



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINARIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONEGOCIOS**

**DANIEL F. MARRA E ROSA**

**UM ESTUDO PROSPECTIVO DA CADEIA PRODUTIVA DO  
MILHO NO BRASIL**

**PUBLICAÇÃO: NÚMERO DA DISSERTAÇÃO/TESE/ANO**

**Brasília/DF**

**Janeiro/2023**

**DANIEL F. MARRA E ROSA**

**UM ESTUDO PROSPECTIVO DA CADEIA PRODUTIVA DO MILHO  
NO BRASIL**

Projeto de Dissertação apresentado ao curso de Mestrado do Programa de Pós-graduação Agronegócios (PROPAGA), da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília (UnB).

**Orientador(a): Prof. Dr. Marlon V. Brisola**  
**Coorientador(a): Prof. Dra. Silvia A. dos Reis**

**Brasília/DF**  
**Janeiro/2023**

ROSA, D.F.M. **UM ESTUDO PROSPECTIVO DA CADEIA PRODUTIVA DO MILHO NO BRASIL**. 120f. Dissertação. (Mestrado em Agronegócios) - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília, 2023.

Documento formal, autorizando reprodução desta dissertação de mestrado para empréstimo ou comercialização, exclusivamente para fins acadêmicos, foi passado pelo autor à Universidade de Brasília e acha-se arquivado na Secretaria do Programa. O autor reserva para si os outros direitos autorais, de publicação. Nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor. Citações são estimuladas, desde que citada a fonte.

### FICHA CATALOGRÁFICA

Rosa, Daniel F. Marra

Um Estudo Prospectivo da Cadeia Produtiva do Milho no Brasil / Daniel Rosa; orientador Dr. Marlon Vinícius Brisola; coorientadora Dra. Silvia Araújo dos Reis- Brasília- DF, 2023. 120 f.

Dissertação (Mestrado – Mestrado em Agronegócios) -- Universidade de Brasília, 2023.

1. Cadeia Produtiva do Milho, Sustentabilidade, Estudo Prospectivo, Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS). I. Brisola, Marlon Vinícius, oriente. Silvia Araújo dos Reis coorientador II. Título

**DANIEL F. MARRA E ROSA**

**UM ESTUDO PROSPECTIVO DA CADEIA PRODUTIVA DO MILHO NO BRASIL**

Dissertação apresentada ao curso de Mestrado do Programa de Pós-graduação Agronegócios (PROPAGA), da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília (UnB), como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Agronegócios.

**Aprovada pela seguinte Banca Examinadora:**

---

Prof. Dr. Marlon Vinícius Brisola  
(Orientador)

---

Prof. Dra. Magali Costa Guimarães  
(Examinador Interno)

---

Prof. Dra. Raissa Macedo Lacerda Osório  
(Examinador externo)

**Brasília, 31 de janeiro 2023.**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao meu orientador Prof. Marlon pela paciência, dedicação e pelas contribuições que, sem dúvida, enriqueceram notadamente o meu trabalho. Agradeço também a minha coorientadora Prof. Silvia pela ajuda e norteamto, em especial, nos quesitos metodológicos; também ao Programa de Pós-graduação em Agronegócios (PROPAGA) pela confiança, ao meu chefe Glauber por autorizar minha participação no curso, pelos ensinamentos sobre a cadeia do milho e pela confiança; agradeço ainda a toda equipe da Abramilho. A toda minha família, ao meu pai que me auxiliou na revisão ortográfica e de conteúdo, a minha mãe que participou da minha qualificação e sempre me deu o apoio necessário, ao meu irmão Fabrício pela ajuda no refino do conteúdo e nas entrevistas e questionários, ao meu irmão Gabriel, que mesmo pela distância me deu assistência na formatação, a minha esposa Victória pelo suporte e auxílio no tabelamento de dados da revisão da literatura, paciência e suporte durante todo este período e a todos os que de alguma forma colaboraram para que eu conseguisse concluir mais esta etapa.

Obrigado.

## RESUMO

Em decorrência da preocupação dos consumidores por produtos sustentáveis e socialmente corretos, a Cadeia Produtiva brasileira do Milho passa por uma fase de transição. Neste sentido, este trabalho se propôs a identificar iniciativas no âmbito da Academia e contextualizá-los com a realidade brasileira e assim identificar ações que acelerem a transição. Sob o prisma dos Estudos Prospectivos, foi feita uma Revisão Sistemática da Literatura envolvendo 66 artigos, aplicou-se, ainda, um questionário a 72 produtores rurais e 23 entrevistas com especialistas da cadeia. Os estudos indicaram as seguintes práticas: biotecnologia, redução de fertilizantes nitrogenados, rotação de culturas, redução de perdas e desperdícios, agricultura digital, redução das emissões de CO<sup>2</sup> e produção de bioenergia, biogás, biocombustível e bioplástico. Os questionários englobaram 206 mil hectares espalhados por 15 Estados brasileiros e sinalizou que os produtores rurais já fazem rotação de 13 culturas, praticam o plantio direto, segunda safra, usam biológicos, o plantio de cobertura e a integração lavoura pecuária. Visando uma contextualização no cenário internacional, comparou-se com os preceitos dos Objetivos para o Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU e também com o Pacto Ecológico Europeu. As conclusões principais a partir da avaliação da literatura selecionada e dos depoimentos nas entrevistas e questionários levaram à conclusão de que o Brasil está relativamente bem-posicionado no que concerne às práticas agrícolas sustentáveis, na adoção de tecnologia, no modelo energético e legislação ambiental. A adoção da Integração Lavoura Pecuária e Floresta (ILPF), a implantação do Código Florestal (embora ainda com pendências), o Plano de Agricultura de Baixo Carbono (ABC) e a Matriz Energética renovável e a adoção de práticas sustentáveis justificam esta conclusão. Ainda é preciso avançar na rastreabilidade, combate ao desmatamento ilegal, estímulo à Indústria Ecológica e ao processamento sustentável, controle da contaminação dos lençóis freáticos e o estímulo ao consumo sustentável e redução de perdas e desperdícios.

**Palavras-chave:** Cadeia Produtiva do Milho, Sustentabilidade, Estudo Prospectivo, Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS).

## ABSTRACT

As a result of consumers' concern for sustainable and socially correct products, the Brazilian Corn Production Chain is going through a transition phase. In this sense, this work proposed to identify initiatives within the scope of the Academy and contextualize them with the Brazilian reality and thus identify actions that accelerate the transition. From the perspective of Prospective Studies, a Systematic Literature Review was carried out involving 66 articles, a questionnaire was applied to 72 rural producers and 23 interviews with chain specialists. The studies indicated the following practices: biotechnology, reduction of nitrogenous fertilizers, crop rotation, reduction of losses and waste, digital agriculture, reduction of CO<sup>2</sup> emissions and production of bioenergy, biogas, biofuel and bioplastic. The questionnaires encompassed 206,000 hectares spread across 15 Brazilian states and indicated that rural producers already rotate 13 crops, practice direct planting, second harvest, use biological products, cover planting and integration with livestock farming. Aiming at a contextualization in the international scenario, it was compared with the precepts of the UN Sustainable Development Goals (SDGs) and also with the European Ecological Pact. The main conclusions from the evaluation of the selected literature and the statements in the interviews and questionnaires led to the conclusion that Brazil is relatively well-positioned with regard to sustainable agricultural practices, the adoption of technology, the energy model and environmental legislation. The adoption of the Crop, Livestock and Forest Integration (ILPF), the implementation of the Forest Code (although still pending), the Low Carbon Agriculture Plan (ABC) and the Renewable Energy Matrix and the adoption of sustainable practices justify this conclusion. It is still necessary to advance in traceability, combating illegal deforestation, encouraging Ecological Industry and sustainable processing, controlling contamination of groundwater and encouraging sustainable consumption and reducing losses and waste.

**Keyword:** Corn Production Chain, Sustainability, Prospective Study, Sustainable Development Goals (SDG).

## LISTA DE GRÁFICOS

|  |    |
|--|----|
| <b>Gráfico 1:</b> Estudos por Temas.....                 | 43 |
| <b>Gráfico 2:</b> Entrevistados por Setor.....           | 79 |
| <b>Gráfico 3:</b> Entrevistas: Principais Conceitos..... | 82 |
| <b>Gráfico 4:</b> Questionário: Area plantada.....       | 94 |
| <b>Gráfico 5:</b> Questionário: Culturas plantadas.....  | 94 |
| <b>Gráfico 6:</b> Questionário: Práticas Adotadas.....   | 95 |



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 1:</b> Sobreposição de dados das Grandes regiões produtoras de milho e pecuária no Brasil em 2020..... | 38 |
| <b>Figura 2:</b> Análise dos Estudos segundo o seu foco.....   | 43 |
| <b>Figura 3:</b> Nuvens de Palavras: Principais Conceitos.....   | 81 |
| <b>Figura 4:</b> Questionário: Distribuição dos Produtores.....  | 93 |

## LISTA DE QUADROS

|   |     |
|---|-----|
| <b>Quadro 1:</b> Fontes de Pesquisa de Dados Secundários Econômicos.....  | 37  |
| <b>Quadro 2:</b> Lista de Entidades Setoriais sujeitas a entrevista.....  | 39  |
| <b>Quadro 3:</b> Estudos sobre Biotecnologia.....   | 47  |
| <b>Quadro 4:</b> Estudos sobre a Redução de Fertilizantes Nitrogenados.....   | 52  |
| <b>Quadro 5:</b> Estudos sobre a Rotação de Cultura e Produtividade.....  | 57  |
| <b>Quadro 6:</b> Estudos sobre Biogás.....  | 62  |
| <b>Quadro 7:</b> Estudos sobre a Perda e Desperdício de Alimentos (PDA).....  | 66  |
| <b>Quadro 8:</b> Estudos sobre a Bioenergia.....  | 69  |
| <b>Quadro 9:</b> Estudos sobre Agricultura Digital.....   | 72  |
| <b>Quadro 10:</b> Estudos sobre Biocombustível.....   | 76  |
| <b>Quadro 11:</b> Estudos sobre Bioplástico.....  | 78  |
| <b>Quadro 12:</b> Lista de Entidades Setoriais entrevistadas.....   | 80  |
| <b>Quadro 13:</b> Comparativo entre Revisão da Literatura e o Contexto Brasileiro.....  | 97  |
| <b>Quadro 14:</b> Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS): Contribuições e Desafios para a Cadeia Nacional do Milho..... | 100 |
| <b>Quadro 15:</b> Comparativo entre os preceitos do Pacto Ecológico Europeu e a Cadeia Produtiva do Milho no Brasil.....        | 103 |

## SUMÁRIO

|   |                               |
|---|-------------------------------|
| <b>1 INTRODUÇÃO</b> .....   | 12                            |
| 1.1 Descrição da Situação Problemática .....  | 13                            |
| 1.2 Objetivo Geral .....  | 17                            |
| 1.3 Objetivos Específicos .....   | 17                            |
| 1.4 Justificativa .....   | 18                            |
| 1.5 Estrutura e Organização do Trabalho .....   | 20                            |
| <b>2. MARCO CONCEITUAL E TEÓRICO</b> .....  | 22                            |
| 2.1 A domesticação do milho e sua relevância para a humanidade .....  | 22                            |
| 2.1 O milho como base das cadeias agroindustriais nacionais .....   | 24                            |
| 2.1 A competitividade internacional da Cadeia Produtiva do Milho brasileira ...   | 27                            |
| 2.2 Sustentabilidade na cadeia produtiva nacional do milho.....   | 30                            |
| <b>3. MÉTODOS E TÉCNICAS DE PESQUISA</b> .....  | 33                            |
| 3.1 Classificação da Pesquisa .....   | 33                            |
| 3.2 Revisão Sistemática da Literatura .....   | 34                            |
| 3.3 O Estudo Prospectivo.....   | 36                            |
| 3.4 Procedimento de Coleta e Análise de Dados.....  | Erro! Indicador não definido. |
| 3.5 Escolha dos Especialistas entrevistados .....   | 38                            |
| 3.6 Aplicação de questionários a produtores rurais.....   | 39                            |
| <b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....  | 41                            |
| 4.1 Revisão Sistemática.....  | 41                            |
| 4.1.1 Biotecnologia.....  | 43                            |
| 4.1.2 Redução de Fertilizantes Nitrogenados .....   | 47                            |
| 4.1.3 Rotação de Cultura e Produtividade .....  | 51                            |
| 4.1.4 Biogás.....   | 57                            |
| 4.1.5 Perda e Desperdício de Alimentos (PDA) .....  | 61                            |
| 4.1.6 Bioenergia .....  | 65                            |
| 4.1.7 Agricultura Digital .....   | 68                            |
| 4.1.8 Biocombustível .....  | 71                            |
| 4.1.9 Bioplástico.....  | 74                            |
| 4.2 Entrevistas.....  | 76                            |
| 4.2.1 Entrevistas realizadas a representantes do Setor Público .....  | 79                            |
| 4.2.2 Entrevistas realizadas a pesquisadores científicos .....  | 81                            |
| 4.2.3 Entrevistas realizadas a representantes do Setor Privado.....   | 84                            |
| 4.2.3.1 Setor de Insumos Agrícolas.....   | 84                            |
| 4.2.3.2 Setor de Produção de Milho.....   | 85                            |
| 4.2.3.3 Setor de Processamento de Milho .....   | 86                            |
| 4.3 Questionários.....  | 90                            |
| 4.3 Comparando os achados.....  | 93                            |
| 4.3.1 A contribuição da Cadeia Produtiva Nacional do Milho para atingir os<br>Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS)..... | 96                            |
| 4.3.2 Comparativo entre a agricultura brasileira e os preceitos do Pacto<br>Ecológico Europeu (Green Deal).....                   | 98                            |
| <b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....   | 102                           |
| <b>APÊNDICE</b> .....   | 122                           |

## 1 INTRODUÇÃO

O milho é uma planta nativa da América Central, domesticada há 10 mil anos atrás, se espalhou pela América Latina e possibilitou o estabelecimento de grandes civilizações. Ainda nos primeiros contatos dos europeus, suas sementes foram levadas para Espanha em 1525, e cerca de trinta anos mais tarde já havia lavouras de milho em quase todo o continente e se tornou um dos principais alimentos da população rural em quase toda a Europa (KISTLER et al., 2020).

O cruzamento de variedades permitiu que o milho seja plantado em todo o Mundo em diferentes latitudes e temperaturas. A globalização do milho trouxe também a expansão da criação de animais, em especial servindo de base para a alimentação de aves e suínos e complementando a dieta de bovinos (BARCZSZ; SERRA, 2017). Isso proporcionou a criação de uma cadeia de produtos vinculados ao milho que se intensificou a partir dos anos de 1930 com a especialização e mecanização que passaram a agregar mais valor à produção rural. Isso permitiu a disseminação de modelos produtivos modernos que foram adotados pelo Brasil nos anos de 1970 (BARCZSZ; SERRA, 2017).

Atualmente, a cadeia produtiva do milho no Brasil é globalizada e concorre por novos mercados em nível global, contando com forte participação de multinacionais e atuação nos principais mercados internacionais de milho, aves, suínos e bovinos. Entretanto, as cadeias produtivas nacionais têm desafios a superar, precisarão se adequar às novas exigências do mercado e às inovações tecnológicas (CELERES, 2021).

Para tanto, é fundamental a antecipação de cenários e o estabelecimento de estratégias para que o País esteja bem-posicionado e possa aproveitar as oportunidades. No entanto, o Brasil, além olhar para frente, ainda precisará corrigir uma série de deficiências estruturais, o que torna a tarefa ainda mais desafiadora se comparado a países mais desenvolvidos.

A tendência mundial para novos sistemas agroalimentares mais sustentáveis e inclusivos vem mudando a dinâmica das cadeias produtivas e abre uma nova janela de oportunidades para o desenvolvimento nacional. Os novos mercados verdes como o do carbono, o dos bioinsumos e o da energia renovável são promissores e se fazem cada dia mais presentes. Para isso o desenvolvimento

deverá ser sustentado na pesquisa e no desenvolvimento científico, estimulado por políticas públicas e pela adesão empresarial.

A sustentabilidade e a preocupação com as mudanças climáticas que outrora eram apenas ideias se tornaram pressões econômicas, barreiras comerciais e possíveis perdas de *market share*. A maior exigência do mercado consumidor passou a requerer 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.

### **1.1 Descrição da Situação Problemática**

Em 2003 o professor de Cambridge Ha-Joon Chang apresentou o conceito de se "chutar a escada" na qual há uma tendência de países desenvolvidos em atuarem para ampliar sua distância de países em desenvolvimento. Um país quando se adianta aos outros, sente-se estimulado a manter sua prevalência por meio do seu poder político e econômico que se traduz nas pressões internacionais e nas relações exteriores (CHANG, 2004).

De acordo com Chang (2004), as condicionantes vinculadas à ajuda financeira do FMI e do Banco Mundial, as regras da Organização Mundial do Comércio e os acordos multilaterais demonstram isso. Há o risco então de se exigir um *upgrading* excessivamente rápido dos países em desenvolvimento gerando o processo de "chutar a escada" ampliando a desigualdade entre as nações.

Há um movimento global no sentido de acelerar a transição para um modelo de desenvolvimento sustentável. Em outubro de 2021, a COP-26 (Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas), realizada em Glasgow (Escócia), com um ano de atraso em função da pandemia, teve como objetivos buscar neutralidade das emissões de gases nocivos, limitando assim o aquecimento global; proteger os ecossistemas dos países afetados pelas mudanças climáticas; obter fundos para financiar as metas e buscar uma cooperação global entre governos e a sociedade civil, regulamentando o Acordo de Paris (TIRADENTES, 2021).

Era esperado o anúncio do apoio financeiro de US\$ 100 bilhões por ano, prometido em 2010 pelos países ricos aos países em desenvolvimento. Esse fluxo de financiamento é essencial para permitir que os países mais pobres se adaptem e

mitiguem as mudanças climáticas, os países em desenvolvimento devem ter o apoio financeiro para garantir que isso aconteça de forma equitativa e justa. No entanto o recurso ainda não foi disponibilizado (WYNS; BEAGLEY, 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*”, 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).

De acordo com a Comissão Europeia (2019), o “*Green Deal*” tem a finalidade de proteger, conservar e reforçar o capital natural da EU, a saúde e o bem-estar dos cidadãos. Todas as ações e políticas da UE terão de contribuir para a consecução dos objetivos do Pacto Ecológico Europeu e apresentar elementos que farão esta transformação. Por meio do incentivo ao uso de energias limpas, indústria de economia circular, biodiversidade, mobilidade sustentável e um sistema alimentar justo, saudável e inclusivo (COMISSÃO EUROPEIA, 2019)

De acordo com a Comissão Europeia (2021), o *Green Deal*, ou Pacto Ecológico Europeu, se propõe ainda a alterar a forma como se produz o alimento, sugerindo a adoção da produção orgânica, a agroecologia e a agrofloresta. A seleção de espécies e animais passará a ser orientada para a adaptação às mudanças climáticas e à redução nas emissões de gases de efeito estufa. Como forma de reduzir o uso de pesticidas químicos, propõe-se o controle mecânico e biológico (COMISSÃO EUROPEIA, 2021).

Neste sentido, Teixeira (2013) afirma que o Estado com seu poder soberano, tem um papel fundamental no estímulo e na promoção da transição para uma economia mais verde. Após o lançamento do “*Green Deal*”, a Política Agrícola Comum (PAC) da União Europeia passou a ter um direcionamento para sistemas alimentares sustentáveis (CAP, 2021).

O objetivo da PAC passou a ser fornecer alimentos a preços acessíveis para os cidadãos da União Europeia e um nível de vida justo para os agricultores que devem trabalhar de forma sustentável e ecológica, mantendo a biodiversidade (CAP, 2021).

A PAC passou a se estruturar em três medidas: Apoio na formação da renda, remuneração aos agricultores pela prática de uma agricultura ecologicamente correta; Medidas de Mercado para corrigir preços devido à queda repentina na demanda ou excesso de oferta; Medidas de desenvolvimento rural, programas nacionais e regionais para atender às necessidades e desafios específicos que as áreas rurais enfrentam (CAP, 2021).

No ano de 2019, foram destinados à PAC um total de €57.98 bilhões, sendo alocados para Medidas de Apoio €41.43, para Medidas de Mercado €2.37 e para Medidas de Desenvolvimento Rural €14.18 bilhões. Em primeiro de junho de 2018, a Comissão Europeia apresentou uma série de propostas legislativas para uma nova PAC, que alinha a política às ambições sustentáveis do “*Green Deal*” (CAP, 2021).

De acordo com a Comissão Europeia (2019), as propostas da Comissão relativas à Política Agrícola Comum para o período 2021-2027 preveem que, pelo menos 40 % do orçamento global da PAC e, pelo menos 30 % do Fundo Europeu dos Assuntos Marítimos e das Pescas, deverão contribuir para a concretização das ações climáticas.

Importante ressaltar que para os países exportadores não será permitido introduzir nos mercados da UE alimentos importados que não cumpram as normas ambientais aplicáveis da UE, e a Comissão irá propor ações com vistas a ajudar os consumidores a escolher regimes alimentares saudáveis e sustentáveis (COMISSÃO EUROPEIA, 2019).

