZWYxOGItNGJkZC04MDhjLWFiNmQwZjY4YjgwOSJ9>>. Acesso em: 11 fev. 2023.
- CRONIN, P.; RYAN, F.; COUGHLAN, M. Undertaking a literature review: a step-by-step approach. **British Journal of Nursing**, v.17, p.38-43, 2008. DOI: <https://doi.org/10.12968/bjon.2008.17.1.28059>.
- DIAS, R. **Gestão ambiental, responsabilidade social e sustentabilidade**. São Paulo: Atlas, 2006.
- EKENER, E.; HANSSON, J.; LARSSON, A.; PECK, P. Developing life cycle sustainability assessment methodology by applying values-based sustainability weighting - Tested on biomass based and fossil transportation fuels. **Journal of Cleaner Production**, v.181, p.337-351, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.211>.

- ESTEVEES, E.M.M.; BRIGAGÃO, G.V.; MORGADO, C.R.V. Multi-objective optimization of integrated crop-livestock system for biofuels production: a life-cycle approach. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.152, art.111671, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111671>.
- FIBACH-PALDI, S.; BURDMAN, S.; OKON, Y. Key physiological properties contributing to rhizosphere adaptation and plant growth promotion abilities of *Azospirillum brasilense*. **FEMS Microbiology Letters**, v.326, p.99-108, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.2011.02407.x>.
- FLORIN, M.J.; van ITTERSUM, M.K.; van de VEN, G.W.J. Family farmers and biodiesel production: Systems thinking and multi-level decisions in Northern Minas Gerais, Brazil. **Agricultural Systems**, v.121, p.81-95, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2013.07.002>.
- GALFORD, G.L.; PEÑA, O.; SULLIVAN, A.K.; NASH, J.; GURWICK, N.; PIROLI, G.; RICHARDS, M.; WHITE, J.; WOLLENBERG, E. Agricultural development addresses food loss and waste while reducing greenhouse gas emissions. **Science of the Total Environment**, v.699, art.134318, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134318>.
- GIMENO, A.; SOHLBERG, E.; PAKULA, T.; LIMNELL, J.; KELLER, B.; LAITILA, A.; VOGELGSANG, S. TaqMan qPCR for quantification of *Clonostachys rosea* used as a biological control agent against *Fusarium graminearum*. **Frontiers in Microbiology**, v.10, art.1627, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.01627>.
- GROTE, U.; FASSE, A.; NGUYEN, T.T.; ERENSTEIN, O. Food security and the dynamics of wheat and maize value chains in Africa and Asia. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v.4, art.617009, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.617009>.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário 2017**. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuario/censo-agropecuario-2017/resultados-definitivos>>. Acesso em: 26 jan. 2024.
- KHATRI-CHHETRI, A.; SAPKOTA, T.B.; SANDER, B.O.; ARANGO, J.; NELSON, K.M.; WILKES, A. Financing climate change mitigation in agriculture: assessment of investment cases. **Environmental Research Letters**, v.16, art.124044, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac3605>.
- KUMAR, V.; JAT, H.S.; SHARMA, P.C.; BALWINDER-SINGH; GATHALA, M.K.; MALIK, R.K.; KAMBOJ, B.R.; YADAV, A.K.; LADHA, J.K.; RAMAN, A.; SHARMA, D.K.; MCDONALD, A. Can productivity and profitability be enhanced in intensively managed cereal systems while reducing the environmental footprint of production? Assessing sustainable intensification options in the breadbasket of India. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.252, p.132-147, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.10.006>.
- MACHADO JUNIOR, P.C.; REIS NETO, S.A. dos (Org.). **Perdas em transporte e armazenagem de grãos: panorama atual e perspectivas**. Brasília: Conab, 2021. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/outras-publicacoes/item/download/35953_e93eba0ef12529526cef749f8d465f7b>. Acesso em: 11 fev. 2023.
- MESTERHÁZY, Á.; OLÁH, J.; POPP, J. Losses in the grain supply chain: causes and solutions. **Sustainability (Switzerland)**, v.12, art.2342, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12062342>.
- MEYNARD, J.-M.; CHARRIER, F.; FARES, M.; LE BAIL, M.; MAGRINI, M.-B.; CHARLIER, A.; MESSÉAN, A. Socio-technical lock-in hinders crop diversification in France. **Agronomy for Sustainable Development**, v.38, art.54, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13593-018-0535-1>.
- MILANEZ, A.Y.; MANCUSO, R.V.; MAIA, G.B. da S.; GUIMARÃES, D.D.; ALVES, C.E.A.; MADEIRA, R.F. Conectividade rural: situação atual e alternativas para superação da principal barreira à agricultura 4.0 no Brasil. **BNDES Setorial**, v.26, p.7-43, 2020.
- MORETTI, B.; BERTORA, C.; GRIGNANI, C.; LERDA, C.; CELI, L.; SACCO, D. Conversion from mineral fertilisation to MSW compost use: nitrogen fertiliser value in continuous maize and test on crop rotation. **Science of the Total Environment**, v.705, art.135308, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135308>.
- MUYLLE, H.; HULLE, S. van; Vlieghe, A. de; BAERT, J.; BOCKSTAELE, E. van; ROLDÁN-RUIZ, I. Yield and energy balance of annual and perennial lignocellulosic crops for bio-refinery use: a 4-year field experiment in Belgium. **European Journal of Agronomy**, v.63, p.62-70, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2014.11.001>.
- ORTEGA-BELTRAN, A.; BANDYOPADHYAY, R. Contributions of integrated aflatoxin management strategies to achieve the sustainable development goals in various African countries. **Global Food Security**, v.30, art.100559, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2021.100559>.
- PAUL, J.; CRIADO, A.R. The art of writing literature review: what do we know and what do we need to know? **International Business Review**, v.29, art.101717, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ibusrev.2020.101717>.
- PHILIPPI JR, A.; TUCCI, C.E.M.; HOGAN, D.J.; NAVAGANTES, R. (Ed.). **Interdisciplinaridade em ciências ambientais**. São Paulo: Signus, 2000.
- PIRELLI, T.; CHIUMENTI, A.; MORESE, M.M.; BONATI, G.; FABIANI, S.; PULIGHE, G. Environmental sustainability of the biogas pathway in Italy through the methodology of the Global Bioenergy Partnership. **Journal of Cleaner Production**, v.318, art.128483, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128483>.
- REDE ILPF. **ILPF em números: safra 2020/21**. 2021. Disponível em: <https://www.redeilpf.org.br/images/ILPF_em_Numeros-Safra.pdf>. Acesso em: 16 fev. 2024.