De acordo com a Comissão Europeia (2021), em janeiro de 2021, a Comissão publicou uma lista de práticas agrícolas que apoiam o “*Eco-schemes*” ou eco-esquemas, propostos pelo “*Green Deal*”, no qual a PAC passa a ter um papel fundamental na gestão da transição para um sistema alimentar sustentável e irá contribuir para os objetivos de redução de emissões de gases do efeito estufa. Os Estados Membros estabeleceram regimes ecológicos nos seus planos estratégicos da PAC. Dentre os objetivos até 2030 consta a redução em 50% do uso de pesticidas químicos e atingir ao menos 25% das terras agrícolas da UE com agricultura orgânica (COMISSÃO EUROPEIA, 2021).

Neste mesmo sentido, a Estação de Ecologia Agrícola e Proteção de Recursos do Ministério da Agricultura e Assuntos Rurais da China em março de 2022 iniciou o Projeto de Lavoura verde com foco na redução do uso e no aumento

da eficiência de fertilizantes químicos e pesticidas por meio da utilização de esterco de gado e aves, o retorno sistemático das palhas aos campos como forma de consolidar bases de rendimento de grãos altos e estáveis (CHINA, 2022).

No caso brasileiro, segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2022), esta é uma realidade ainda distante devido ao fato de os desafios já vencidos pelos países desenvolvidos ainda perdurarem no Brasil e atrasarem este processo, como é o caso do acesso ao seguro rural (que tanta falta fez nos recentes prejuízos causados aos produtores rurais pela estiagem e geada na Região Sul e no Mato Grosso do Sul). Em decorrência dos prejuízos e da indisponibilidade de seguros acessíveis para as lavouras tem-se observado uma corrida pela renegociação das dívidas (MAPA, 2022a).

Segundo Levantamento do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa), dentre as lavouras atingidas apenas 34,3% das áreas de milho e 44,6% das áreas de soja no Paraná foram seguradas. Em Santa Catarina, 42,4% das áreas de milho e 31,1% de soja; no Rio Grande do Sul, 54,9% das áreas de milho e 41,1% de soja; e no Mato Grosso do Sul, apenas 16,1% das áreas de milho e 27% de soja (MAPA, 2022a).

Nos Estados Unidos por outro lado, já há um mecanismo de apoio direto ao produtor que pode ser acionado quando ocorrem fenômenos graves de natureza climática ou oscilações cíclicas no mercado. Nestes casos, o governo efetua pagamentos diretamente na conta do produtor por compensação de perdas de receita ou como mecanismo anticíclico. As culturas mais beneficiadas são o milho, a soja e o algodão, cujos produtores receberam um total de US\$65 bilhões em 2021 (USDA, 2021).

No entanto, a diretriz de intervenção do governo dos Estados Unidos tem sido reorientada nos últimos anos no sentido de diminuir os pagamentos diretos ou empréstimos e aumentar o mecanismo do seguro de receita. Para isso, foram criados o “*Stacked Income Protection Plan*”, o “*Agriculture Risk Coverage*”, além do seguro de crédito à exportação. O apoio governamental é concretizado por meio do subsídio ao prêmio do seguro rural, que pode chegar até a 80% do seu valor (USDA, 2021).

Os Estados Unidos também contam com programas que visam o desenvolvimento ambiental e social como o Programa de Conservação de Reservas,



pelo qual se efetua o pagamento ao produtor para não cultivar em solos frágeis ou de interesse de preservação ambiental (USDA, 2022) e o auxílio alimentação ou “*Food Stamps*” se destina a ajuda alimentar às camadas pobres da sociedade e tem ocasionado uma expressiva ampliação do mercado interno para absorver a enorme produção agrícola do país (USDA, 2019).

Nota-se, então, que o Brasil e, em consequência, a cadeia produtiva nacional do milho, é penalizado tanto pelos problemas que ainda perduram sem solução quanto com a necessidade de se fazer uma transição para um modelo sustentável e inclusivo. Neste sentido, torna-se importante entender como adequar a cadeia produtiva nacional do milho à transição para um modelo sustentável e inclusivo.

Dito isso, a proposta deste estudo é responder a seguinte questão problema: *Quais ações são necessárias para tornar a cadeia produtiva nacional do milho mais sustentável e competitiva?*

## **1.2 Objetivo Geral**

Diante destes desafios, se faz necessário avaliar a realidade brasileira frente às premissas da sustentabilidade e das adequações necessárias. A antecipação de cenários e a formulações de estratégias são fundamentais para manter o protagonismo do agronegócio brasileiro. Caberá a cada país - e a cada cadeia produtiva - adequar sua realidade às premissas sustentáveis. Os efeitos dessa pressão já ocorrem e podem ser vistos na restrição das importações de produtos provenientes de áreas de desmatamento.

Por isso se propõe um mapeamento dos desafios postos à cadeia nacional do milho e de ações necessárias para realizar a transição para um modelo mais sustentável. Espera-se que ao término do estudo, seja possível indicar alguns caminhos e cenários futuros que sirvam de subsídios para políticas públicas.

Assim sendo, considera-se como Objetivo Geral deste estudo a seguinte proposição: **Propor ações para que a transição ambiental da cadeia produtiva nacional do milho seja mais sustentável e competitiva.**

## **1.3 Objetivos Específicos**

A fim de se lograr o objetivo geral da pesquisa, foram elencados alguns objetivos específicos que irão nortear o trabalho. Propõe-se então uma análise

teórica confrontada com a visão de especialistas somados a uma análise quantitativa de dados históricos seguindo os preceitos dos Estudos Prospectivos visando gerar cenários futuros, por isso se estabeleceram os seguintes objetivos específicos:

1. Levantar a realidade da produção do milho no Brasil;
2. Identificar as principais tendências de mudanças que a cadeia produtiva do milho irá se deparar no futuro; e
3. Comparar os achados da pesquisa com os Objetivos para o Desenvolvimento Sustentável da ONU e a Política do Pacto Ecológico Europeu.
4. Elencar as ações necessárias para a transição da cadeia produtiva do milho para um modelo sustentável;

Descrever o contexto em que se encontra a cadeia produtiva nacional por meio da revisão sistemática da literatura será o primeiro passo para se obter o resultado esperado. Sem uma devida contextualização e entendimento das variáveis envolvidas, o estudo perde seu sentido.

Em paralelo, identificar as principais transformações que virão com a transição sustentável expostas na literatura irá propiciar a direção para a qual as mudanças levarão a cadeia produtiva do milho.

Comparar os achados com a opinião de especialistas servirá para alinhar as proposições com o contexto brasileiro. A análise dos estudos acadêmicos somados à percepção de atores que participam da cadeia permitirá uma maior aproximação entre o proposto no trabalho e o observado na prática pelos integrantes da cadeia e assim elencar ações necessárias para a transição sustentável da cadeia.

#### **1.4 Justificativa**

Diante do exposto, é importante que haja o engajamento de toda a sociedade para acelerar a transição para sistemas mais sustentáveis e inclusivos, sendo a Academia uma das possíveis responsáveis pela predição de cenários e apresentação de soluções. Estas respostas precisam ser assimiláveis pelos atores que compõem o objeto de estudo e poderão servir de base para ações públicas que permitam sua implementação.

A transição ocorrerá não mais apenas por uma questão ideológica, mas também econômica. A inércia em se adaptar pode causar um descompasso entre o aumento da exigência dos consumidores e os produtos produzidos pela cadeia. E a consequência será a perda de espaço no mercado nacional e internacional e retração de uma cadeia produtiva que contribui substancialmente para o desenvolvimento econômico e social do país.

Importante ressaltar, que além dos empregos gerados na cadeia produtiva do milho, orbitam uma série de prestadores de serviços que promovem o desenvolvimento no interior do país, proporcionando o nascimento de novos polos econômicos e diminuindo a pressão nas tradicionais metrópoles brasileiras.

Os primeiros reflexos já podem ser sentidos após a restrição à exportação de produtos que provenham de áreas de desmatamento, o impedimento no uso de determinados defensivos químicos, bem como as pressões contra o plantio de sementes transgênicas.

Espera-se que os resultados da pesquisa sirvam de subsídio para ações concretas que mudem a realidade atual. Evidente que muitos estudos e políticas públicas avançaram nos últimos anos e refletiram no aumento substancial da agricultura orgânica, das certificações verdes e na adoção de políticas públicas como é o caso do Plano ABC, no aumento da adoção da integração lavoura-pecuária e no plantio direto que reduzem significativamente as emissões de CO<sup>2</sup>. (BALBINO; CORDEIRO; MARTINES, 2011). Mais recentemente, o Ministério da Agricultura está desenvolvendo um novo instrumento de atuação por meio do Plano de Descarbonização das Cadeias do Agronegócio em andamento (MAPA, 2022b).

No entanto, uma análise pormenorizada da cadeia produtiva nacional do milho diante dos desafios que se aproximam, das medidas que estão sendo tomadas e das ações necessárias para acelerar esta transição ainda precisam ser intensificadas.

A análise a partir da cadeia do milho se deve ao fato de o consumo do cereal ocorrer em sua maior parte no mercado interno, o que possibilita que boa parte dos atores, principalmente em nível *pós-porteira*, estejam em território nacional dando uma visão mais abrangente.

Na ótica Acadêmica, espera-se trazer novas informações sobre a visão dos atores que não compõem o âmbito científico, bem como o ordenamento de estudos

referentes à cadeia produtiva do milho e do agronegócio para que possa ser utilizado em pesquisas futuras e, principalmente, a sinalização de ações que poderão servir de subsídios para políticas públicas no Brasil.

Ainda que não se possa esgotar o assunto, por se tratar de um tema amplo e atual e que demanda diversas soluções o estudo se apresenta como mais um elemento que formará o arcabouço necessário para que o país faça uma transição inteligente e assertiva.

### **1.5 Estrutura e Organização do Trabalho**

O trabalho foi estruturado em quatro capítulos, o primeiro contendo a introdução do assunto, os objetivos da pesquisa, justificativa de sua relevância e os resultados que se espera alcançar com o estudo.

O segundo capítulo apresenta a fundamentação teórica e conceitual do assunto tratado. Primeiramente um retrospecto da importância do milho na formação das civilizações latino-americanas, a relevância nos tempos atuais nas cadeias agroindustriais e, por fim, as mudanças de paradigmas para uma economia sustentável que podem afetar a cadeia produtiva nacional do milho.

No terceiro capítulo, destinado à estrutura metodológica necessária para a realização do estudo, inicia-se com a classificação desta pesquisa e adequação da revisão sistemática da literatura para o objeto analisado. Avançando então para a metodologia adotada, aborda-se o Estudo Prospectivo, os preceitos da Revisão Sistemática da Literatura e coleta de dados do contexto brasileiro por meio de entrevistas com especialistas e questionários com produtores rurais.

No quarto capítulo, Resultados e Discussões, apresenta as principais tendências apontadas pela literatura, identificadas por meio da Revisão Sistemática da Literatura. As tendências foram agrupadas em 11 grandes grupos temáticos. Posterior são apresentados os resultados das entrevistas e questionários no intuito de identificar as práticas adotadas no Brasil. Por fim se faz um comparativo entre a literatura e o contexto brasileiro. Agrega-se uma comparação com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável e o Pacto Ecológico Europeu.

O quinto e último capítulo, Considerações Finais, conclui os achados e traz uma reflexão sobre as ações necessárias para acelerar a transição da cadeia produtiva nacional do milho.



## 2. MARCO CONCEITUAL E TEÓRICO

### 2.1 A domesticação do milho e sua relevância para a humanidade

O milho é classificado na divisão *Magnoliophyta*, família *Poaceae*, gênero *Zea* e espécie *Zea mays*, que tem como ancestral o teosito (FORNASIEREI, 1992). As espécies agronômicas utilizadas até os dias de hoje são resultantes do princípio do cruzamento genético sendo o México berço do milho e lar de mais de 60 variedades locais bem como seu parente primitivo e originário, o teosito (BORÉM, 2005).

Nativo da América Central, a sua grande adaptabilidade, representada por variados genótipos, permitiu o seu cultivo desde o Equador até os limites das terras temperadas, e desde o nível do mar até altitudes superiores a 3.600 metros, o que explica ser encontrado em climas tropicais, subtropicais e temperados (FARINELLI et al., 2012).

A distribuição geográfica natural do teosinto se estende desde a Sierra Madre Ocidental do Estado de Chihuahua, México até a costa do Pacífico da Nicarágua e Costa Rica, incluindo praticamente toda a parte ocidental da América central (GONZALES et al, 2018)

Segundo Gonzales et al. (2018), os primeiros humanos a domesticar o teosito foram os nativos, as pesquisas mais recentes apontam para 9 mil anos atrás na região da bacia hidrográfica do rio balsas, no Centro-Sul do México. O teosito começou a ser cultivado muito antes da formação das primeiras cidades na região como os Olmecas, civilização mais antiga datada naquela região (GONZALES et al., 2018).

Após dois milênios, cerca de 7.500 anos atrás, o teosito já se espalhava pela América Central e do Sul com registros na Colômbia, e 6.500 anos atrás na costa do Peru, Equador, leste boliviano e no Sul Amazônico nos estados Brasileiros do Acre e Rondônia (KISTLER et al., 2020).

No Brasil, Walting et al. (2018) afirma que os estudos realizados no sítio arqueológico de Teotônio em Rondônia demonstraram que neste mesmo período, ou seja, 6.500 anos atrás, havia uma intensa atividade agrícola na região com importantes campos de experimentação que resultaram na domesticação de importantes plantas além do milho como: mandioca, abóbora, feijão, pequi, goiaba, castanha do Pará (WATLING et al., 2018)

Entre os anos de 2.300 a 1.900 anos atrás, há uma segunda leva de cultivares de teosito vindas do México que cruzadas com as variedades já produzidas na região da América do Sul permitiu uma enorme variedade e diversidade de tamanhos, cores, comprimentos e tipos de grãos que existem ainda na atualidade (KISTLER et al., 2020).

Segundo Kistler *et al.* (2020) a trajetória do milho no continente europeu foi rápido e bem-sucedida. Há registros históricos do seu cultivo inicial na Espanha, por volta de 1.525. Poucos anos mais tarde, o seu cultivo se espalhou pela Europa mediterrânea e norte da África. No Século 17 o milho já era uma comida camponesa extremamente comum em toda a Europa mediterrânea. No Século 18 se tornou o principal alimento da Itália sendo a base da polenta, antes feita com trigo e grãos de bico (KISTLER et al., 2020).

Por meio dos cruzamentos, no sistema de melhoramento genético clássico, foram surgindo novas características, porém trata-se de um processo longo e demorado (WAN et al. 2019). A introdução das edições de genomas trouxe uma seleção mais rápida e eficiente (ANDORF et al. 2019). Por meio de técnicas de indução de mutação e cruzamentos entre plantas iniciou-se o desenvolvimento das cultivares de milho transgênicos ou híbridos (PEREIRA; BORGHI, 2020).

As primeiras tentativas se iniciaram na década de 1970 tendo os primeiros resultados no final da década de 1980. Entre o desenvolvimento do primeiro milho transgênico até o primeiro evento comercializado no mundo, foram quase 20 anos de intervalo (WAN et al. 2019).

De acordo com Wan et al. (2019), o primeiro milho transgênico comercializado no mundo foi o evento resistente ao herbicida de amplo espectro, glufosinato de amônio, em 1996. Em 2012 as variedades transgênicas já eram cultivadas em mais de 14 países. Outro evento transgênico que se disseminou foi a inserção de genes Cry, provenientes da bactéria de solo, *Bacillus thuringiensis* (Bt), que produz toxina capaz de provocar paralisia no sistema digestório de pragas invasoras ao se alimentarem da planta modificada (WAN et al. 2019).

Embora o milho transgênico estivesse sendo comercializado desde 1996 nos Estados Unidos, foi apenas no ano de 2007 que a comercialização foi autorizada pela Comissão Técnica Nacional de Biossegurança (CTNBio) no Brasil e o plantio foi iniciado a partir da safra de 2008/2009 (PEREIRA; BORGHI, 2020).

Os dois primeiros tipos de milho transgênico permitidos para cultivo no Brasil, aprovados em 2007, apresentavam resistência a insetos-praga (lepidópteros) ou tolerância ao herbicida *glufosinato* (PEREIRA; BORGHI, 2020).

No ano de 2008, quando o uso de cultivares transgênicas de milho foi liberado para comercialização no Brasil, a porcentagem de milho transgênico era de apenas 6%. Em apenas dez safras após a sua liberação comercial a porcentagem cresceu exponencialmente e se encontra acima de 59% desde a safra de 2014/2015, chegando a 89% na safra 2018/2019 (PEREIRA; BORGHI, 2020).

Na safra de 2019/2020, de 196 cultivares de milho comercializadas para cultivo, 66,8% são eventos transgênicos e apenas 65 cultivares são convencionais; e do total 79% são milhos híbridos (PEREIRA; BORGHI, 2020).

## **2.1 O milho como base das cadeias agroindustriais nacionais**

Historicamente, o milho, juntamente com o trigo e o arroz, são os cereais mais produzidos no mundo, porém a crescente demanda chinesa e a destinação de parcela do produto para a produção de etanol nos Estados Unidos, fizeram com que o milho se tornasse o cereal mais cultivado no mundo (BARCZSZ; SERRA, 2017). Atualmente, os maiores produtores de milho do Mundo, em milhões de toneladas, são: Estados Unidos (360,2), China (260), Brasil (109), União Europeia (63,7), Argentina (47,5), Índia (30,2); Ucrânia (29,5) e México (27,8) (USDA,2021).

A produção de milho a partir de 1930 passa a integrar sistemas agroalimentares mais complexos, um movimento de aumento da padrão e especialização crescente dentro dos sistemas agroalimentares, nos quais as atividades econômicas de agregação de valor nos níveis “pré e pós porteira” têm aumentado sua importância com o passar do tempo (COOK; CHADDAD, 2000).

O crescimento desta especialização pode ser explicado em parte pelas ações do governo do presidente Franklin Roosevelt por meio do New Deal nos anos de 1930 nos Estados Unidos, a adoção da Política Agrícola Comum (PAC) pela União Europeia e o incentivo ao cultivo do milho na China que popularizaram ainda mais o cereal estruturando uma cadeia produtiva complexa (BARCZSZ; SERRA, 2017).

O milho passou a ser a base de uma cadeia produtiva diversificada que envolve os setores de: insumos - fornecedores de defensivos, fertilizantes, sementes, máquinas; produção propriamente dita - produtores familiares e



empresariais; armazenamento - cooperativas e armazéns públicos ou privados - ; processamento – que pode ser dividido entre o primário (abrange indústria de rações animais, de produção de amido, fubás e flocos de milho) e o secundário (outros produtos finais, cereais, misturas para bolos e biscoitos); distribuição - para atacado e varejo, externo e interno (LEÃO, 2014).

No Brasil pode ser observada esta crescente especialização por meio da consolidação de um mercado interno que atualmente consome 70% da produção nacional de milho, que se distribui da seguinte forma em milhões de toneladas: alimentação animal (50,97), consumo industrial (9,85), consumo para etanol (7,19), consumo humano (1,08) e outros usos (4,07). Sendo o consumo animal distribuído entre aves de corte (24,83), aves de postura (4,41), suínos (13,78), bovinos (4,33) e outros animais (3,60) (CELERES, 2021).

O processamento industrial do milho pode ocorrer de duas maneiras: a moagem seca e a moagem úmida. No Brasil a principal indústria moageira é do tipo seca enquanto nos países mais desenvolvidos prevalece a moagem úmida. Essa indústria de moagem úmida gera os produtos de maior valor agregado, que, em sua maioria, são insumos industriais (BARCZSZ; SERRA, 2017).

No primeiro caso, isto é, na moagem seca, cujo principal destino é a produção de ração animal, foram consumidos em 2020 no Brasil um total de 81,5 milhões de toneladas de milho, isso porque a ração animal em geral é composta por 58% de milho e 21% de farelo de soja. O milho é responsável por compor mais da metade das rações para aves, suínos, bovinos, equinos, peixes, camarões, cães e gatos (SINDIRAÇÕES, 2021).

Vale destacar que o Brasil tem a segunda maior população de cães e gatos do Mundo, sendo 52 milhões cães e 22 milhões de gatos, totalizando 74 milhões de animais que formam uma grande demanda para a indústria processadora (BRAGANÇA; QUEIROZ, 2020). Este segmento dos animais de estimação apresentou um crescimento de 10% nas vendas em 2021 mesmo em um ano de pandemia e retração econômica (SINDIRAÇÕES, 2021).

A disponibilidade do milho no mercado interno proporciona uma produção de carne de aves que alcançou em 2021 o total de 13 milhões de toneladas, sendo exportadas 31% deste volume e um consumo per capita brasileiro de 45 quilos por habitante. Na produção de suínos algo semelhante, um volume de 4 milhões de

toneladas produzidas, sendo 27% para exportação e um consumo per capita de 16 quilos por habitante. No caso da produção de ovos foram 53 bilhões de unidades e apenas 0,3% para exportação e um consumo per capita de 251 quilos por habitante (ABPA, 2022).

Outro sinalizador da relevância da cadeia do milho na ótica da economia é o Valor Bruto da Produção Agropecuária (VBP) que em 2021 totalizou 1 trilhão de reais e teve como carro chefe a soja que responde por 30% deste valor. O milho figura como terceiro lugar em ordem de valores com 165 bilhões de reais ao ano (VBP, 2022).

No entanto ao se agregar o milho a seus principais usos no Brasil (aves e suínos) o VBP empata com a soja, também com 30% do valor total, se acrescido o segmento de bovinos, este valor alcança quase 50%, sendo o VBP por produto em bilhões de reais em 2021: soja (348), milho (165), bovinos (153), frangos (96), suínos (27) e ovos (18), juntos correspondem a 80% do VBP nacional (VBP, 2022).