REIS, D.R. dos; VINCENZI, T.B. de; PUPO, F.P. Técnicas de prospecção: um estudo comparativo. **Revista de Administração Contemporânea**, v.20, p.135-153, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/1982-7849rac2016140016>.

SILVA, J.A. da. **Avaliação de modelos de extrapolação de tendência em um contexto de prospecção tecnológica**. 2017. 48p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://repositorio.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10023244.pdf>>. Acesso em: 28 abr. 2022.

SOARES, R.M.D.; LIMA, A.M.F.; OLIVEIRA, R.V.B.; PIRES, A.T.N.; SOLDI, V. Thermal degradation of biodegradable edible films based on xanthan and starches from different sources. **Polymer Degradation and Stability**, v.90, p.449-454, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2005.04.007>.

TIRADENTES, L. COP 26: expectativas para um mundo melhor? **Revista Ponto de Vista**, v.10, p.1-2, 2021. DOI: <https://doi.org/10.47328/rpv.v10i3.13396>.

WANG, Q.; JIANG, X.; GUAN, D.; WEI, D.; ZHAO, B.; MA, M.; CHEN, S.; LI, L.; CAO, F.; LI, J. Long-term fertilization changes bacterial diversity and bacterial communities in the maize rhizosphere of Chinese Mollisols. **Applied Soil Ecology**, v.125, p.88-96, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.12.007>.

WILLIAMS, W.P.; OZKAN, S.; ANKALA, A.; WINDHAM, G.L. Ear rot, aflatoxin accumulation, and fungal biomass in maize after inoculation with *Aspergillus flavus*. **Field Crops Research**, v.120, p.196-200, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2010.10.002>.