Outro uso do milho que tem ganhado espaço no Brasil é na produção de etanol tendo usinas operando tanto com milho quanto com cana de açúcar (UNEM, 2021). Ainda em 1993 já se notavam as vantagens do milho em relação à cana para a produção de etanol, devido a possibilidade de armazenamento e industrialização ao longo de todo o ano, enquanto a cana se resume ao período de safra pois requer que seu processamento ocorra em curto espaço de tempo após a colheita (IRVINE, 1993).

Em 2020, a produção de etanol, a partir do milho, foi de três bilhões de litros, registrando um aumento de 80% sobre o ano 2019, mesmo com os efeitos da pandemia (CONAB, 2020). Além do etanol, a utilização do milho permite a produção do subproduto chamado DDG (*Dried Distillers Grain*), gerado após o processamento da usina e destinados à alimentação animal (BARCZSZ e SERRA, 2017). Em 2020, foram produzidos 7,37 milhões de toneladas desse subproduto (UNEM, 2021).

No setor industrial de maior tecnologia ainda há espaço para expansão visto que o cereal pode ser empregado na indústria alimentícia e química (amido, dextrina, glicose, óleo, margarina, fermento); bebidas, fermentação (enzimas, acetonas); químicas e mecânicas (fundição de metais, plásticos) e; rações de maior valor agregado (germe, protenose e refinasil) (SOUZA et al., 2004). Há vários produtos para uso humano que podem ser produzidos a partir do cereal como

cremes de barbear, tintas, látex, espessantes, colantes e óleos (BARCZSZ; SERRA, 2017).

Relativamente à utilização industrial para a moagem úmida, também há uma ampla destinação que abrange a fabricação de álcool, amido, açúcar de milho, óleo, dextrina (usada como adesivo) e diversas bebidas alcoólicas, como Bourbon e cerveja (BRAZ, 2003). Do caule da planta do milho se obtém o furfurool, que é utilizado em solventes, explosivos, plásticos, tecidos artificiais, borrachas sintéticas e fibras artificiais (BARCZSZ; SERRA, 2017).

Na forma de xarope, o milho transforma-se em matéria-prima para sorvetes, geleias, gomas de mascar e licores. De suas fibras, podem ser feitos o papel e as buchas de milho, que devido a suas propriedades medicinais, são prescritas como diurético (BARCZSZ; SERRA, 2017).

## **2.1 A competitividade internacional da Cadeia Produtiva do Milho brasileira**

Além de seus usos no mercado interno parte do milho produzido no Brasil é exportado, o País é o segundo maior exportador do grão, tendo alcançado em 2019 o valor de sete bilhões de dólares com exportações, resultado de 42 milhões de toneladas comercializadas. Em 2021 ocorreu uma redução da produção e em consequência também das exportações que caíram para 20 milhões de toneladas que renderam ao país quatro bilhões de dólares (COMEX, 2022).

Do ponto de vista da competitividade, o milho brasileiro participa do mercado dos dez maiores importadores globais do cereal que em 2021, em milhões de toneladas, foi assim distribuído: China (27), México (17,3), União Europeia (15,0), Japão (15,6), Coreia do Sul (11,3), Vietnã (13,5), Egito (9,7), Irã (8,5) e Colômbia (6,0) (USDA, 2021). Relativamente ao mercado dos cinco primeiros importadores, a participação majoritária é dos Estados Unidos, maior exportador global de milho (TRADEMAP, 2022).

O Brasil por outro lado tem uma participação maior nos mercados do Egito, Irã e União Europeia, e o Japão e Coreia do Sul têm aumentado gradativamente a escolha pelo cereal brasileiro (COMEX, 2022). Outros dois importantes *players* na exportação de milho são a Argentina e a Ucrânia. Sendo a Argentina grande provedora de milho para o Vietnã, Egito e Coreia do Sul e a Ucrânia para China,

União Europeia e Egito. Vale destacar que 50% do milho importado pela China em 2021 foi proveniente da Ucrânia (TRADEMAP, 2022).

A disponibilidade do cereal a um preço competitivo no mercado interno brasileiro contribui para que o Brasil seja o maior exportador do Mundo de carne de aves, que em 2020 alcançaram 4,3 milhões de toneladas, sendo os cinco principais destinos responsáveis por 51% do volume comercializado, que se distribuíram nas seguintes quantidades em mil toneladas: China (673), Arábia Saudita (467), Japão (410), Emirados Árabes (303) e África do Sul (261), seguidos pela União Europeia (252) (ABPA, 2022).

Outro setor com projeção mundial são as exportações de suínos, o Brasil é o quarto maior exportador do Mundo. Em 2020 foram 1,0 milhão de toneladas tendo a China como o principal destino importando um volume que correspondeu a 51% de total exportado. Os principais destinos da carne suína brasileira em mil toneladas foram: China (513), Hong Kong (166), Singapura (52), Chile (43) e Vietnã (40) (ABPA, 2022).

Visto a relevância da participação brasileira nos mais diversos mercados, é fundamental uma análise pormenorizada dos atores ao longo da cadeia que participam desta demanda. As informações referentes às sementes comercializadas no Brasil podem ser consultadas na lista de Plantas Geneticamente Modificadas aprovadas para Comercialização, disponibilizada pela Comissão Técnica Nacional de Biossegurança - CTNBio – vinculada ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (CTNBIO, 2021).

A partir dos dados das empresas que comercializam sementes de milho no Brasil, nota-se uma concentração das chamadas “*Gene Giant*” multinacionais que após as recentes fusões se concentraram ainda mais. Com a fusão da Du Pont com a Dow, formando a DowDuPont e posterior aquisição da Pioneer criando a Corteva, a mesma passou a responder por 40% dos cultivares de milho aprovados para comercialização, seguido pela Bayer - após a aquisição da Monsanto - com 32% e a Syngenta com 28% totalizando praticamente a integralidade do mercado (CTNBIO, 2021).

No caso dos agrotóxicos a partir de dados do Sistema de Agrotóxicos Fitossanitário – AGROFIT do MAPA, em consulta aos relatórios de produtos

formulados autorizado para comercialização, tem-se um total de 88 empresas que comercializam 975 produtos para controle de pragas no milho (AGROFIT, 2021).

No entanto o segmento de produtos novos que exige maior tecnologia é ocupado em grande medida pelos multinacionais, cerca de 95,7%, com destaque para os grupos Syngenta (21,2%), Bayer (15,3%) e Basf (12,4%), no qual as empresas de capital nacional somam apenas 4,3% (MEDINA, 2016).

Atualmente o setor de maquinário também assiste a um processo de fusões e aquisições, capitaneado pelas empresas John Deere, CNH (Case e New Holland) e Agco (Massey Ferguson e Valtra); respectivamente com 19%, 11% e 7% do Market share internacional. No Brasil, as três empresas juntas respondem por 96,3% das vendas de tratores. (MEDINA, 2016).

No tocante a produção de fertilizantes as importações exercem papel fundamental nessa fase da cadeia produtiva (CADE, 2020) e tem uma forte participação da multinacional Yara. No entanto, a importação e mistura dos produtos em território brasileiro também é feita por alguns grupos nacionais que ocupam 44,3% do mercado (MEDINA, 2016).

A partir do Registro Nacional de Unidades Autorizadas à Comercialização de Rações pelo Ministério da Agricultura, constata-se um total de 3.760 unidades de diferentes empresas e distintos portes, demonstrando uma participação relevante das empresas brasileiras próximo a 59% devido a enorme participação das empresas JBS e BR Food somados a grandes cooperativas sobretudo na região sul do Brasil (MAPA, 2021).

O grupo JBS/SEARA conta com 45 unidades de fabricação de ração, sendo 35 unidades da SEARA e 10 da JBS (MAPA, 2021). Em um mês a empresa pode produzir até 168 milhões de aves, distribuídas em mais de 9 mil granjas integradas e abater 2,8 milhões de cabeças de suínos por ano (SEARA, 2021 e JBS, 2021).

Quanto à produção de etanol de milho, a lista de usinas autorizadas a produzir biocombustível pela Agência Nacional de Petróleo Gás Natural e Biocombustíveis, contabiliza 18 usinas. Devido ao fato de ser um setor que ainda está em processo de formação, a participação brasileira também é grande próxima a 59% (ANP, 2021).

Nota-se então que a cadeia produtiva do milho no Brasil é longa e bem estruturada o que coloca o Brasil em uma posição privilegiada em nível global, no

entanto a mudança na percepção dos consumidores por alimentos mais sustentáveis e pelo bem-estar animal criam novos desafios que levarão a cadeia a ter que se adequar (VARGAS, 2015), (ABREU, 2021).

## **2.2 Sustentabilidade na cadeia produtiva nacional do milho**

Os impactos da ação da humanidade no meio ambiente se iniciaram ainda no início da civilização quando o homem deixou de ser nômade e passou a domesticar animais e praticar a agricultura. Neste momento foi possível formar maiores aglomerações humanas, o que aumentou a demanda por recursos naturais. A Segunda Revolução Industrial foi um marco na aceleração da degradação dos recursos naturais (DIAS, 2006).

A partir de então iniciou-se um processo de “*Overshoot*”, ou seja, o consumo humano dos recursos naturais passou a ser mais rápido do que os ecossistemas são capazes de se regenerar, e a produção de resíduos excedeu a capacidade assimilativa da natureza (SMITH, 2021). Essa situação impôs à Humanidade a necessidade premente de uma relação harmônica com a Natureza. Assim, o desenvolvimento no contexto econômico precisará envolver também a dimensão ambiental e social (DIAS, 2006).

Até a década de setenta, 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 setenta é apresentado o conceito de sustentabilidade como o estímulo ao desenvolvimento econômico, a igualdade social e a qualidade do meio ambiente (PHILIPPI, 2000). Esses debates foram intensificados por meio das conferências de Estocolmo (1972), do Rio de Janeiro (1992, 2012), de Paris (2015), que resultaram nos Relatórios Brundtland, (1984), Agenda 21 (1992), Protocolo de Kyoto (1997) e Agenda 2030 (2015) (TIRADENTES, 2021).

O ponto de partida para tornar a cadeia produtiva mais sustentável se inicia na mudança do manejo das lavouras visando às práticas sustentáveis e inclusivas. Os produtores rurais da União Europeia por exemplo já recebem uma remuneração

por praticarem uma agricultura ecologicamente correta (CAP, 2021). Nos Estados Unidos, o plano de Conservação de Reservas efetua o pagamento ao produtor para não cultivar em solos frágeis ou de interesse de preservação ambiental (USDA, 2022).

Na China o XIV Plano Quinquenal que irá cobrir o período de 2021 a 2025, vai no mesmo sentido, estruturado em cinco conceitos estratégicos de desenvolvimento: inovação, desenvolvimento coordenado, crescimento sustentável, abertura econômica e desenvolvimento compartilhado. As mudanças no manejo das lavouras se encontram detalhadas no Terceiro Plano Nacional do Censo do Solo publicado em fevereiro de 2022 (CHINA, 2022).

No Brasil, em contraste, cabe ao produtor rural os custos da manutenção e recuperação das Áreas de Preservação Permanente e da Reserva Legal. Somente o excedente do limite legal poderá compor o Mercado de Carbono, conforme o Código Florestal. Além disso, a demora na validação do Cadastro Ambiental Rural (CAR) impossibilita uma mensuração exata dessas áreas (BRASIL, 2012)

Quanto ao Mercado de Carbono na União Europeia, por exemplo, pioneira na adoção destes mercados os contratos futuros de carbono dobraram de preço (COMISSÃO EUROPEIA, 2022). Nos Estados Unidos o mercado está em estágio avançado de estruturação com as multinacionais ABCD (ADM, Bunge, Cargill e Dreyfuss), ofertando créditos para grandes consumidores como McDonald's, Microsoft e North (EPA, 2022).

Na China o governo XIV Plano Quinquenal também propõe uma postura mais proativa nos financiamentos de projetos verdes como forma de ressaltar sua contribuição para os objetivos da Agenda 2030 (CEBRI, 2021). No Brasil, por outro lado, o mercado de carbono ainda é incipiente, carece de regulação e precisa formar o mercado consumidor de títulos e contratos verdes (MMA, 2022).

A multimodalidade visando à redução das emissões de CO<sup>2</sup> também fará parte deste novo modelo, o escoamento de milho produzido em Mato Grosso com destino a Santos por meio dos portos do Arco Norte - Miritituba, Santarém e Vila do Conde - podem reduzir em até 80% as emissões de CO<sup>2</sup>. No entanto, o País conta com uma reduzida frota de embarcações para operarem na imensa costa brasileira de dez mil quilômetros (BNDES, 2018).

Em 2022 foi sancionada a Lei 14.301/22 que visa a modernização do transporte de cabotagem, e em consequência espera-se um aumento na frota marítima, porém as instalações portuárias de armazenagem ainda carecem de investimentos para absorver esta mudança (BRASIL, 2022).

Outro grande desafio é a mudança para uma matriz energética mundial renovável. Na última Conferência das Nações Unidas Sobre Mudança do Clima - COP 26, o Brasil assumiu a meta de alcançar até 2030 que 50% do consumo de energia do País seja proveniente de fontes renováveis. Neste sentido a expansão na geração de energia solar e eólica despontam como uma possibilidade de abastecer em nível regional a demanda por energia limpa (TIRADENTES, 2021).

No entanto a minigeração de energia fotovoltaica no Brasil é restrita e não envolve o pagamento e sim a disponibilização de crédito de energia. Para comercializar, o produtor terá que participar dos leilões da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), competindo com grandes usinas geradoras de energia. Torna-se necessário um sistema de compra e venda simplificado para micro-geradores junto às concessionárias, que possibilite a expansão da energia solar nas propriedades rurais, não apenas como forma de reduzir os custos, mas como uma fonte a mais de renda para o produtor (BRASIL, 2004).



### **3. MÉTODOS E TÉCNICAS DE PESQUISA**

#### **3.1 Classificação da Pesquisa**

Buscando um maior entendimento sobre a Cadeia Produtiva do Milho, os atores que a compõem e o contexto em que está inserida, propõe-se este estudo descritivo que busca descrever as características de uma determinada população ou fenômeno (GIL, 2002), e entender o seu contexto em uma perspectiva integrada (GODOY, 1995).

Por se tratar de uma pesquisa dentro das ciências sociais voltada a criar uma visão geral e um entendimento dos fatos que circundam a Cadeia Produtiva do Milho opta-se pela pesquisa aplicada (FLURY; COSTA, 2016); pois concentra a coleta de dados e análise dos cenários em torno de problemas presentes nas atividades das instituições e grupos sociais (THIOLLENT, 2009).

A Pesquisa Aplicada permite a elaboração de diagnósticos, identificação de problemas e busca de soluções por meio de um conjunto de atividades nas quais conhecimentos previamente adquiridos são utilizados para coletar, selecionar e processar fatos e dados, a fim de se obter e confirmar resultados, e gerar impacto (FLURY; COSTA, 2016).

Utilizando a Revisão Sistemática da Literatura é possível identificar o avanço conceitual do tema a ser explorado. A Revisão Sistemática introduz uma medida quantitativa nas análises das publicações científicas possibilitando identificar as publicações mais relevantes, assim espera-se mapear as principais propostas para um modelo de transição sustentável e as possíveis ações necessárias para sua concretização no contexto da cadeia produtiva estudada (PEROVANO, 2016).

A partir do que se tem debatido sobre o assunto e as principais tendências, se confrontará com a visão de especialista de forma a adequar a realidade brasileira e traçar possíveis cenários, seguindo os preceitos dos Estudos Prospectivos que são voltados para este tipo de análise de eventos futuros (AMATUZZI; MARTINS, 2003).

Em paralelo, é fundamental o uso de dados históricos sobre o contexto estudado, combinado com narrativas de especialistas para que se possa prospectar cenários. O Estudo Prospectivo é uma metodologia de natureza quantitativa que

permite a geração de vários cenários alternativos que se complementam por uma análise qualitativa advinda da opinião de especialistas (VARELA, 2021).

Neste estudo, os dados históricos da produção de milho, aves, suínos e bovinos contidos nas Pesquisas Agrícola e Pecuária Municipal do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) servem como base para o mapeamento da distribuição da cadeia no território brasileiro, acrescidos de indicadores sociais como População Economicamente Ativa (PEA), o Índice de Gini e a Renda Per Capita do Atlas Brasil.

Se buscará mensurar os impactos sociais e econômicos destas projeções somados a elementos ligados a sustentabilidade que poderão limitar ou não a expansão da cadeia ao longo do tempo, como por exemplo os dados de taxa de desmatamento do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE.

Visando interligar as várias forças, tendências e fatores condicionantes, a fim de visualizar futuros alternativos, recomenda-se o uso da Análise do Impacto de Tendência TIA e pela Análise dos Impactos Cruzados CIA preconizados pela Escola Probabilística (SILVA, 2017).

Se especificarão dois intervalos de tempo: a ocorrência de um evento até seu impacto máximo e o tempo até a sua estabilização, sendo necessária a opinião de especialistas para mensurar o grau de impacto máximo e o grau de impacto estável que os fatores influenciarão na projeção (SILVA, 2017).

Desta forma, somando a percepção advinda da revisão sistemática da literatura, com entendimento de atores que estão na lida diária do objeto da pesquisa e os dados históricos acrescidos de variáveis novas que podem interferir no futuro, é possível projetar cenários e estimar os seus impactos.

### **3.2 Revisão Sistemática da Literatura**

Buscando uma avaliação crítica da literatura e um avanço da qualidade e quantidade das informações se faz necessária uma Revisão Sistemática da Literatura (AMATUZZI; MARTINS, 2003). Um dos objetivos importantes da revisão é identificar as principais lacunas de pesquisa com base nas quais construções, teorias e métodos são amplamente aplicados em diferentes ambientes e contextos (CRIADO, 2020).

Para isso utilizou-se da revisão sistemática de literatura (RSL), conforme o Protocolo de Cronin (CRONIN; RYAN; COUGHLAN, 2008), devido a sua abordagem mais rigorosa e bem definida se comparada à revisão tradicional ou narrativa. As revisões sistemáticas fazem uma análise crítica das pesquisas relevantes (HART, 1998).

A primeira etapa para a elaboração de uma revisão envolve identificar o objeto da revisão da literatura (CRONIN; RYAN; COUGHLAN, 2008), no caso desta pesquisa o objeto foram as novas propostas para a agricultura mais sustentável do ponto de vista do manejo das lavouras e de práticas na pecuária e indústrias ligadas à cadeia produtiva do milho, apresentadas nos últimos dez anos.

As fontes de dados mais usadas em uma pesquisa são de origem primária, secundária, conceitual e teórica (CRONIN; RYAN; COUGHLAN, 2008). Para a coleta destes dados é importante que se utilizem critérios na seleção de periódicos e base de dados de relevância, neste caso optou-se pela base Science Direct e Web of Science (CRIADO, 2020).

As escolhas das palavras-chave são muito importantes para identificar os potenciais artigos científicos que serão utilizados na pesquisa, estas podem estar presentes no título e/ou no corpo do texto (RAMOS, 2014). Somados, a escolha das palavras-chave para uma revisão sistemática é preciso que os operadores booleanos traduzam com fidelidade a produção acadêmica referente ao assunto (CRONIN; RYAN; COUGHLAN, 2008).

Com o objetivo de percorrer os principais trabalhos acadêmicos referentes à Cadeia Produtiva do Milho foram feitas pesquisas em duas bases de dados, a saber a Science Direct e a Web of Science, e em ambas foram utilizados os termos The Maize Value Chain. As buscas dos termos foram no título, resumo e palavras-chave. Utilizando o operador booleano “AND” entre os termos pesquisados.

A primeira busca na Base Science Direct resultou em 161 artigos sem a limitação de data. Após a análise dos títulos houve uma redução para 55, e posteriormente, uma nova seleção com base na análise dos resumos limitou a 35 artigos.

A pesquisa foi repetida na Base da Web of Science, e diante do elevado número de resultados optou-se por restringir aos trabalhos realizados nos últimos 5 anos. Ainda assim, o corte indicou 349 artigos, que limitados apenas aos trabalhos

com dados abertos, foram reduzidos a 187. Em seguida, a análise dos títulos selecionou 118 trabalhos que submetidos à análise do resumo e à retirada de 8 trabalhos repetidos, restaram 31 artigos.

Seguindo o Protocolo de Cronin dividido em cinco passos, como forma de mitigar que pesquisas relevantes não sejam contempladas, fez-se o seguinte:

1. Definição da Questão de Pesquisa, como forma de responder a seguinte pergunta: Quais as propostas para a Cadeia Produtiva do Milho?

2. Definição do conjunto de critérios de inclusão e exclusão: os critérios abrangem a base científica de pesquisa selecionada, período de publicação, tipos de artigos, palavras-chave e operadores booleano, neste caso na base Science Direct não foi delimitado um período, enquanto na Web of Science os trabalhos realizados entre o período 2017-2022. Considerando a criteriosidade das bases de dados, não se limitaram critérios quanto os locais de publicação.

3. No caso da base Web of Science, além do corte temporal de cinco anos, reduziu-se também para apenas artigos com dados abertos o que diminuiu de 349 para 187 artigos. Somados a pesquisa anterior, foram analisados 279 artigos, que após análise de título e resumo reduziu-se para 66 publicações, para posterior análise da revisão sistemática.

4. Para a realização do fichamento e compilação dos dados, utilizou-se o software Microsoft Excel ® destacando-se os seguintes aspectos de cada estudo: título; autor; país; ano; local de publicação; Palavras-Chaves; Propostas; Desafios; Introdução e Conclusão.

5. Dessa forma, foi elaborada uma tabela com os resultados encontrados, para que fosse possível fazer uma análise e cruzamento das informações coletadas.

Os resultados da Revisão Sistemática estão no Capítulo 4.

### **3.3 O Estudo Prospectivo**

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

O objetivo das técnicas de prospecção é criar, explorar e testar os futuros possíveis e desejáveis para melhorar as decisões, incluindo a análise de como essas condições podem mudar a partir da implementação de políticas e ações (VINCENZI; PUPO, 2016).

O trabalho de prospecção visa a interligar várias forças, tendências e fatores condicionantes, a fim de visualizar futuros alternativos (VINCENZI; PUPO, 2016). Existem três grandes referências na literatura existente acerca da construção de cenários, sendo duas delas iniciadas nos Estados Unidos e outra na França: a *intuitive logics*, a *probabilistic modified trend* e a *la prospetive* (VARELA, 2021).

Para este estudo optou-se pela escola Probabilística pois adota a abordagem Tendência Modificada Probabilística [PMT] cujas bases são os trabalhos de Helmer e Gordon na Rand Corporation na década de 50, nos Estados Unidos. Essa abordagem incorpora duas metodologias diferentes, chamadas de: Análise do Impacto de Tendência [TIA] e Análise dos Impactos Cruzados [CIA] (HEINZE; MARINHO, 2018).

As duas análises visam avaliar as mudanças na probabilidade de ocorrência de eventos futuros, através da extrapolação de dados históricos que quando combinados com narrativas, os potenciais acontecimentos futuros tornam-se cenários (VARELA, 2021).

O processo por detrás de ambas as metodologias é semelhante, contudo, a CIA incorpora uma camada extra visto que na última fase, em vez de aceitar as probabilidades calculadas pelos especialistas, tentam determinar os impactos cruzados. Esta metodologia é de natureza quantitativa e usada para gerar vários cenários alternativos que podem ser complementados com outras análises qualitativas (VARELA, 2021).

A outra ferramenta a Análise do Impacto de Tendência TIA é uma técnica de previsão relativamente simples na qual são necessários dados históricos para montagem da curva inicial, pareceres de especialistas em relação aos eventos inesperados, e um computador para processar as informações (VINCENZI; PUPO, 2016). Esta análise foi desenvolvida com o objetivo de preencher uma lacuna entre métodos qualitativos e quantitativos de *forecasting*, ou prospecção, visando ajudar a apontar possibilidades futuras e rastrear tendências (SILVA, 2017).

### 3.5 Escolha dos Especialistas entrevistados

Diante da impossibilidade de se abordar a todos os atores que compõem e interagem no universo da cadeia produtiva nacional do milho, optou-se então pelas principais Entidades Representativas que podem ser vistas na tabela a seguir. As entrevistas foram de forma semiestruturada com um roteiro previamente estabelecido, combinado com perguntas espontâneas dirigidas a responder o problema de pesquisa.

**Quadro 2.** Lista de Entidades Setoriais sujeitas a entrevista

| <b>Insumos</b>   | <b>Produtor Rural</b>  | <b>Comercialização</b>  |
|--|--|---|
| - Abimaq<br>- Syngenta<br>- Renai – Rede de Irrigantes<br>- Corteva<br>- Bayer | -Abramilho<br>-Aprosoja<br>- GASS – Grupo Associado de Agricultura Sustentável         | -Abiove<br>-Anec<br>-Movimento Pró-Logística  |
| <b>Processamento</b>   | <b>Governo</b>   | <b>Pesquisa</b>   |
| -Abimilho<br>-Abpa<br>-Sindrações<br>-Unem<br>- Comigo ComBio                  | - Ministério da Agricultura<br>-Ministério do Meio Ambiente<br>-Ministério da Economia | - Embrapa Milho e Sorgo<br>- Embrapa Cerrados<br>- Embrapa Pecuária<br>- Insper/USP<br>- UFRGS<br>- UNB |

Fonte: Elaboração do autor

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) que representa cerca de 9.000 empresas de diferentes setores; a partir dos associados da CropLife Brasil que congrega 54 empresas e instituições de germoplasma (mudas e sementes), biotecnologia, defensivos químicos e produtos biológicos foi escolhido as três de maior relevância para a cultura do milho: Bayer, Corteva e Syngenta e; a Rede Nacional de Irrigantes (RENAI), 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) e a Associação de Produtores de Soja e Milho (APROSOJA) e o Grupo Associado de Agricultura Sustentável. A escolha da ABRAMILHO e da APROSOJA, além de sua força representativa, também acrescenta a importante função da presidência nas Câmaras Temáticas de Milho e a de Soja no âmbito do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento.

O Grupo Associado de Agricultura Sustentável – GASS é formado por produtores rurais que implementam práticas sustentáveis em larga escala com seus associados.

No tocante à comercialização do milho, os destaques são a Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais (ABIOVE), cuja atuação abrange as culturas de soja, girassol, mamona e milho; e a Associação Nacional dos Exportadores de Cereais (ANEC), que conta com 40 empresas associadas. Nesse mesmo contexto, também é relevante a contribuição do Movimento Pró-Logística, que envolve segmentos da agropecuária, indústria, comércio e outros da sociedade civil organizada voltados para temas de logística e armazenagem.

Relativamente ao processamento do milho, as principais entidades são a Associação Brasileira das Indústrias do Milho (ABIMILHO), fundada em 1977, e composta por empresas do segmento; a Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA), organização institucional da avicultura e da suinocultura do Brasil com 120 associados; o Sindicato Nacional da Indústria de Alimentação Animal (SINDRAÇÕES) fundada em 1953 e representa 90% da produção nacional de rações; e a União Nacional do Etanol de Milho (UNEM) que congrega as usinas produtoras de etanol de milho.

O posicionamento e a atuação do Estado brasileiro são fundamentais no estudo em questão. O ponto focal dos temas relacionados ao agronegócio brasileiro aponta para o Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento, mas também são relevantes o Ministério da Economia, por razões de ordem econômica e o do Meio Ambiente, dada a importância dos temas relativos à sustentabilidade.

### **3.6 Aplicação de questionários a produtores rurais**

Buscando atingir o objetivo específico de trazer os conceitos acadêmicos à realidade brasileira além das entrevistas com especialistas também foi aplicado um questionário para produtores rurais. O intuito foi identificar as práticas agrícolas efetivamente adotadas nas lavouras brasileiras, buscando cobrir diferentes Estados e Regiões do Brasil.

O instrumento foi conferido por especialistas da área. Buscando abarcar o maior número possível de produtores rurais optou-se por um questionário enxuto totalizando cinco perguntas abertas, e duas de múltipla escolha que demonstrassem o tamanho da área, as culturas plantadas e as práticas adotadas. As três perguntas

iniciais abertas foram: Qual seu Município e Estado? Qual o tamanho da sua área? Qual o tamanho da área própria e arrendada?

Ao todo foram 72 produtores rurais de 15 Estados distintos que somados corresponderam a 206 mil hectares. Destes 47 responderam de forma presencial e 25 por meio de um questionário online na plataforma Google Forms®. o questionário abarcou 206 mil hectares sendo 118,9 mil hectares de área própria e 64,2 mil hectares de áreas arrendadas. A estratégia de arrendamento se mostrou bastante presente respondendo por 65% dos produtores ou 47 dos questionários respondidos. Sendo cinco produtores sem nenhuma área própria e outros 18 em que a área arrendada é superior à sua área própria.



## **4 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Através da revisão da literatura, das entrevistas e dos questionários foi possível observar uma ligação entre o que é estudado na Academia e o que é praticado na cadeia produtiva do milho.

### **4.1 Revisão Sistemática**

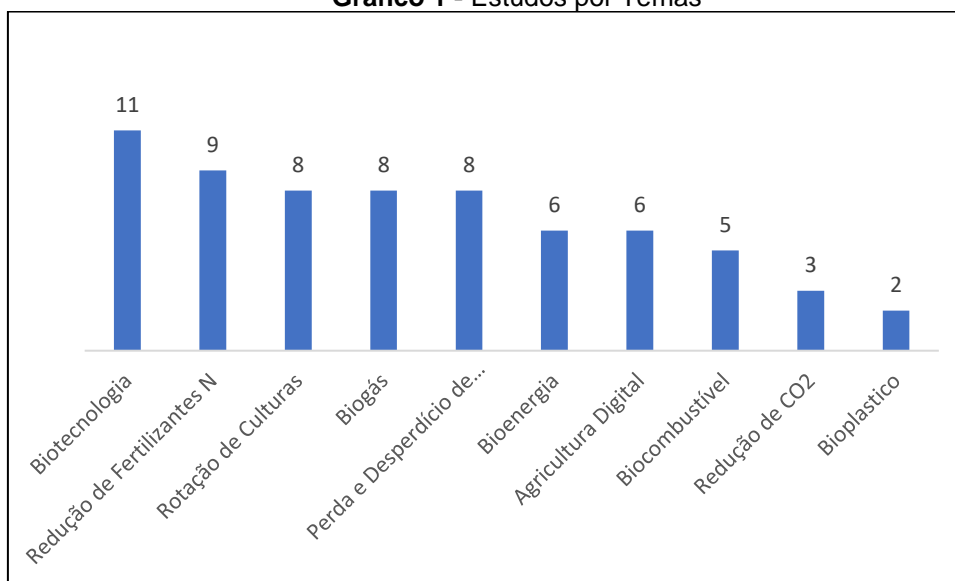
A revisão sistemática de literatura seguiu o protocolo especificado no Capítulo 3.

Em mãos dos resultados obtidos pela revisão sistemática, com foco em sustentabilidade da Cadeia Produtiva do Milho, notou-se um aumento no número de trabalhos publicados com uma prevalência entre os anos 2020 e 2021, os quais responderam por 50% dos estudos analisados. Também foi efetivada uma divisão entre estudos em que as propostas foram postas em prática ou não. No caso, dos 67 artigos escolhidos para análise 53% foram postos em prática.

Quanto ao direcionamento regional, o continente Africano foi o principal foco das pesquisas seguidos pela China, União Europeia, Brasil e Estados Unidos. O continente europeu teve o maior número de estudos, foram 24 pesquisas, seguido pelo continente africano que totalizou 19 trabalhos.

Os estudos foram agrupados segundo temas e similaridades o que resultou em dez grandes grupos sendo que os cinco maiores em número de estudos foram responsáveis por 66% dos trabalhos e se referem aos seguintes temas: Biotecnologia (11), Redução de Fertilizantes Nitrogenados (9), Rotação de Cultura (8), Biogás (8) e Perdas e Desperdícios de Alimentos (8).

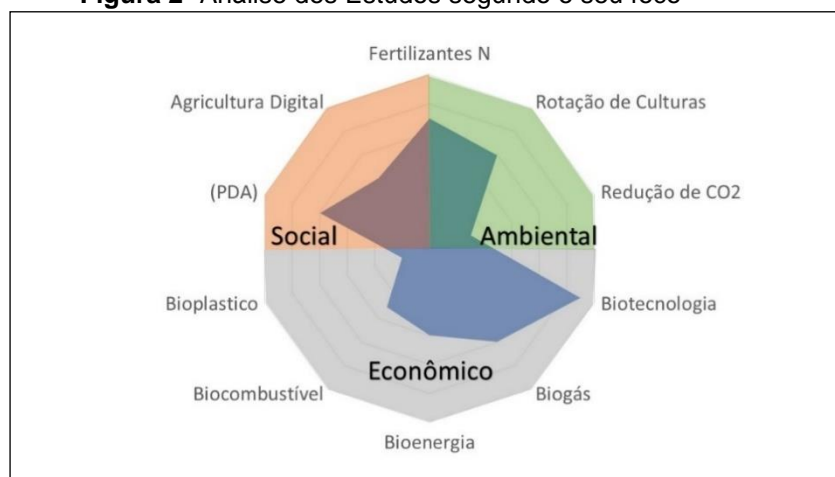
**Gráfico 1 - Estudos por Temas**



Fonte: elaborado pelo autor.

A análise mais acurada dos trabalhos levou à necessidade de classificar os trabalhos sob o critério do tripé da sustentabilidade, ou seja, em três focos: ambiental, social e econômico. A título de exemplo, nota-se que todos os trabalhos abordaram a questão ambiental e a sustentabilidade, porém, com enfoques distintos. Os temas Biotecnologia, Biogás, Bioenergia, Biocombustível e Bioplástico ainda que tragam benefícios sociais e ambientais foram considerados com foco no econômico. O resultado desta análise foi a constatação de que houve uma prevalência de estudos voltados para os ganhos econômicos, os quais totalizaram 32 estudos correspondentes a 48% do total, seguido pelo ambiental com 20 e o social com 14 trabalhos.

**Figura 2- Análise dos Estudos segundo o seu foco**



Fonte: elaborado pelo autor.

O foco no meio-ambiente enfatizou a questão da Redução de fertilizantes Nitrogenados, a Rotação de Cultura e a Redução de CO<sup>2</sup>. Já 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. O tripé da sustentabilidade é abordado em sua maioria e ainda que haja um foco maior em questões econômicas, são alicerçados na sustentabilidade o que inevitavelmente resultam em avanços sociais.

Finalmente, objetivando realizar uma análise pormenorizada, as seções foram classificadas em ordem decrescente do número de trabalhos e estruturadas da seguinte forma: um texto introdutório, seguido por uma tabela-síntese com a proposta e dificuldades encontradas pelos autores.

#### **4.1.1 Biotecnologia**

A adoção da biotecnologia e a seleção genética trouxeram melhoria na produtividade e sustentabilidade das lavouras (GROTE et al., 2021). Além de evidenciarem benefícios econômicos significativos para os produtores rurais, análises mostram os efeitos na renda bruta agrícola como explicação do porquê da crescente adoção entre os agricultores, tanto para o grande comércio quanto para a subsistência em pequena escala tem aumentado (BROOKES; BARFOOT, 2020).

No que concerne ao aspecto social também se pode afirmar que resultou em benefícios. As constatações evidenciaram vantagens da adoção do milho GM em diversos países, como no caso do Vietnã onde se evidenciaram benefícios socioeconômicos significativos para as propriedades que adotaram esta tecnologia (BROOKES; DINH, 2021)

O melhoramento genético também contribui para a redução nas emissões de 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). Também houve benefícios ambientais mais amplos (para a sociedade) associados a mudanças nas práticas de controle de ervas daninhas e pragas o que permitiu

reduzir a carga ambiental associada ao uso de pesticidas no milho (BROOKES; DINH, 2021).

Contudo, os resultados da utilização da transgenia ainda estão em discussão, sendo visto ora como elemento de pressão sobre o agroambiente ora como uma resposta modernizadora a uma crise econômica e ambiental (BINIMELIS; MONTERROSO; RODRÍGUEZ-LABAJOS, 2009).

A seleção genômica (GS) provou ser uma ferramenta poderosa para estimar valores genéticos na criação de plantas e gado. Tecnologias de sequenciamento recentemente desenvolvidas reduziram drasticamente o custo de genotipagem e aumentaram significativamente a escala de dados de genótipos usados para GS. Enquanto isso, métodos estatísticos de última geração foram desenvolvidos para fazer o melhor uso de dados de genótipos de alta densidade de marcadores (ZHANG et al., 2019).

As ferramentas técnicas utilizadas são os métodos de marcadores genéticos como a combinação do método GBLUP ou BayesR (ZHANG et al., 2019). Assim como a aplicação do framework Forças Motrizes – Pressões – Estado – Impacto – Respostas (DPSIR) para organizar e estruturar informações (BINIMELIS; MONTERROSO; RODRÍGUEZ-LABAJOS, 2009). Além de variedades de alto rendimento, a aplicação racional de fertilizantes e irrigação auxiliam a ampliar a produção de grãos (MWAMBOA et al., 2020).

A biotecnologia agrícola ajudou também os agricultores a produzir mais alimentos usando menos recursos, reduzindo os danos causados por pragas e controlando melhor as ervas daninhas. As características de resistência a insetos GM (IR) proporcionaram, em sua maioria, maiores rendimentos agrícolas por meio de melhores rendimentos e muitos agricultores também tiveram custos de produção mais baixos (especialmente menos gastos com inseticidas). A tecnologia GM tolerante a herbicidas (HT) tem contribuído principalmente para níveis mais altos de renda agrícola, ao reduzir os custos de produção, principalmente no controle de ervas daninhas (BROOKES; BARFOOT, 2020).

Além de incrementar a produtividade as novas variedades de milho devem visar também aumentar a densidade de nutrientes, melhorar as características que aprimoram a eficiência do processamento e reduzir as perdas e desperdícios (EKPA et al., 2018).

Um aspecto importante explorado pelos autores, se refere à saúde dos consumidores.. Um problema enfrentado por todo o mundo para garantir a disponibilidade de milho em boas condições para os seres humanos e animais é a presença de fungos e aflatoxinas causadores de câncer (WILLIAMS et al., 2011).

A compreensão da base genética permite também a seleção de variedades com maior teor de óleo do milho. A alta energia e os ácidos graxos poli-insaturados de seu óleo o tornam um óleo comestível de alta qualidade e saudável para os seres humanos. A seleção artificial de longo prazo de populações de milho com alto teor de óleo levou à criação de uma série de recursos genéticos, incluindo a população de alto teor de óleo de Illinois (IHO) e população de alto teor de óleo de Pequim (FANG, et al., 2021).

Relativamente a perdas e desperdícios, novas variedades voltadas para controlar toxinas no grão que possibilitam maior durabilidade ainda necessitam de estudos adicionais sobre germoplasma de milho para determinar se a resistência à infecção fúngica e o acúmulo de aflatoxinas estão associados ao mesmo ou a genes diferentes. Essas informações são muito úteis na elaboração de programas de melhoramento genético. As estimativas para os genes Mp313E, Mp715 e Mp717 indicam que essas linhagens de germoplasma devem ser úteis no melhoramento para resistência para o acúmulo de aflatoxinas (WILLIAMS et al., 2011).

Ainda sob a ótica da produção de alimentos, a biotecnologia aplicada ao milho e ao trigo auxiliam no combate à fome uma vez que estão largamente interligados com a dimensão da disponibilidade da segurança alimentar (GROTE et al., 2021). Dado o papel dominante do milho nos sistemas de cultivo na África Oriental e Austral, o Centro Internacional de Melhoramento do Milho e do Trigo (CIMMYT), está desenvolvendo variedades de milho de alto rendimento tolerantes à seca (DT) (LANGYINTUO et al., 2010).

Dentre as dificuldades e limitações que precisam ser superadas, estão a falta de acesso a sementes, de financiamento e de educação/treinamento (GROTE et al., 2021). Outras dificuldades identificadas, sobretudo na África, foram a enorme burocracia e a concentração na produção estatal na produção de novas variedades (LANGYINTUO et al., 2010).

Em termos gerais, uma conclusão interessante é de que a biotecnologia não pode ser vista como uma solução isolada ou uma “bala mágica”. Estratégias de

produção de culturas diversificadas sustentáveis e lucrativas, juntamente com estratégias de gestão pós-colheita que reduzem o desperdício de alimentos e a perda de qualidade nutricional contribuirão para melhorar a nutrição, a saúde e a vida dos consumidores (EKPAA et al., 2018).

Outro desafio em relação à biotecnologia tem caráter de gestão, uma vez que quando se trata do uso de culturas tolerantes a herbicidas (HT) nota-se que a dependência excessiva do uso de glyphosate e a falta de rotação de culturas e de herbicidas pelos agricultores tem contribuído para o desenvolvimento da resistência de plantas daninhas (BROOKES; BARFOOT, 2020). A biotecnologia precisa também estar aliada a outras práticas, com base em evidência de campo em Gana, conclui-se que é aconselhável melhorar o cultivo de milho aprimorando a dosagem de NPK/ureia, semear sementes de variedades de alto rendimento, bem como praticar irrigação suplementar (MWAMBOA et al.,2020).

O quadro a seguir se propõe a elencar os trabalhos analisados, as propostas e os desafios enfrentados.

**Quadro 3.** Estudos sobre Biotecnologia

| <b>Autor</b>                            | <b>Proposta</b>  | <b>Desafios</b>  |
|---|--|--|
| (Grote; Fasse; Nguyen; Erenstein, 2021) | Melhoria da produtividade e sustentabilidade da agricultura de trigo e milho.  | Restrições para a adoção: acesso a sementes, financiamento e educação/treinamento.   |
| (Williams et al., 2011)                 | Linhagens resistentes ao acúmulo de aflatoxinas  | Necessário estudos adicionais de germoplasma para determinar se a resistência à infecção fúngica e ao acúmulo de aflatoxinas estão associados ao mesmo ou a genes diferentes |
| (Langyintuo et al., 2010)               | Desenvolvimento de variedades de milho de alto rendimento tolerantes à seca (DT) na África.  | Dificuldades de disseminar novas cultivares, reduzir a burocracia e a concentração estatal na produção de novas variedades   |
| (Mwamboa et al.,2020)                   | Melhoramento do cultivo de milho em Gana com dosagem de NPK/ureia, semear sementes de variedades de alto rendimento e praticar irrigação suplementar | Escassez de dados limitados de fontes primárias  |
| (Ekpaa et al., 2018)                    | Busca de variedades com maior densidade de nutrientes que aumentam a eficiência do processamento local e reduzam o desperdício                       | Necessário além das variedades uma gestão pós-colheita que reduza desperdício de alimentos e perda de qualidade nutricional  |
| (Fang, et al., 2021)                    | Bases genéticas para seleção de milho com maior teor de óleo   | Os métodos analíticos e marcadores moleculares tiveram uma precisão baixa  |

|  |  |  |
|--|--|--|
| (Zhang,; Yin; Wang,; Yuan; Liu, 2019)            | Uso da combinação do método GBLUP e BayesR para edição genômica.   | Dificuldade na previsão de características de baixa herdabilidade controladas por uma grande quantidade de genes com efeitos menores |
| (Khatri-Chhetri et al., 2021)                    | Melhoramento genético e seu potencial na redução de emissões de GEE  | A implementação está condicionada ao apoio técnico e financeiro de financiamento nacionais e multilaterais                           |
| (Binimelis; Monterroso; Rodríguez-Labajos, 2009) | A aplicação do framework Forças Motrizes – Pressões – Estado – Impacto – Respostas (DPSIR) para organizar e estruturar informações genéticas | Necessário redefinir as categorias do DPSIR para uma melhor adequação  |
| (Brookes; Dinh, 2021)                            | Benefícios socioeconômicos e ambientais da biotecnologia na cultura do milho no Vietnã   | Principal entrave para a disseminação da biotecnologia foi o elevado custo com sementes  |
| (Brookes; Barfoot, 2020)                         | Aumento de renda para produtores que adotaram a biotecnologia  | Surgimento de casos de plantas daninhas resistentes a inseticidas aumenta custos   |
| Schader et al., 2021)                            | Avaliar a agricultura sob perspectiva sócio econômica é importante para o desenvolvimento sustentável  | Estudos criteriosos ainda são insuficientes  |

Fonte: Elaboração do autor

Do ponto de vista dos produtores rurais brasileiros a adoção de variedades transgênicas de milho se dá em quase sua totalidade superando os 90% das lavouras (CELERES, 2021). Resultado que também foi observado nos questionários aplicados por esta pesquisa aos produtores em que todos informaram utilizar variedades transgênicas.

#### 4.1.2 Redução de Fertilizantes Nitrogenados

Os solos agrícolas são a principal fonte antropogênica de emissões de N<sub>2</sub>O, um dos mais importantes gases de efeito estufa, devido ao uso de fertilizantes nitrogenados (N) (FIEUZAL; SICRE; TALLEC, 2020). O fertilizante de nitrogênio representa um enorme desafio para a agricultura moderna. Embora essencial para alcançar altos rendimentos das culturas, seu uso abundante torna o fertilizante o principal contribuinte para a poluição global por nitrogênio, que apresenta riscos substanciais para o clima, a saúde humana e os ecossistemas (MCLELLAN et al., 2018).

O nitrogênio não capturado na cadeia de suprimento de alimentos provavelmente será perdido para o meio ambiente, com impactos na atmosfera (depleção do ozônio estratosférico, aquecimento global e formação de ozônio troposférico, material particulado e poluição atmosférica), na terra (solo acidificação, danos foliares, declínio florestal, perda de biodiversidade e eutrofização terrestre) e na água (zonas mortas costeiras, eutrofização de água doce, nitratos na água potável e perda de biodiversidade) (MCLELLAN et al., 2018).

Os custos ambientais associados à produção de fertilizantes inorgânicos e ao uso ineficiente de nutrientes na agricultura, incluindo emissões de gases de efeito estufa, degradação do solo, ecossistemas de água doce e marinhos e diminuição da qualidade do ar, provavelmente crescerão e por isso a necessidade de mudanças (BELLARBY et al., 2018). A fertilização fracionada de N ou fertilizante N de liberação lenta/controlada deve ser usada para evitar os efeitos negativos na estrutura da comunidade diazotrófica do solo presente na rizosfera (CHEN et al., 2021).

Relativamente à diminuição da poluição causada por metais pesados no solo, como o nitrogênio, embora o biocarvão possa reduzir a biodisponibilidade de metais pesados em solos ácidos e reduzir seu risco de entrar na cadeia alimentar, as condições para solos alcalinos, como solos loess com altos valores de pH, alto teor de carbonato e baixo teor de matéria orgânica, permanecem obscuras e o crescimento do milho é amplamente inibido devido ao alto valor do pH do solo mesmo que haja a redução dos metais pesados (ZHAO et al., 2016).

Visando a reduzir as emissões de gases de efeito estufa da agricultura pelo uso de fertilizantes nitrogenados é importante a utilização de aplicações escalonadas e de liberação lenta (CHEN et al., 2021). E de forma complementar também é necessária a introdução de fertilizantes orgânicos, apesar da alta exigência da cultura do milho. Em outros cultivos como a soja, é possível fazer a substituição de forma quase integral (MORETTI et al., 2020). Ressalte-se que os fertilizantes orgânicos promovem uma maior atividade biológica do solo em especial na rizosfera (WANGA et al., 2018) em contraste com a aplicação em longo prazo de fertilizantes minerais nitrogenados que reduzem a atividade biológica da rizosfera reduzindo a fertilidade do solo (WANGA et al., 2018).



Cabe acrescentar que como um nicho ecológico único, a rizosfera vegetal pode moldar uma comunidade microbiana, afetando diretamente o crescimento das plantas por meio de um feedback positivo ou negativo. (CHEN et al., 2021). Assim, a composição das comunidades microbianas na rizosfera tem um impacto maior no crescimento e na saúde das plantas do que no solo (WANGA et al., 2018).

A abundância, diversidade e composição das comunidades bacterianas diazotróficas são fatores biológicos chave que determinam a capacidade de fixação de nitrogênio do solo (CHEN et al., 2021) pois fornecem às plantas nutrientes minerais, atuam como protetores contra fitopatógenos, ajudam as plantas a resistir ao sol e ao calor, melhoram o sistema imunológico e o seu crescimento produzindo fitohormônios (WANGA et al., 2018).

O fertilizante nitrogenado é um dos principais fatores abióticos que afetam os diazotróficos do solo, portanto, os efeitos da fertilização do solo nas comunidades bacterianas diazotróficas são uma preocupação crescente. Em conclusão, em estudo realizado durante 36 anos, diferentes taxas de fertilização nitrogenada tiveram um forte impacto nas comunidades bacterianas diazotróficas do solo e no crescimento das plantas, visto que ocorreu uma diminuição significativa da abundância, riqueza de espécies e da diversidade da comunidade diazotrófica, alterando assim a composição da comunidade da rizosfera, pois seleciona determinados microrganismos de rápida proliferação (CHEN et al., 2021).

Além dos fertilizantes N, os microrganismos da rizosfera também são altamente afetados pela heterogeneidade ambiental como espécies vegetais, genótipos e técnicas de manejo de culturas, como sistemas de cultivo contínuo.

A comunidade microbiana na rizosfera é derivada principalmente da comunidade do solo circundante. Neste sentido, estudos do solo negro chinês conduzidos até o momento mostraram que a aplicação a longo prazo de fertilizantes inorgânicos em comparação com esterco mudou as comunidades microbianas do solo e a biodiversidade. Os fertilizantes orgânicos aumentaram a biodiversidade e a abundância bacteriana, enquanto os fertilizantes inorgânicos diminuíram (WANGA et al., 2018).

A compatibilização entre fertilização mineral e fertilizante orgânico reciclado representa uma solução viável para economias circulares. A adubação orgânica não foi suficiente para atender as demandas de nutrientes de culturas como o milho,

embora no caso da soja tenha sido positivo (MORETTI et al., 2020). O uso da reciclagem de resíduos agrícolas, coprodutos e subprodutos é necessária para criar cadeias agroalimentares econômicas circulares, a utilização de resíduos orgânicos para fertilização se mostrou positivos também na criação de um estoque de N, no entanto não foram o suficiente para atender a demanda total de N do milho, sendo necessária a combinação com N mineral. Além disso, a substituição do fertilizante mineral N por composto mitigou efetivamente as emissões de N<sub>2</sub>O em trigo e milho. (MORETTI et al., 2020).

Neste contexto a agricultura orgânica se mostra uma ferramenta importante para a redução do uso de nitrogenados, apesar de apresentar custos mais elevados que as práticas convencionais. Trata-se de uma alternativa ecologicamente correta, aplicável globalmente aos sistemas agrícolas convencionais, orientada pelos princípios de saúde, ecologia e cuidados em geral.

A Comunidade que Sustenta a Agricultura (CSA) se destaca por sua proposta de mudança nos preceitos da produção agrícola deslocando a preocupação da competitividade para a sustentabilidade (CRISTIANO, 2021). Estudos econômicos e financeiros mostram que a pequena e média agricultura orgânica na Itália é ao mesmo tempo ecologicamente correta e competitiva. Se, como mencionado, a literatura existente já é pobre quando se trata de estudos aplicados a fazendas orgânicas de pequena escala, a lista é ainda menor quando estão envolvidos projetos cooperativos inovadores, como uma Comunidade que Sustenta a Agricultura (CSA) na qual os consumidores contribuem por meio de uma cota fixa mensal para pequenos produtores e recebem uma cesta semanal ou quinzenal de produtos agrícolas (CRISTIANO, 2021).

O quadro a seguir se propõe a elencar os trabalhos analisados, as propostas e os desafios enfrentados.

**Quadro 4.** Estudos sobre a Redução de Fertilizantes Nitrogenados

| <b>Autor</b>          | <b>Proposta</b>  | <b>Desafios</b>   |
|-----------------------|--|---|
| (Chen et al., 2021)   | Aplicação escalonada de fertilizantes nitrogenados e liberação lenta/controlada. | Resultado conflitante reflete a relação complexa entre a comunidade microbiana do solo e o crescimento da cultura           |
| (Moretti et al.,2020) | Comparativo da adubação mineral e orgânica de nitrogênio.                        | A adubação orgânica não foi suficiente para atender as demandas de nutrientes de culturas como o milho, no caso da soja sim |

|                         |   |  |
|-------------------------|---|--|
| (Zhao et al., 2016)     | Uso de biocarvão para reduzir a poluição com metais pesados no solo.                      | Bons resultados em solos alcalinos porém em solos ácidos, com alto teor de carbonato e baixo teor de matéria orgânica, permanecem obscuros.            |
| (Wanga,et al., 2018)    | Uso de fertilizantes orgânicos para promover a atividade biológica do solo na rizosfera   | Somente a adubação orgânica não é suficiente para atender a demanda por nutrientes nas lavouras de milho   |
| (Schader et al., 2021)  | Agricultura orgânica (AO) como uma alternativa ecologicamente correta                     | A principal desvantagem para as fazendas orgânicas são os rendimentos menores e o custo mais elevados.   |
| (Cristiano, 2021)       | Comunidade que Sustenta a Agricultura CSA na Itália                                       | Literatura escassa para projetos cooperativos inovadores, como uma CSA.  |
| (McLellan et al., 2018) | Desenvolvimento de uma metodologia de balanço de nitrogênio N-Balance                     | Necessário maior envolvimento de agricultores e entidades da cadeia de suprimentos em parceria com cientistas, indústria privada e assistência técnica |
| (Bellarby et al., 2018) | Política a nível de condado visando otimizar o uso de fertilizantes nitrogenados na China | Necessário concentrar recursos públicos para pesquisa e planejamento nos níveis de condado e subcondado.   |

Fonte: Elaboração do autor

No caso brasileiro, a adoção da sucessão de soja por milho implica em uma redução significativa na aplicação de fertilizantes nitrogenados, a utilização desta sucessão pode ser observada no fato de que 80% do milho brasileiro é plantado na Segunda Safra, normalmente após a colheita da soja (CONAB, 2022). No questionário aplicado apenas 2% não faziam essa sucessão.

#### 4.1.3 Rotação de Cultura e Produtividade

As consequências negativas da crescente especialização são bem conhecidas: tensões sobre a água em áreas com extensas monoculturas, aumento do consumo de energia fóssil e emissões de gases de efeito estufa relacionados ao quase desaparecimento de leguminosas (MEYNARD et al., 2018). Diante desse quadro, uma gama de culturas pode ser objeto de rotações o que deve ser mais intensamente utilizada. Um dos exemplos citados foi a rotação do arroz com milho e feijão-mungo no sul da Ásia (KUMARA et al., 2018). É fundamental acrescentar a estes sistemas as leguminosas como a soja que servem para fixar nitrogênio no solo e aumentam a produtividade das culturas subsequentes (ACEVEDO-SIACA;

GOLDSMITH, 2020). Neste sentido, leguminosas como o desmodium que diversifica os microbiomas fúngicos e favorece a fertilidade são adotados na África (MWAKILILI et al., 2021)

Outro benefício da prática de rotação de cultura é o controle da erosão do solo, mas é preciso que se tenha em consideração as diferentes zonas agroecológicas para a escolha das culturas mais indicadas (BRANDT et al., 2016). A Integração da lavoura com a pecuária se soma aos ganhos da rotação de culturas com o acréscimo de mais uma atividade de renda para o produtor (ESTEVEZ; BRIGAG; MORGADO, 2021).

Esta rotação tem demonstrado que existem oportunidades transformadoras para quebrar o ciclo de rendimento estagnado e uso ineficiente de recursos nos sistemas de cultivo baseados em cereais mais produtivos do sul da Ásia. Dentre os exemplos citados está o acréscimo da cultura do arroz ao cultivo do milho na tentativa de conter o declínio do lençol freático e do problema da escassez de mão de obra. Igualmente a introdução do feijão-mungo tem se proporcionado ganhos de produtividade (KUMARA et al., 2018).

O plantio do milho na estação das monções parece ser uma alternativa adequada e lucrativa para o arroz na Índia, pois pode superar os problemas de crescente escassez de recursos. Os resultados iniciais para os dois primeiros anos dos experimentos demonstraram aumentos na produtividade do sistema, produtividade da água e lucratividade para os produtores em relação às práticas convencionais (KUMARA et al., 2018).

Outra alternativa é a introdução de leguminosas num sistema de produção envolvendo trigo, alfafa e milho em países da União Europeia. As chamadas rotações curtas (colza-trigo-cevada, colza-trigo-trigo, colza-trigo, milho-trigo) são cada vez mais frequentes, porém no caso do trigo, em 17% das áreas cultivadas um cultivo de trigo é seguido por outro igual, e em algumas regiões, essa proporção pode ultrapassar 30%. Sugere-se também a inclusão de “minor crops” no sistema, no entanto alguns desafios como a falta de uma cadeia estruturada, escassez de sementes e agroquímicos registrados para a cultura são fatores limitantes (MEYNARD et al., 2018).

A rotação de cultura tem um potencial também de reduzir a erosão do solo que são evidenciados pela análise CSSI combinada com métodos estatísticos

bayesianos, revelando-se uma abordagem promissora para mensurar a erosão no solo em diferentes cultivos. No entanto, a metodologia ainda necessita de análises em diferentes zonas agroecológicas (por exemplo, climas temperados versus tropicais) para oferecer maior robustez à técnica (BRANDT et al.,2016).

Evidências empíricas mostram a complementaridade 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 e nas regiões de clima temperado, subtropical e tropical. A pesquisa sobre este assunto na África subsaariana (SSA) apresenta evidências técnicas claras dos resultados positivos da rotação da soja com o milho, entretanto, sua adoção ainda é limitada (ACEVEDO-SIACA; GOLDSMITH, 2020).

Estudos realizados ainda em 1988, mostraram que a rotação milho-soja pode ser eficaz na redução de severas perdas de rendimento do milho provocadas pela erva daninha parasita striga. No entanto, os sistemas contínuos de milho persistem e as perdas econômicas significativas causadas pela striga também (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. De fato, os rendimentos do milho são maiores quando plantados após o cultivo da soja, quando comparados ao cultivo contínuo do cereal. Ao contrário do cultivo contínuo de milho, onde a produtividade diminui com o tempo, os rendimentos da soja e do milho cultivados em rotação podem ser sustentados ao longo dos anos (ACEVEDO-SIACA; GOLDSMITH, 2020).

As etapas da rotação do consórcio soja-milho podem ser divididas em diferentes escalas de tempo com base no clima regional e nos padrões pluviométricos. Por exemplo, em regiões limitadas pela chuva, a soja pode ser plantada em um ano e o milho no ano seguinte. Em áreas que têm várias estações chuvosas, como partes do leste e sul da África, soja e milho podem ser alternados entre as estações. É importante notar que a soja e o milho têm diferentes exigências de cultivo e requerem práticas de cultivo distintas o que significa complementariedade. O resíduo de soja subterrâneo permanece no solo para alcançar todos os benefícios de nitrogênio e matéria orgânica de uma rotação soja-milho (ACEVEDO-SIACA; GOLDSMITH, 2020).

Entretanto, a rotação de cultura deve ser adaptada às características econômicas, climáticas e sociais. Sem dúvida, os pequenos produtores da África e Ásia se beneficiariam da pesquisa de rotação milho-soja que se adapte à sua produção, infraestrutura, instituições e realidades socioeconômicas locais (ACEVEDO-SIACA; GOLDSMITH, 2020).

A produtividade média mundial da soja é de cerca de 2,5 toneladas por hectare, enquanto os pequenos produtores na região subsaariana conseguem apenas um terço disso, ou seja 0,8 toneladas. Assim, adotar a rotação de soja ao cultivo de milho pode aumentar substancialmente a produtividade (ACEVEDO-SIACA; GOLDSMITH, 2020).

No sentido de estimular o plantio de leguminosas por pequenos produtores e criar um mercado consumidor, uma possibilidade seria a criação de programas voltados para a produção de biodiesel semelhante ao Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB), lançado em 2004 pelo governo brasileiro (MADELEINE et al., 2013). O referido programa conta com três objetivos: (i) programa sustentável que promove a inclusão social e o desenvolvimento regional; (ii) sustentação de preços, qualidade e oferta de forma competitiva; (iii) produção de biodiesel a partir de diversos óleos vegetais. O Selo Combustível Social é o principal instrumento de política relacionado ao objetivo primeiro do PNPB. É uma certificação obrigatória para produtores industriais de biodiesel (MADELEINE et al., 2013).

Para obter o citado selo combustível social, os produtores de biodiesel devem adquirir um percentual mínimo de matéria-prima primária de agricultores familiares, estabelecer contratos com agricultores familiares e traçar um plano de prestação de serviços de apoio técnico aos agricultores familiares (MADELEINE et al., 2013). Referidos incentivos visa incentivar a região semiárida do Brasil, onde está localizado grande número de agricultores familiares. Novas infraestruturas como usinas e usinas de biodiesel foram estabelecidas nesta região, no entanto ainda não se logrou atingir as metas iniciais do programa, sendo necessário expandir a participação do pequeno agricultor na produção de biodiesel (MADELEINE et al., 2013).

Uma experiência interessante na África é o uso de planta de cobertura como forma de reduzir pragas e fungos, trata-se do “push-pull”, ou seja, uma tecnologia de consórcio que está se espalhando rapidamente entre os pequenos agricultores na

África Subsaariana. A tecnologia intercala cereais com desmodium, uma planta local que combate as brocas do caule, elimina ervas daninhas parasitas, melhora a fertilidade do solo e a produção de cereais. O consórcio de desmodium diversifica os microbiomas fúngicos e favorece os táxons associados a importantes serviços ecossistêmicos, incluindo fitossanidade, produtividade e segurança alimentar (MWAKILILI et al., 2021).

O consórcio entre soja e milho, somado à integração com a pecuária, também pode melhorar a produtividade da água da chuva. Quando se compara com o plantio convencional, observa-se maior preservação de água pluvial em comparação com um sistema de agricultura convencional. Produtividade consistente e rendimentos mais altos podem melhorar a segurança alimentar e a subsistência econômica dos pequenos agricultores. Além disso, as rotações de soja têm tido muito sucesso em outras partes tropicais do mundo, oferecendo uma grande promessa de intensificar a produção agrícola na ASS (ACEVEDO-SIACA; GOLDSMITH, 2020).

Os sistemas integrados lavoura-pecuária (ICLS) surgem como uma técnica 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; BRIGAG; MORGADO, 2021). Uma gama de produtos e coprodutos são passíveis de cultivo sob o regime de integração Lavoura e Pecuária, com destaque para pecuária bovina, soja, milho e os coprodutos como biogás do sebo, biodiesel da soja e etanol de milho, além dos derivados da silvicultura e o bioplástico (ESTEVES; BRIGAG; MORGADO, 2021).

Um estudo referência projetou em uma propriedade no Centro-Oeste brasileiro diferentes atividades agropastoris e com rotação de culturas de soja e milho, criação de gado em pastagens e confinamento – originando múltiplas saídas de biocombustíveis – biodiesel, bioetanol e biogás. As emissões de GEE e o balanço energético são considerados funções-objetivo de aplicação do modelo. Os biocombustíveis que estão associados a essas atividades agrícolas do ICLS são o biodiesel de soja (Soy-BD), biodiesel de sebo (Sebo-BD), bioetanol de milho (Milho-BE) e biogás de esterco bovino (Estrume-BG ) (ESTEVES; BRIGAG; MORGADO, 2021).

A utilização da Integração Lavoura-Pecuária além de ganhos em nível de fazenda também traz benefícios no segmento de processamento. Os resultados

mostram que a implementação das melhores práticas agrícolas para produção de ração animal permite maior economia de água pluvial em comparação com um sistema de agricultura convencional, o que impacta positivamente na produtividade hídrica da carne de frango e suíno (CARRA et al., 2020).

O quadro a seguir se propõe a elencar os trabalhos analisados, as propostas e os desafios enfrentados.

**Quadro 5.** Estudos sobre a Rotação de Cultura e Produtividade

| <b>Autor</b>                                 | <b>Proposta</b>   | <b>Desafios</b>   |
|--|---|---|
| (Brandt et al., 2016)                        | Método para mensurar a erosão no solo em diferentes cultivos utilizando a análise CSSI combinada com métodos estatísticos bayesianos                    | Ainda é preciso uma análise em diferentes zonas agroecológicas com diferentes climas                                      |
| (Esteves; Brigag; Morgado, 2021)             | Sistemas integrados lavoura-pecuária (ICLS) como técnica para melhorar a fertilidade do solo e otimizar os ciclos biológicos na produção de bioenergia. | No entanto as emissões de GEE se mantêm similar aos modelos convencionais   |
| (Kumara et al, 2018)                         | Sistemas de rotação de cultivo como forma de aumentar a lucratividade e reduzir as emissões de GEE em nível de fazenda.                                 | Promissor tecnicamente, mas em casos como de políticas de preços na Índia para o arroz desestimulam a rotação de culturas |
| (Acevedo-Siaca; Goldsmith, 2020)             | Rotação entre milho e soja é eficaz na redução das perdas de rendimento com a erva daninha parasita <i>Striga</i> na África                             | Falta de um mercado consumidor de soja que possa incentivar maior produção  |
| (Meynard et al., 2018)                       | Maior diversificação de culturas com o uso de Minor Crops é necessária para a transição agroecológica   | Baixa disponibilidade de variedades melhoradas e métodos de proteção de plantas Minor Crops e restrições logísticas       |
| (Mwakilili et al., 2021)                     | Uso do consórcio com desmodium diversifica os microbiomas fúngicos produzindo melhores rendimentos e serviços ecossistêmicos.                           | Dificuldade de disponibilidade de sementes de Desmodium   |
| (Carra; Palhares; Drastig,; Schneider, 2020) | Integração Lavoura-Pecuária permite melhor utilização da água permitindo melhora na produção de ração para aves e suínos.                               | Não considera as previsões de mudanças climáticas e seus impactos nos modelos atuais                                      |

Fonte: Elaboração do autor

Um ponto que merece destaque na agricultura brasileira é a rotação de culturas com a soja, de acordo com o resultado dos questionários aplicados: 52



produtores, ou 72%, informaram fazer a rotação de cultura, além disso 25 produtores, ou 34%, disseram realizar a integração da lavoura com a pecuária.

#### **4.1.4 Biogás**

A energia renovável apresenta forte potencial por ser uma fonte estável e previsível (fator importante em termos de segurança energética) cumprindo uma série de funções positivas não só para o sistema elétrico de potência, mas também econômicos e ambientais pois diminui as emissões de GEE e proporciona benefícios sociais globais e locais ao ajudar a ativar as áreas rurais, criar novos empregos e aumentar a atratividade de investimentos regionais (KONIECZNA; ROMAN; SLIWINSKI, 2021).

O biogás é produzido pelo processo de digestão anaeróbica (DA) e pode ser considerado como um modelo de negócio sustentável em termos de circularidade, eficiência no uso de recursos, processamento e fluxos de energia, capaz de criar valor a partir de recursos biológicos, resíduos e resíduos subutilizados. (PIRELLI et al., 2021)

A digestão anaeróbica (DA) é uma tecnologia limpa que permite a produção de biogás por meio da degradação da matéria orgânica, o biogás produzido pode então alimentar um cogenerador de calor e energia combinados (CHP) para obter energia elétrica e térmica. Ao contrário de outros tipos de energias renováveis, quando os resíduos das culturas são utilizados para a produção de biogás, a matéria orgânica (MO) retirada do campo é devolvida ao solo no final do processo através da aplicação do material digerido, evitando assim o risco de esgotamento de matéria orgânica do solo (MENARDO et al., 2015).

A produção de biogás poderá desempenhar um papel importante na transição para uma economia circular, dentre seus principais benefícios ambientais decorrem do fato de que o processo, se gerenciado corretamente, representar uma opção valiosa para o descarte de resíduos orgânicos. Esta tecnologia, de fato, pode reduzir significativamente as emissões e também prevenir o impacto ambiental decorrente das práticas tradicionais de gestão de descarte de resíduos orgânicos de origem humana, animal e agrícola (por exemplo, resíduos agroalimentares, esterco de gado,

lodo de esgoto, fração orgânica de resíduos sólidos urbanos) que de outra forma resultam em emissões não controladas (PIRELLI et al., 2021).

Do ponto de vista econômico, o biogás é amplamente conhecido como um exemplo eficiente de economia circular, pois pode melhorar a renda dos agricultores e o balanço energético líquido dos processos de produção agrícola e agroindustrial, utilizando resíduos (especialmente esterco de gado) para devolver energia à cadeia de valor de fornecimento (PIRELLI et al., 2021).

Ao adotar o chamado Pacote Clima e Energia, em 2007, os Estados-Membros da União Europeia aceitaram os pressupostos fundamentais de limitar as emissões de GEE e reforçar a segurança energética. Uma das formas de atingir esses objetivos é aumentar a participação da energia proveniente de recursos renováveis no consumo total (KONIECZNA; ROMAN; SLIWINSKI, 2021).

Para tanto, uma atenção especial deve ser dada ao biogás agrícola, ou seja, gás produzido no processo de fermentação do metano em matérias-primas agrícolas, subprodutos agrícolas, fezes líquidas ou sólidas de animais, subprodutos, resíduos ou restos do processamento de produtos de origem agrícola ou biomassa florestal de biomassa vegetal recolhidos de áreas não registradas como agrícolas ou florestais. Esta fonte de produção de biogás se soma ao produzido a partir de materiais derivados de estações de tratamento de águas residuais e aterros (KONIECZNA; ROMAN; SLIWINSKI, 2021).

Ao final de 2015, mais de 17.000 usinas de biogás com capacidade instalada superior a 8,7 GW, estavam operando na Europa, das quais quase 11.000 se localizavam na Alemanha. O nível atual de subsídios e a mudança para um sistema de licitação, no entanto, levaram a uma queda acentuada no número de usinas de biogás recém-construídas na Alemanha (HERBES et al., 2018).

Ainda na Alemanha, utilizando os incentivos especiais da Lei de Energia Renovável Alemã (REA), as usinas de biogás usam culturas energéticas como substrato primário. Essas culturas representaram 51% do volume de matéria-prima, alcançado sendo quase três quartos (73%) das culturas energéticas empregadas a silagem de milho (HERBES et al., 2018). As possibilidades são variadas, por exemplo na Polônia, para se produzir o biogás agrícola utiliza-se mais frequentemente uma mistura de fezes de animais com culturas energéticas ou com subprodutos de origem agrícola.

O uso agrícola dos dejetos dos animais pode substituir parcialmente os fertilizantes químicos, resultando em economia de emissões indiretas de gases de efeito estufa (GEE) devido à menor necessidade de produção e distribuição de fertilizantes químicos no mercado. Os tratamentos de digestão, como a compostagem, podem determinar um enriquecimento em termos de substâncias húmicas, proporcionando ao mesmo tempo carga de nitrogênio e redução de massa (PIRELLI et al., 2021).

Um excelente complemento da massa fermentativa é a silagem de milho que pode ser demonstrado pelo método LCA (life cycle assessment), que comprova a redução das emissões de GEE ao longo de toda a cadeia produtiva (KONIECZNA; ROMAN; SLIWINSKI, 2021). Estudos recentes estão indicando que a diluição da silagem de milho com esterco de suíno, ao invés de água, pode trazer benefícios significativos nas configurações selecionadas. A composição da matéria-prima tem impacto moderado e instável no perfil de produção, nas modificações testadas. A diluição com esterco de suíno, em vez de água, leva a uma eficiência maior do que na configuração clássica. (POSTAWA; SZCZYGIEL; KULAZYNSKI, 2021). A combinação entre esterco suíno com resíduos de milho eleva a eficiência na produção de biogás (POSTAWA; SZCZYGIEL; KULAZYNSKI, 2021). Devido a um maior teor de peso seco, a mistura reduz as emissões de GEE ao longo de toda a cadeia produtiva, demonstrado pelo método LCA (life cycle assessment) (KONIECZNA; ROMAN; SLIWINSKI, 2021).

Outra possibilidade é o uso do milho como substrato energético com lodo de esgoto. Devido à sua ampla disponibilidade e suas propriedades serve como inóculo para a produção de biogás a partir de lodo de esgoto ao promover maior estabilidade devido as suas propriedades relativamente uniformes (RAPOSO et al., 2006). A utilização de resíduos urbanos também é possível desde que se adotem métodos de pré-tratamento que aumentam o potencial dos resíduos utilizados na produção de biogás e, dessa forma, reduzam o impacto negativo da disposição de resíduos em aterros (BEDOIC; COSIC; DUIC, 2019).

Além do milho, a raiz de beterraba sacarina (*Beta vulgaris* L.) foi relatada como tendo um potencial de produção de CH<sub>4</sub> próximo ao milho para silagem e pode ser cultivada em rotação de culturas, classicamente com cereais, podendo

assim aumentar ainda mais a diversidade de sistemas de cultivo de biomassa e sua sustentabilidade (JACOBS et al., 2017).

Recentemente, observa-se um aumento no interesse na produção de biogás a partir de palha de milho já que o mesmo é uma das culturas bioenergéticas mais promissoras (RAPOSO et al., 2006). Os resíduos de milho têm potencial para serem usados como matérias-primas alternativas em plantas de digestão anaeróbica (DA) para a produção de biogás (MENARDO et al., 2015). Além disso, o cultivo do milho pode ser rotacionado com outras culturas energéticas como a raiz de beterraba (Jacobs et al., 2017) e liberando dos resíduos da cultura do milho para a produção de biogás (MENARDO et al., 2015).

Os resultados econômicos provêm do aproveitamento dos resíduos derivados do processo de colheita do milho (espigas, cascas, folhas e talos) comumente chamados de palha. A colheita da palha ocorre em uma segunda passagem por um triturador, que pode permitir a coleta de até 70% a 80% do material deixado no solo, dependendo das condições de operação (MENARDO et al., 2015). Cabe registrar que para cada kg de grãos secos de milho colhido significa que foram produzidos cerca de 0,15 kg de espigas, 0,22 kg de folhas, 0,14 kg de cascas e 0,50 kg de colmos. Todos esses resíduos têm diversas aplicações. As espigas de milho são usadas como materiais de construção e para carvão ativado, as folhas servem como fonte de açúcares fermentáveis e fibra para papel, e caules, folhas e cascas são transformados em biofertilizantes ou cama de gado (MENARDO et al., 2015).

Embora esses resíduos façam parte de alguns processos produtivos, apenas 6% do total geralmente é coletado e removido do campo. É uma prática comum deixar a palha na superfície do solo para ser enterrada e se tornar em fonte de matéria orgânica (MO) e nutrientes para as culturas seguintes. Estima-se que em todo o mundo aproximadamente 204 Milhões de toneladas de matéria seca (MS) são devolvidos ao solo a cada ano através de resíduos de milho. (MENARDO et al., 2015).

O quadro a seguir se propõe a elencar os trabalhos analisados, as propostas e os desafios enfrentados.

**Quadro 6.** Estudos sobre Biogás

| <b>Autor</b>           | <b>Proposta</b>                | <b>Desafios</b>   |
|------------------------|--------------------------------|-------------------|
| (Pirelli et al., 2021) | A cadeia de valor do biogás na | O uso de culturas |

|   |   |  |
|---|---|--|
|   | Itália pode desempenhar um papel positivo para promover a transição para uma economia ecológica e circular.                                   | bioenergéticas, caracterizadas por altas necessidades de água podem representar barreiras para o seu desenvolvimento.                                |
| (Raposo et al.,2006)                          | Demonstra a vantagem da utilização do milho para produção de biogás   | Os rendimentos de metano obtidos com o trigo foram menores que os observados em estudos anteriores o que pode influir no resultado final             |
| (Jacobs et al., 2017)                         | A raiz de beterraba sacarina (Beta vulgaris L.) como complemento na produção de biogás a partir do milho.                                     | Ainda é preciso melhorar o manejo de N e diminuir as perdas de metano nas usinas de biogás   |
| (Menardo; Airoidi; Cacciatore; Balsari, 2015) | Utilização de resíduos de milho para produzir biogás  | As colheitadeiras precisam passar por um processo de adaptação para colher os resíduos   |
| (Herbes; Brummer; Roth; Rohl, 2018)           | Uso de biomassa de plantas aquáticas, um subproduto indesejado da remoção de ervas daninhas dos cursos d'água.                                | O status legal do material de remoção de ervas daninhas precisa ser esclarecido antes que os operadores de biogás possam agir.                       |
| (Postawa; Szczygiel; Kulazynski, 2021)        | A diluição de esterco de suíno com silagem de milho, em vez de água, eleva a eficiência na produção de biogás                                 | Os resultados podem variar de acordo com o modelo adotado pela usina.  |
| (Konieczna; Roman; Sliwinski, 2021)           | O método de LCA (life cycle assessment) para comprovar a redução de GEE na produção de biogás combinando silagem de milho e fezes de animais. | Falta uma análise da relação entre os preços do milho e os dos recursos energéticos para mensurar sua aplicabilidade.                                |
| (Bedoic; Cosic; Duic, 2019)                   | Demonstrou-se que os métodos de pré-tratamento aumentam o potencial dos resíduos utilizados na produção de biogás                             | As soluções politicamente preferidas na gestão sustentável de resíduos exigem sistemas de coleta seletiva, e fatores econômicos ainda são limitantes |

Fonte: Elaboração do autor

#### 4.1.5 Perda e Desperdício de Alimentos (PDA)

Aproximadamente um terço dos alimentos produzidos no mundo é perdido ou desperdiçado. Nos países em desenvolvimento, a perda de alimentos – estragados, derramados ou perdidos antes de chegar ao consumidor – é mais comum do que o de descarte de alimentos que são próprios para consumo. Globalmente, a maioria dos PDA ocorre durante os estágios iniciais da cadeia de valor, incluindo produção, colheita e armazenamento. Na maioria das vezes devido à infraestrutura inadequada e limitações de capital para investimento (GILLIAN et al., 2020).

As perdas ao longo da cadeia de grãos ocorrem no campo, no armazenamento, por contaminação de micotoxinas e resíduos do consumidor

(MESTERHAZY; OLAH; POPP, 2020). Deve-se registrar os benefícios de silos metálicos na redução do desperdício e infecção por aflotoxinas devido a um armazenamento melhorado pela construção de novos silos (GILLIAN et al., 2020).

Tudo isso estimula uma discussão sobre o papel da integração do 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 (Mesterhazy; Olah; Popp, 2020). As perdas em cada estágio produtivo impactam o próximo elo, reduzindo cumulativamente os alimentos disponíveis para varejo e consumo, mostrando um motivo natural para todas as partes interessadas minimizarem a perda de PDA (GILLIAN et al., 2020).

A redução da PDA também tem o potencial de restringir os impactos ambientais não intencionais da produção de alimentos, como as emissões de gases de efeito estufa (GEE) da agricultura - que respondem por 10 a 12% das emissões antropogênicas - de reduzir pela metade a perda e o desperdício de alimentos. Este esforço é coerente com as estratégias promovidas pelos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) das Nações Unidas de “acabar com a fome; alcançar a segurança alimentar e melhorar a nutrição; e promover a agricultura sustentável até 2030” (GILLIAN et al., 2020).

Os Estados-Membros da União Africana, na Declaração de Malabo, foram ainda mais longe, prometendo reduzir para a metade a perda de alimentos pós-colheita até 2025. Cabe destacar que os cereais atraíram a maior parte dos estudos sobre intervenções de redução de (43,3%), particularmente o milho (25,8%) (STATHERS et al., 2020)

A perda de grãos armazenados tem vários impactos negativos em nível do agricultor, incluindo: 1) deterioração da qualidade nutricional do grão de milho; 2) redução da disponibilidade de alimentos para as famílias; 3) necessidade resultante de comprar produtos alimentícios a preços elevados durante a época de escassez; 4) interrupção do fornecimento planejado de alimentos para a família; 5) perdas financeiras e de rentabilidade, 6) redução da indústria local de processamento de milho e do comércio transfronteiriço (BAOUA et al., 2014).

As intervenções específicas em cada cadeia de valor e contexto de cada país fornecem informações sobre intervenções que diminuem o PDA em vários pontos ao

longo das diferentes cadeias, desde os estágios dominados pelo produtor a montante até os estágios dominados pelo consumidor a jusante.

A presença de aflatoxina em alimentos tem sido motivo de preocupação devido a seu potencial cancerígeno. As aflatoxinas são produzidas por quatro espécies de fungos do gênero *Aspergillus* que habitam o solo e restos de plantas. O problema da aflatoxina pode ser agravado pelo método comumente usado de processamento pós-colheita, ou seja, espalhar o grão no solo para secagem antes do armazenamento. Isso expõe o grão de milho a esporos de mofo sob condições de alta umidade e temperatura, acelerando o desenvolvimento do patógeno (BAOUA et al., 2014).

A secagem ao ar livre é a prática comum, mas estão sendo propostos novos métodos, incluindo secadores aquecidos por energia solar e biomassa. Portanto, sua eficácia e lucratividade precisam ser comparadas com a prática atual. Apesar de a secagem ao ar livre trazer impactos diretos na qualidade do grão, os novos métodos de secagem destinados aos agricultores africanos devem comparar seus custos e eficiência com os da secagem ao ar livre incorridos o que tem inviabilizado sua aplicação (GROOTE et al., 2021).

Outra opção para armazenagem de grãos são os sacos PICS que mantiveram a umidade estável durante o período de armazenagem de 6,5 meses em 11 dos 13 ensaios e nos dois que perderam umidade a perda foi pequena. Assim, os sacos PICS de camada tripla parecem reter a umidade inicial da semente e preservá-la contra mudanças relacionadas a variações sazonais de umidade. Por outro lado, grãos armazenados em sacos de tecido perderam em média 24% de seu teor de umidade (média inicial foi de 12,1%, média final de 9,2%) durante o armazenamento (BAOUA et al., 2014).

A porcentagem de sementes danificadas e os pesos de 100 sementes em sacos PICS permaneceram inalterados em relação ao observado no início do experimento. Os sacos PICS preservam bem as sementes de milho contra o ataque de insetos por *P. truncatus*, *S. zeamais* e *R. dominica*. (BAOUA et al., 2014)

Outra opção para o controle são os isolados não produtores de aflatoxina (referidos como atoxigênicos) que diminuem o teor de aflatoxina da cultura quando usados em formulações de biocontrole para deslocar competitivamente os produtores de aflatoxina durante o desenvolvimento da cultura (ORTEGA-BELTRAN;

BANDYOPADHYAY, 2021). Outro agente de controle biológico contra *Fusarium graminearum* em cereais de pequenos grãos e milho é o *Clonostachys rósea* (GIMENO et al., 2019).

No entanto para que o biocontrole seja efetivo também é preciso combinar outras práticas (ORTEGA-BELTRAN; BANDYOPADHYAY, 2021). Exige também um acompanhamento do crescimento e sobrevivência dos organismos de biocontrole durante diferentes fases, sendo crucial para o resultado final (GIMENO et al., 2019).

O quadro a seguir se propõe a elencar os trabalhos analisados, as propostas e os desafios enfrentados.

**Quadro 7.** Estudos sobre a Perda e Desperdício de Alimentos (PDA)

| <b>Autor</b>                          | <b>Proposta</b>  | <b>Desafios</b>   |
|---------------------------------------|--|---|
| (Baoua et al., 2014)                  | Perdas na armazenagem de grãos e proteção contra pragas e insetos  | Dificuldades com alternativas que controlem pragas e aflatoxinas  |
| (Groote et al., 2021)                 | Secadores aquecidos por energia solar e biomassa   | A ensacagem ao ar livre piora a qualidade dos grãos e é prática comum na África que precisa diminuir com novos métodos com custos menores   |
| (Gillian et al., 2020)                | O uso de silos metálicos reduziu em 20% a presença de toxinas nos grãos em Gana.   | Ainda é necessário expandir o acesso a armazenagem para os produtores   |
| (Stathers et al., 2020)               | Avaliação sistemática das intervenções em toda a cadeia de valor ao longo de várias estações e locais para diminuir as perdas nos grãos. | A falta de estudos sobre treinamento, finanças, infraestrutura, políticas e intervenções de mercado destaca a necessidade de intervenções além das tecnologias ou do manejo de mudanças nas práticas. |
| (Mesterhazy; Olah; Popp, 2020)        | O papel da integração entre o manejo de pragas e o melhoramento de plantas na redução das perdas.  | A cooperação para aumentar o rendimento e a resistência a estresses bióticos e abióticos ainda é limitado e normalmente são tratados separadamente nos estudos acadêmicos.                            |
| (Ortega-Beltran; Bandyopadhyay, 2021) | O uso do biocontrole com isolados não produtores de aflatoxina diminuem as perdas dos grãos  | Necessário combinar outras práticas além do biocontrole.  |
| (Gimeno et al., 2019)                 | Biocontrole com <i>Clonostachys rosea</i> contra a toxina <i>Fusarium graminearum</i> em cereais de pequenos grãos e milho               | Exige o acompanhamento do crescimento e sobrevivência dos organismos de biocontrole durante diferentes fases como crucial para o resultado final.   |

Fonte: Elaboração do autor



#### 4.1.6 Bioenergia

As mudanças climáticas globais têm causado grande preocupação quanto a suas causas e alternativas para reduzi-las. E uma das alternativas de grande interesse e expectativa é a produção e o uso da bioenergia por ser um recurso renovável para substituir os combustíveis fósseis e descarbonizar a atmosfera. 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 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 seja vantajosa do ponto de vista de custo-benefício se comparado a fontes tradicionais (MUYLLEA et al., 2015). Por meio de uma Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) da biomassa é possível observar sua sustentabilidade (PARAJULI et al., 2017). Utilizando os resíduos das culturas se consegue incrementar ainda mais a sustentabilidade da bioenergia (CASSONI et al., 2022).

A utilização de resíduos agrícolas para produção de bioenergia moderna em larga escala já se consolidou como uma prática comum em muitos países. De acordo com os cenários de implantação de energia de biomassa do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), os resíduos agrícolas provavelmente desempenharão um papel importante nos futuros sistemas de energia, contribuindo entre 15 e 70 EJ para o fornecimento global de energia a 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. Os principais resíduos das culturas incluem palha de milho, palha de trigo, palha e casca de arroz e bagaço (BATIDZIRAI et al., 2016). Na União Europeia a bioenergia dentre as fontes de energia renovável é a principal com uma participação de quase 60%, e desempenha um papel importante para cumprir a meta de 32% para 2030 no consumo final bruto total de energia, sob a Diretiva de Energias Renováveis (PIRELLI et al., 2021).

Estes resíduos podem ser provenientes de trigo, milho cana-de-açúcar e arroz, porém ainda há uma forte competição com os resíduos de origem florestal muitas vezes mais baratos (CASSONI et al., 2022). Porém do ponto de vista da sustentabilidade, a utilização de resíduos de milho no lugar da madeira é possível produzir carvão vegetal sem fumaça (KORRAKOT et al., 2020).

A conversão de resíduos em energia resulta em produtos de alto valor agregado sendo os resíduos agrícolas de milho promissores como energia via densificação física, torrefação, carbonização, pirólise, gaseificação e combustão. Em estudo que investigou a utilização de resíduos de milho como matéria-prima alternativa para substituir parcialmente madeiras na produção de carvão sem fumaça, resultados promissores foram observados (KORRAKOT et al., 2020).

A conversão de resíduos agrícolas em briquetes de carvão de alto valor tem se mostrado uma opção econômica e atrativa para o gerenciamento de resíduos agrícolas. No entanto, os custos da matéria-prima e do processo de briquetagem foram os principais fatores, afetando criticamente a rentabilidade da produção (KORRAKOT et al., 2020).

Outros resíduos como o uso do bagaço da cana-de-açúcar, globalmente utilizado para produção de energia e calor, é a aplicação energética mais comum e madura de resíduos agrícolas para os países que dispõem de indústrias de cana-de-açúcar. Há menos experiência em conversão de energia para outros resíduos de culturas, mas o interesse é significativo no uso de palha de milho para biocombustíveis avançados, especialmente nos Estados Unidos.

Uma vantagem importante do uso de resíduos de culturas é que sua utilização implica em impactos mínimos ou inexistentes na mudança do uso da terra em comparação com culturas energéticas (BATIDZIRAI et al., 2016).

Um aspecto importante na mensuração da sustentabilidade da bioenergia é o balanço energético em nível de fazenda e dos atores industriais nas cadeias de biorrefinarias. Na ótica da produção de matéria prima para as biorrefinarias é preciso levar em conta os fertilizantes utilizados, a busca por variedades e cultivos que sejam energeticamente eficientes. Neste sentido, o milho em rotação com beterraba e azevém dentro da realidade italiana se mostrou positivo. No entanto, do ponto de vista de custo-benefício da biomassa é preciso atribuir um maior valor agregado ao bioproduto para que essa rotação se mostre mais viável (MUYLLEA et al., 2015).

Usando o método de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) foi demonstrado a sustentabilidade do uso da palhada do milho para a produção de energia, a análise incluir as seguintes categorias de impacto: Potencial de Aquecimento Global (GWP100), Eutrofização Potencial (EP), Uso de Energia Não Renovável (NRE), Potencial Ecotoxicidade da Água Doce (PFWTox) e Potencial de Danos à Biodiversidade (PBD) (MUYLLEA et al., 2015).

Outra ferramenta para mensurar as emissões de CO<sup>2</sup> é a utilização de um modelo matemático que analisa o índice de sustentabilidade do processo de moagem de biomassa, neste constatou-se que é possível comparar os diferentes processos de moagem e identificar qual apresenta o melhor balanço de emissão de CO<sub>2</sub>, podendo assim estabelecer parâmetros de controle do moinho (KRUSZELNICKa, 2020).

Outro desafio em relação às fontes agroalimentares, em uma análise de 490 estudos, dos quais a maioria utilizou resíduos de trigo, milho, cana-de-açúcar e arroz para extrair lignina, evidenciou-se que o uso de lignina de origem florestal é ainda mais expressivo devido à lignina estar prontamente disponível na indústria de celulose e papel e não traz a competição por áreas destinadas a produção de alimentos (CASSONI et al., 2022).

Em que pese todas as citadas vantagens, autores assinalaram que alguns pontos críticos como o uso de diesel para operações de campo, a aplicação de fertilizantes e a produção de agroquímicos que foram observados indicam que ainda é preciso acrescentar nesta análise uma gama mais ampla de categorias de impacto para avaliar efetivamente a sustentabilidade ambiental de forma mais precisa (PARAJULI et al., 2017).

O quadro a seguir se propõe a elencar os trabalhos analisados, as propostas e os desafios enfrentados.

**Quadro 8.** Estudos sobre a Bioenergia

| <b>Autor</b>           | <b>Proposta</b>   | <b>Desafios</b>   |
|------------------------|---|---|
| (Muyllea et al., 2015) | Balanços energético da biomassa em nível de fazenda e na industriai                                       | Ainda é preciso atribuir um maior valor agregado ao bioproduto para que tenha um melhor resultado custo-benefício |
| (Parajuli et al.,2017) | Método de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) para mensurar as emissões para produção de bioenergia de milho | O uso do diesel para operações de campo e produção de agroquímicos não foram levados em conta.                    |

|  |  |  |
|--|--|--|
| (Cassoni; Costa; Vasconcelos; Pintado, 2022) | Uso de diferentes culturas para a extração de lignina  | O uso de lignina de origem florestal ainda mais expressivo devido ser prontamente disponível na indústria de celulose e papel.                       |
| (Batidzirai et al.,2016)                     | Utilização de resíduos de culturas para a produção de bioenergia.  | Ainda é necessário desenvolver um mercado funcional e incentivar melhorias em toda a cadeia de valor para viabilizar sua adoção                      |
| (Korrakot et al.,2020)                       | Uso de resíduos de milho no lugar de madeira para a produção de carvão vegetal sem fumaça                                | Observou-se que os custos da matéria-prima e do processo de briquetagem foram os principais fatores, afetando criticamente a rentabilidade.          |
| (Kruszelnicka, 2020)                         | Metodologia desenvolvida para a avaliação das emissões de dióxido de carbono na moagem de biomassa para fins energéticos | Não se considerou a substituição da energia elétrica a partir do carvão para o processo de moagem e fontes alternativas trarão redução nas emissões. |

Fonte: Elaboração do autor

#### 4.1.7 Agricultura Digital

A revolução da informática trouxe ganhos relevantes no âmbito rural, as Plataformas Digitais por exemplo preencheram uma lacuna entre a disseminação de informações para os produtores rurais (AGYEKUMHENE et al.,2018) que viabiliza aumento de produtividade das lavouras e eficiência na colheita (FOFANA et al., 2020). Servem também para estreitar a relação dos elos da cadeia e identificar novas oportunidades e corrigir assimetrias (SCHUT et al., 2019).

Por se tratar de um tema novo ainda são necessários métodos para medir a eficiência destas plataformas, bem como identificar os melhores modelos que se adequem a realidade no campo (SCHUT et al., 2018). Informações quanto a sua aplicabilidade para um grupo heterogêneo como os pequenos agricultores ainda precisa avançar (Hansen et al., 2019) assim como sua aplicabilidade para estreitar a relação de pequenos produtores e prestadores de serviços (VAN LOON et al., 2020).

A Plataforma de Aprendizado do agricultor é um modelo projetado para aumentar a produtividade das culturas e abrange parcelas de pacotes tecnológicos. As Plataformas demonstraram ter um desempenho significativamente superior a outras de tecnologia em produtividade de colheita e margens de lucro (FOFANA et al., 2020). As Plataformas Digitais (PDs) mostram potencial também para ajudar a

superar algumas lacunas de informação, comunicação e incertezas (AGYEKUMHENE et al., 2018).

O fato de grupos de partes interessadas anteriormente desconectados se reunirem para diagnosticar problemas agrícolas e de subsistência mais amplos, identificar oportunidades e encontrar maneiras de alcançar seus objetivos está entre os principais benefícios das plataformas de inovação (SCHUT et al., 2019). Evidências publicadas nos últimos dez anos de um conjunto de tecnologias de produção e intervenções institucionais de mitigação de riscos contribuem para a redução da pobreza (HANSEN et al., 2019)

Outro exemplo são as Plataformas de Inovação (IP) formando um espaço de aprendizado e mudança composto por um grupo de atores individuais ou organizacionais com diferentes origens e interesses. Dependendo das circunstâncias, os PIs podem incluir agricultores, assistência técnica, formuladores de políticas públicas, pesquisadores, Organizações Não Governamentais (ONGs), doações, setor privado e outros grupos de interessados (SCHUT et al., 2019).

As Plataformas de Inovação (IPs) visam promover a inovação agrícola, facilitando a interação e colaboração dentro de redes de partes interessadas. A natureza da inovação agrícola pode ser tanto tecnológica (por exemplo, insumos agrícolas, maquinário ou técnicas de manejo de culturas) quanto institucional (mercados, políticas e novas formas de organização social) ou ainda uma combinação destes (SCHUT et al., 2019).

Constata-se que são necessárias medições mais rigorosas, precisas e contínuas do desempenho de IPs, o que pode contribuir para o gerenciamento adaptativo de IPs para melhor compreensão do que efetivamente funciona em termos de design e facilitação de processos, bem como para análise de custo-benefício em comparação com outras abordagens que visam contribuir para o desenvolvimento agrícola (SCHUT et al., 2018).

As alianças ou plataformas multissetoriais são uma abordagem cada vez mais popular para melhorar a colaboração e a inovação no setor de pesquisa agrícola para o desenvolvimento (AR4D), por isso a importância de se identificar fatores de sucesso para o impacto de IPs no cenário AR4D (SCHUT et al., 2018).

Ainda é preciso aumentar o leque de opções de ferramentas de apoio à decisão que possa estimular uma reflexão crítica ex-ante sobre quando e para que

finalidade as plataformas de inovação são um mecanismo apropriado para alcançar resultados de desenvolvimento (FOFANA et al., 2020). Isso representa o risco de as plataformas de inovação serem promovidas como uma panaceia para todos os problemas de pesquisa e desenvolvimento no setor agrícola, algo para o qual os autores que analisam modelos de parceria multissetorial em outros setores alertaram (SCHUT et al., 2019).

Tratando-se de modernização agrícola há implicações importantes para intervenções de desenvolvimento destinadas a aumentar o acesso dos pequenos produtores aos serviços de mecanização em escala por meio de aplicativos que conectam produtores à prestadores de serviços. Nos três estudos de caso analisados, a adoção em larga escala dos modelos foi dificultada pela falta de financiamento e colaboração insuficiente entre os atores da cadeia de valor para fortalecer e promover os empreendedores dos Provedores de Serviços de Mecanização (MSP) (VAN LOON et al., 2020).

O quadro a seguir se propõe a elencar os trabalhos analisados, as propostas e os desafios enfrentados.

**Quadro 9.** Estudos sobre Agricultura Digital

| <b>Autor</b>                          | <b>Proposta</b>   | <b>Desafios</b>   |
|---------------------------------------|---|---|
| (Agyekumhenea et al., 2018)           | Uso de Plataformas Digitais (PDs) para pequenos produtores adquirirem crédito financeiro.                                     | A abordagem e o uso da plataforma ainda requerem aprimoramentos, não podendo ser vista como uma solução rápida, mas sim um processo de tentativa e erro, e de aprender fazendo.                           |
| (Fofana et al., 2020)                 | Modelo de plataforma de aprendizado para o agricultor aumentar a produtividade das culturas e melhorar as tomadas de decisão. | Há uma falta de ferramentas de apoio à decisão para mensurar quando e para que finalidade as plataformas de inovação são um mecanismo apropriado.   |
| (Schut et al., 2019)                  | Uso da Plataforma de Inovação (IP) para unir os elos da cadeia com o produtor rural.  | São necessários modelos de parceria multissetorial com os outros setores para que as Plataformas de Inovação tenham sucesso.  |
| (Schut; Cadilhon; Misiko; Dror, 2018) | Identificação de fatores de sucesso para o impacto das Plataformas de Inovação (IP) no cenário AR4D.                          | Medições mais rigorosas, precisas e contínuas do desempenho de IPs irão contribuir para o gerenciamento adaptativo e compreender o que realmente funciona em termos de design e facilitação de processos. |

|                         |  |  |
|-------------------------|--|--|
| (Hansen et al., 2019)   | Tecnologias de produção e intervenções institucionais de mitigação de riscos que contribuem para a redução da pobreza. | São necessárias mais informações sobre a eficiência destas técnicas quando aplicadas a um grupo heterogêneo de pequenos produtores     |
| (Van Loon et al., 2020) | Plataforma de acesso a Provedores de Serviços de Mecanização (MSP) para produtores rurais.                             | A adoção em larga escala dos modelos foi dificultada pela falta de financiamento e colaboração insuficiente entre os atores da cadeia. |

Fonte: Elaboração do autor

#### 4.1.8 Biocombustível

A produção de biocombustível além de reduzir em até 80% as emissões de CO<sup>2</sup> também pode ser usada para levar desenvolvimento para o pequeno produtor como é o caso do Selo Social proveniente do Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel no Brasil (MADELEINE et al., 2013). A irrigação por outro lado pode contribuir substancialmente para reduzir as emissões de CO<sup>2</sup> nas lavouras tornando o biocombustível mais sustentável (PERSSONA et al., 2009). Em comparações entre a gasolina produzida na Rússia e Nigéria com o etanol dos Estados Unidos e Brasil, constatou-se claramente os ganhos ambientais (EKENER et al, 2018).

Uma crítica ao biocombustível é o deslocamento de áreas destinadas a produção de alimentos para combustível, porém isso pode ser remediado por meio dos Biocombustíveis de Segunda Geração, em uma mesma área com produção de alimentos e de combustível (CHENA; SMITHA; THOMCHICKB, 2017). São necessários também mecanismos de certificação que garantam que a produção da biomassa para o biocombustível seja ecologicamente correta (BALUGANI et al., 2022).

A biomassa é o recurso renovável com maior potencial para atender demanda de energia substituindo os combustíveis fósseis. Os biocombustíveis à base de biomassa, além de serem uma alternativa quase neutra em carbono, podem ser utilizados para promover o desenvolvimento rural. A categoria de produtos mais estudada é a dos combustíveis de base biológica. Comparações feitas destacam os impactos positivos entre os combustíveis fósseis (da extração à queima) frente ao dos biocombustíveis (do poço à roda) (EKENER et al, 2018).

Os materiais de base biológica são cada vez mais tidos em consideração como forma de alcançar uma economia circular, uma vez que provêm de recursos renováveis. Na União Europeia (EU), por exemplo, as metas estabelecidas de biocombustíveis se iniciaram 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 UE RED (BALUGANI et al., 2022).

O etanol de milho se consolidou como um biocombustível, incentivado por políticas governamentais de apoio e estáveis, tecnologias de conversão estabelecidas e sinergia com os sistemas de produção de alimentos existentes, principalmente nos EUA e mais recentemente no Brasil. No que se refere aos EUA, em 2015, 208 usinas de produção de etanol de milho produziram 14,8 bilhões de combustíveis para o transporte de veículos (CHENA; SMITHA; THOMCHICKB, 2017).

Como resultado, a indústria de etanol dos EUA reformulou o cultivo de milho, permitindo reduzir o apoio do governo por meio de subsídios agrícolas e aumentando a renda dos agricultores. Enquanto isso, misturas de etanol na gasolina melhoraram o índice de octano e adicionou conteúdo de oxigênio para atender à Lei do Ar Limpo dos EUA – CAA (CHENA; SMITHA; THOMCHICKB, 2017).

Quando realizado um comparativo da Avaliação de Sustentabilidade do Ciclo de Vida (LCSA), uma ferramenta para avaliar os impactos ambientais de diferentes produtos, levando em consideração todo o ciclo de vida entre a produção de biocombustível a partir da cana-de-açúcar no Brasil e o etanol de milho nos Estados Unidos em comparação com a gasolina nigeriana e gasolina russa, concluiu-se que etanol à base de cana-de-açúcar brasileiro teve o melhor desempenho de sustentabilidade em todos os resultados. Quando se analisa sob uma perspectiva igualitária, o segundo melhor combustível de uma perspectiva de sustentabilidade é o etanol de milho dos EUA (EKENER et al., 2018).

O Brasil é destaque mundial na geração de energia com biocombustíveis graças ao enorme e consolidado parque agroindustrial de produção de etanol a partir da cana de açúcar, e à crescente expansão da produção a partir do milho.



Cabe ressaltar que uma parte do bagaço da cana é queimada para produzir eletricidade e outra é consumida na produção de etanol (EKENER et al., 2018).

Para validar a sustentabilidade dos biocombustíveis é preciso que se aplique ferramentas de análise de risco da mudança do uso da terra (ILUC) que tragam uma abordagem de modelagem e de certificação. Este modelo serve como um esquema de certificação robusta para a produção de material de base biológica para biocombustíveis. No entanto ainda é preciso que essa ferramenta seja testada em campo e aplicada em estudos de casos reais (BALUGANI et al., 2022).

Dentre os critérios para mensurar a sustentabilidade da produção do biocombustível o valor energético líquido (VEL), ou seja, a produção de energia em etanol e coprodutos após contabilizar os requisitos de insumos energéticos na cadeia produtiva do etanol, é uma medida de sua sustentabilidade. O rendimento de grãos do milho, que varia substancialmente em diferentes condições de clima e solo, tem um grande impacto no valor energético final do etanol (PERSSONA et al., 2009).

Um recurso que reforça a produção do biocombustível é a irrigação, uma vez que aumenta a produtividade das lavouras o que reduz a necessidade de novas áreas e dilui as emissões, os resultados mostraram que a irrigação melhorou substancialmente o balanço entre energia produzida e energia emitida em uma ampla gama de condições de solo e clima no sudeste dos EUA. Outro ponto importante é o fato que as usinas precisam estar próximas do mercado consumidor, mas também da fonte da matéria prima como forma de reduzir as emissões durante o transporte pré e pós refinamento (PERSONA et al., 2009).

Um entrave para a expansão dos biocombustíveis é o fato de que a produção requer terras dedicadas ao cultivo das culturas de origem e, como a maioria das terras agrícolas já é usada para produção de alimentos isso poderá resultar em desmatamento e expansão da agricultura em áreas naturais (BALUGANI et al., 2022).

Em comparação com os biocombustíveis de primeira geração como etanol de milho ou de cana-de-açúcar, os lignocelulósicos combustíveis de segunda geração evitam a controvérsia da competição entre produção de combustível e alimento, pois são produzidos a partir dos restos da produção de milho por exemplo (CHENA; SMITHA; THOMCHICKB, 2017). O desenvolvimento sustentável da indústria de biocombustíveis lignocelulósicos dos EUA está enfrentando uma variedade de

desafios, como custos e disponibilidade de matéria-prima, altos custos de produção, altos requisitos de capital, turbulências políticas e de mercado e a necessidade de adaptações nas usinas o que tem dificultado a expansão deste modelo (CHENA; SMITHA; THOMCHICKB, 2017).

O quadro a seguir se propõe a elencar os trabalhos analisados, as propostas e os desafios enfrentados.

**Quadro 10.** Estudos sobre Biocombustível

| <b>Autor</b>                                       | <b>Proposta</b>   | <b>Desafios</b>   |
|--|---|---|
| (Madeleine et al., 2013)                           | Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB) - Benefícios de integrar agricultura familiar a agroindústria                         | Dificuldade na oferta para as Agroindústrias de insumos da agricultura familiar   |
| (Perssona et al., 2009)                            | A irrigação aumenta a produtividade das lavouras o que reduz a necessidade de novas áreas e dilui as emissões na produção de etanol de milho  | Mesmo assim, as usinas precisam estar próximas do mercado consumidor e da fonte da matéria prima.                                       |
| (Chena; Smitha; Thomchickb, 2017)                  | Biocombustíveis de segunda geração produzidos a partir de biomassa lignocelulósica.   | Desafios com a disponibilidade de matéria-prima e altos custos de produção.   |
| (Ekener; Hansson ; Larsson; Peck, 2018)            | Avaliação de Sustentabilidade do Ciclo de Vida (LCSA) do etanol dos Estados Unidos e Brasil em comparação com a gasolina da Nigéria e Rússia. | Os dados do banco de dados Ecoinvent são principalmente do ano 2000 e podem alterar os resultados finais.                               |
| (Balugani; Sumfleth; Majer; Marazza; Thraen, 2022) | ILUC (mudança no uso da terra) - calcula os possíveis impactos da mudança do uso da terra e sugere uma ferramenta para certificação.          | Os processos de auditoria devem ser testados em campo e as ferramentas aplicadas em estudos de caso reais bem como com outras biomassas |

Fonte: Elaboração do autor

#### 4.1.9 Bioplástico

Em comparação com os biocombustíveis de primeira geração como etanol de milho ou de cana-de-açúcar, os lignocelulósicos combustíveis de segunda geração evitam a controvérsia da competição entre produção de combustível e alimento, pois são produzidos a partir dos resíduos. A adoção do bioplástico está se expandido pelo mundo e o milho poderá figurar entre as culturas para este fim, no caso de filmes biodegradáveis feitos a partir da goma de xantana se mostra uma alternativa promissora (SOARES; LIMA; OLIVEIRA; PIRES; SOLDI, 2005). Os bioplásticos trarão

benefícios para reduzir a pegada global de carbono (BISHOP; STYLES; LENS, 2022).

Os bioplásticos, e especialmente os compostáveis, estão sendo desenvolvidos como substitutos ambientalmente mais sustentáveis para os plásticos petroquímicos. Esses plásticos são normalmente feitos de matérias-primas renováveis e de base biológica e podem reter as características materiais benéficas dos plásticos petroquímicos, ao mesmo tempo em que permitem uma transição para uma economia circular, contribuindo para reduzir a extração de recursos fósseis (BISHOP; STYLES; LENS, 2022).

As matérias-primas de primeira geração de milho e cana-de-açúcar dominam o mercado de matérias-primas bioplásticas comerciais. O milho tem sido uma matéria-prima bioplástica usada para produzir bioplástico comercial de ácido polilático (PLA) em uma escala relativamente grande (BISHOP; STYLES; LENS, 2022).

O interesse por filmes biodegradáveis também aumentou nas últimas décadas e pode ser explicado pela demanda dos consumidores por alimentos de alta qualidade, fatores de saúde e preocupações ambientais que trazem oportunidades para criar novos mercados para ingredientes formadores de filmes derivados de produtos agrícolas. O amido, outro polissacarídeo, é amplamente utilizado na indústria para fornecer propriedades funcionais como gelificação, espessamento, ligação e adesão em produtos alimentícios, e tem sido amplamente utilizado em preparações de filmes biodegradáveis (SOARES et al., 2005).

O uso de goma xantana e amido conta com propriedades térmicas e estabilidade o que aumenta sua utilidade e aplicação nas indústrias alimentícias e farmacêuticas, uma vez que filmes biodegradáveis podem ser submetidos a processos de calor durante sua preparação, processamento ou consumo (SOARES et al., 2005).

A disseminação da utilização de bioplástico poderia deslocar o uso de terras aráveis para a produção de alimentos e rações para a produção de bioplástico. Neste sentido a utilização de retalhos de madeira se mostra mais interessante (BISHOP; STYLES; LENS, 2022). A insuficiência de pesquisas na literatura para filmes biodegradáveis a base de goma xantana e suas propriedades físico-químicas evidencia a necessidade de serem mais aprofundadas (SOARES et al., 2005).

O quadro a seguir se propõe a elencar os trabalhos analisados, as propostas e os desafios enfrentados.

**Quadro 11.** Estudos sobre Bioplástico

| <b>Autor</b>                                 | <b>Proposta</b>   | <b>Desafios</b>  |
|--|---|--|
| (Soares; Lima; Oliveira; Pires; Soldi, 2005) | Uso de filmes biodegradáveis para embalagens de alimentos em substituição aos derivados de plástico | No entanto, filmes biodegradáveis à base de goma xantana não foram encontrados na literatura e suas propriedades físico-químicas precisam ser examinadas                                   |
| (Bishop; Styles; Lens, 2022)                 | Uso de bioplástico à partir do milho reduzirá a pegada global de carbono dos plásticos.             | Como as terras aráveis são limitadas, a produção de alimentos e rações é deslocada, por isso a proposta de priorizar o bioplástico a partir de retalhos de madeira se torna mais vantajosa |

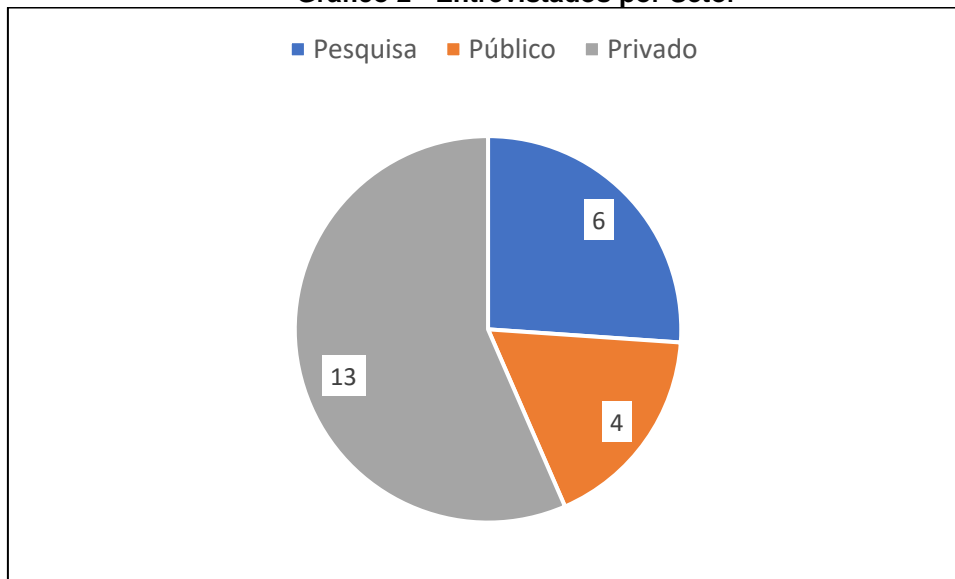
Fonte: Elaboração do autor

## 4.2 Entrevistas

O segundo objetivo específico da pesquisa foi submeter as proposições aos especialistas para comparar os achados da Revisão Sistemática com a opinião de especialistas e, assim, alinhar as proposições com o contexto brasileiro. A análise dos estudos acadêmicos somados à percepção de atores que participam da cadeia produtiva permite uma maior aproximação entre o proposto no trabalho e o observado na prática pelos integrantes da mesma.

Desta forma, foram realizadas entrevistas semiestruturadas combinadas com perguntas espontâneas e submetidas a 23 especialistas escolhidos pelo critério da familiaridade com o tema da pesquisa, o roteiro se encontra no Apêndice A página 126 deste trabalho. Buscou-se ouvir representantes de instituições privadas, do setor público e pesquisadores engajados com o assunto. O Gráfico 2 a seguir mostra a distribuição dos entrevistados por setores, sendo 13 representantes privados, 4 do poder público e 6 pesquisadores de outras entidades.

**Gráfico 2 - Entrevistados por Setor**



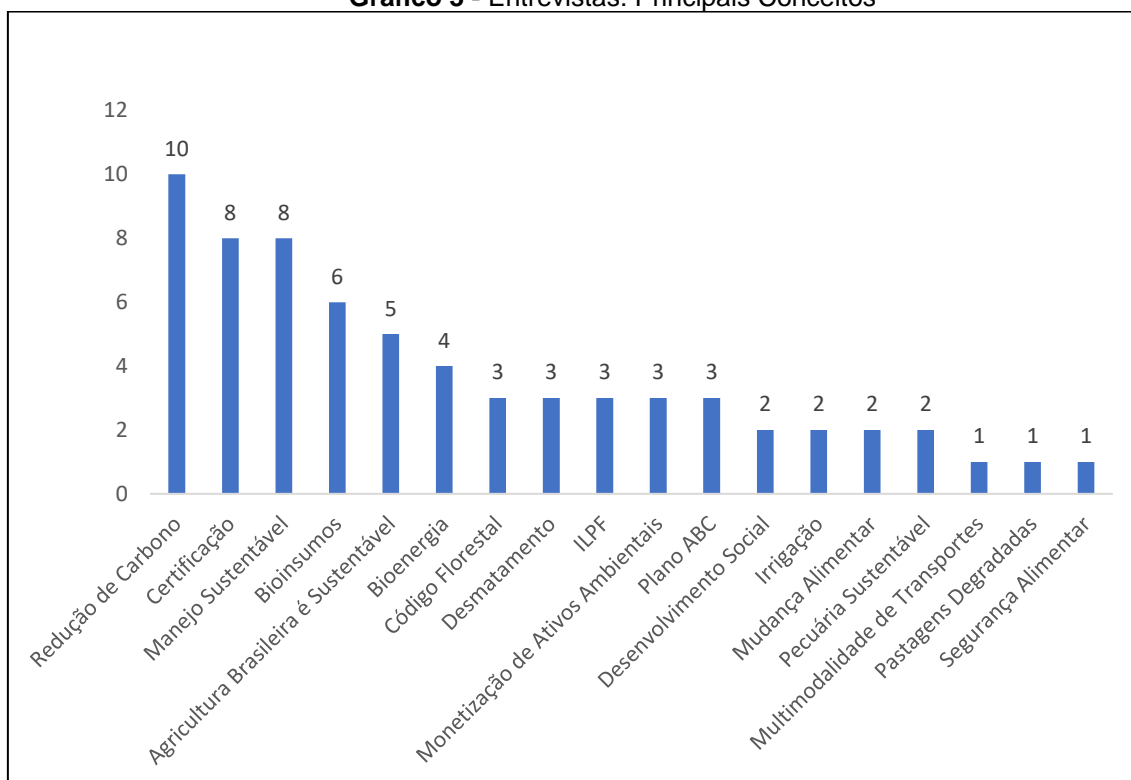
Fonte: elaborado pelo autor.

Buscando percorrer os elos da cadeia, foram selecionadas instituições que compõem os segmentos de insumos, produção e processamento do milho, e posteriormente representantes dos ministérios de maior relevância para o setor: Ministério da Agricultura, da Economia e do Meio Ambiente. E o outro grupo foram os pesquisadores da Embrapa, de Universidades e do Grupo de produtores associados à Agricultura Sustentável, o GASS.

O primeiro ponto a ser destacado é que há um consenso entre todos os entrevistados sobre a relevância da sustentabilidade e a importância de sua adoção, seja por fins econômicos como forma de contornar possíveis barreiras, seja por necessidade de adequação à demanda dos consumidores. Em seguida, apresenta-se uma “nuvem de palavras” com os termos mais utilizados pelos entrevistados:



**Gráfico 3 - Entrevistas: Principais Conceitos**



Fonte: elaborado pelo autor.

#### **4.2.1 Entrevistas realizadas a representantes do Setor Público**

No intuito de trazer a visão do setor público foram realizadas entrevistas com representantes dos Ministérios da Agricultura, Economia e Meio Ambiente. Segundo o Departamento de Produção Sustentável e Irrigação (DEPROS/SDI/MAPA) do Ministério da Agricultura, a pasta adotou uma série de Políticas de Descarbonização como o Plano ABC, Crédito de Carbono, Irriga Mais e Pronasolo. O Plano ABC surgiu em 2010 focado nas tecnologias do Plantio Direto, 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” (DEPROS/SDI/MAPA).

Ainda no 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, está trabalhando no Programa Nacional de

Proteínas Alternativas, que contou com um processo participativo que se desenvolveu por meio de uma audiência pública e diversos workshops.

Relativamente às proteínas alternativas, destaca-se a tendência para o futuro no sentido de atender as demandas crescentes decorrente do aumento populacional, seja por meio dos *Plant Based* como também para as 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 BRFoods.

“Quanto ao mercado de carne cultivada Singapura e Israel são os primeiros países a adotarem esta tecnologia em larga escala, ainda neste ano. No caso do Brasil a expectativa é que deverá chegar aos supermercados no ano 2024” (DIAGRO/MAPA).

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 integrada ao Sistema Nacional de Redução de Emissões de Gases de Efeito (Sinare) e 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” (SCRI/MMA).

A Subsecretaria de Política Agrícola e Negócios Agroambientais do Ministério da Economia (SPAN/SPE/ME) tem trabalhado no objetivo de incentivar a monetização de ativos ambientais, por isso a importância da homologação do CAR para que se possa dar maior transparência e agilidade. A intenção é que se consiga que as compensações ambientais destinadas a reservas ambientais possam ser negociadas em bolsa. Importante ressaltar que o Ministério da Economia em parceria com o Ministério da Agricultura criou a CPR Verde que é 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 recebem incentivo 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” (SPANNA/SPE/ME).

#### **4.2.2 Entrevistas realizadas a pesquisadores científicos**

Como forma de consultar a Academia e a pesquisa brasileira sobre o tema do trabalho foi escolhido primeiramente a Embrapa que dentro de sua atuação em geral, trouxe e tem desenvolvido novas soluções tecnológicas que visam a proporcionar maior resiliência às mudanças climáticas. A Embrapa Milho e Sorgo dentre diversas iniciativas tem como destaque o desenvolvimento de novas variedades de milho, sorgo e milheto. No caso do milho destaca-se o Híbrido triplo de milho - BRS 304 resistente ao acamamento e ao quebramento; 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 safra verão quanto safrinha; o Milho - BRS Caatingueiro para regiões áridas; o Milho - BR 205 com tolerância à toxidez de alumínio e ao estresse hídrico.

Além do desenvolvimento de variedades mais adaptadas a cada região brasileira, outro trabalho importante publicado em 2022 foi “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” Embrapa Milho e Sorgo.

Segundo a Embrapa Cerrado e membro da Rede Nacional de Irrigantes (RENAI), a irrigação tem um papel fundamental para na sustentabilidade uma vez que permite a intensificação da produção em uma mesma área é possível fazer 2 até 3 safras em um mesmo ano, caso se acabasse a irrigação no mundo seriam necessárias a abertura de mais 300 milhões de hectares para suprir o que é hoje produzido pela irrigação. 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 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” Embrapa Cerrado e RENAI.

Além do seu papel na produção de alimentos, a irrigação também permite o acúmulo de água do período chuvoso para seu 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 e no acesso a financiamento.

Outro problema bastante questionado pelos produtores é a falta de disponibilidade constante e confiável de energia que em muitos casos acabam inviabilizando o investimento e gerando prejuízos para produtores que tem o equipamento e a disponibilidade hídrica, mas não conseguem fazer funcionar seus equipamentos por falta de energia. Muitos utilizam geradores que aumentam substancialmente os custos de operação.

Do ponto de vista da pecuária, a Diretoria Executiva de Gestão Institucional da Embrapa Pecuária trabalha visando a uma pecuária sustentável que preserve o meio ambiente e seja neutra em carbono. A programação envolve 3 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.

“No Brasil já são adotados 17 milhões de hectares de integração lavoura-pecuária. Espera-se que em menos de 5 anos estas práticas sejam disseminadas pelo país, tornando-se preponderante no meio rural” Embrapa Gado de Corte.

Na concepção do Insper/USP, há uma crescente exigência por cadeias produtivas coordenadas visando se adequar às mudanças climáticas, à necessidade do aumento da produtividade e à garantia da segurança alimentar, que serão elementos chaves para a transição agroecológica. Neste sentido, a Integração lavoura pecuária será um elemento chave que possibilitará que 100 milhões de hectares sejam poupados. 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 a questão do desmatamento e 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” Insper/USP.

Segundo o pesquisador Ernst Gotsch, 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 a produção de bovinos também se mostra bastante efetivo para garantir disponibilidade de capim de qualidade por um período de tempo maior que o convencional. Estas citadas práticas podem ser adotadas por todos os países, inclusive em regiões semiáridas como é o caso do uso da palma forrageira no Nordeste.

“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, a queima por motivos naturais é rara e em muitos casos não se alastra como as praticadas pelo ser humano” Ernst Gotsch.

Outro ponto de destaque é a irrigação que também pode apresentar um aumento na pressão sobre o meio ambiente, mas quando se planta por meio de práticas sustentáveis como o consorcio citado, sendo dispensado ou reduzido o uso da irrigação.

Trabalhos da UFRGS abordam também a temática da mudança de percepção dos consumidores que pressionam para uma mudança do sistema alimentar voltado para uma agricultura sensível à nutrição. 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. 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 visando adequar a produção de alimentos a dietas mais saudáveis. Alguns conceitos importantes, como EcoChefs, colocam em prática por meio do PNAE estas novas dietas que são introduzidas ainda na infância visando formar adultos mais conscientes” UFRGS.

### **4.2.3 Entrevistas realizadas a representantes do Setor Privado**

Buscando trazer a visão do setor privado brasileiro referente a cadeia produtiva do milho foram escolhidos representantes de instituições que compõem a cadeia em questão. As entrevistas foram agrupadas em três grupos de acordo com a atuação e segmento dos entrevistados: Insumos, Produção e Processamento.

#### **4.2.3.1 Setor de Insumos Agrícolas**

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 neste estudo. A visão de uma agricultura positiva ou sustentável que adote práticas como: plantio direto, manejo de plantas de cobertura, rotação de cultura e a Integração Lavoura Pecuária e 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” Syngenta.

Outro exemplo é o Projeto Prospera que visa impulsionar a produção de grãos na região Nordeste do Brasil. Vale destacar que esses estados produzem aproximadamente 900 mil toneladas de grãos, mas há uma demanda local estimada em mais de 6,6 milhões de toneladas, impulsionada pelos setores aviário e pecuário, isso faz com que o preço do grão nesses estados seja um dos mais altos do Brasil.

“O Projeto Prospera já atendeu 3.500 produtores nos estados de Alagoas, Paraíba, Rio Grande do Norte e Ceará, e tem como o objetivo é impactar mais de 50 mil pequenos agricultores nos próximos cinco anos, envolvendo capacitação dos pequenos agricultores em técnicas modernas de plantio e comercialização dos grãos” Corteva.

A produtividade média nestes 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.

O Projeto Pró Carbono é outro exemplo de esforço entre o setor público e privado, e conta com a participação de Centros de Pesquisa da Embrapa: Agricultura Digital, Instrumentação e Meio Ambiente. A ênfase do Programa é no 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” Bayer.

#### **4.2.3.2 Setor de Produção de Milho**

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. Esta prática devido ao armazenamento de nitrogênio no solo promovido pela soja pode resultar em uma redução de até 100 quilos de nitrogênio por hectare para a cultura do milho. 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” Abramilho.

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. Sendo utilizados biopesticidas em cerca de 20 milhões de hectares como as bactérias BT, uso de fungos e insetos como a *Trichogramma spp*” Aprosoja Brasil.

A APROSOJA também chama a atenção para o fato de o Brasil utilizar menos de 9% da área do país, e conta com preservação nas propriedades, variando de 20 a 80% da área que é destinada que é destinado à preservação, 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.

O Grupo Associado de Agricultura Sustentável – GASS 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 é possível reduzir o uso de diversos químicos como fungicidas, aplicações foliares e para tratamento de sementes.

“Estes 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, podendo chegar a apenas uma aplicação de pesticidas ou até mesmo a não aplicar qualquer produto químico na lavoura.” GAAS.

#### **4.2.3.3 Setor de Processamento de Milho**

No âmbito da produção de aves e suínos, segmentos que são os principais destinos do milho brasileiro, algumas iniciativas visando a dar maior sustentabilidade são: o Programa Alimento a Esperança, o Protocolo de Bem-Estar para Aves Poedeiras, o Selo Mais Integridade, 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. O material foi produzido em parceria com a Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR) e traz informações como: os 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” ABPA.

No tocante a rações, grande parte da produção de ração hoje no Brasil é destinado ao mercado interno com uma pequena parte sendo exportada para países vizinhos, principalmente a ração para pets e aquicultura. O setor também promove também o evento FeedLatina no qual reúne as empresas de ração de toda a América Latina para construir princípios de equivalência e padronização. Seguindo as Normatizações do Ministério da Agricultura, o setor incorporou as práticas europeias no Brasil a partir de 2006.

“A ração brasileira 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” SINDIRAÇÕES.

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 2º Safra transformou o território onde se localizam as usinas de etanol. As mencionadas refinarias agregam bastante valor ao grão, pois além do biocombustível também produz o farelo de milho, ou DDG, que tem incrementado a produção de bovinos, aves e suínos, resultando em um ciclo virtuoso em que o grão produzindo internamente também é consumido internamente, o que reduz significativamente a emissão de CO<sub>2</sub>.

“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 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 até chegar aos veículos da população brasileira” UNEM.

Um insumo essencial para o funcionamento das usinas de etanol é a biomassa para a queima. Neste sentido, cooperativas como a Comigo, passaram a desenvolver projetos para a geração de energia com combustível renovável como a ComBio. Entretanto, a biomassa florestal ainda é a principal fonte. O Eucalipto, por meio do cavaco, resulta na produção de 1,8 bilhões de toneladas seguido pelo Pinus

cerca de 1,8 milhões de toneladas. Novas alternativas têm surgido buscando contornar o elevado preço do cavaco e do bagaço como o plantio de Bambu, que tem se mostrado promissor devido ao seu ciclo mais curto se comparado ao eucalipto e ao pinus.

O uso de resíduos agrícolas para a produção de biomassa tem se apresentado como uma saída tanto 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 milhões de toneladas ano de cavaco proveniente destas laranjeiras. No caso do café, a utilização da borra e a casca são mais 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 um potencial de gerar 220 mil toneladas 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 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 para 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” Abimilho.

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 e 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 desmatamento e seguem preceitos sustentáveis. Um exemplo é a moratória da soja que impede a compra de grãos provenientes de áreas abertas após 2008 e que também passou a ser adotado para o milho.



“Produtores que haviam feito a abertura pós 2008, diante da impossibilidade da comercialização de soja, passaram a plantar milho o que contribuiu para a ampliação da área cultivada. Outra iniciativa foi o Protocolo Verde de Grãos do Pará que abrangem soja, milho e arroz, o qual adota os mesmos princípios” ANEC.

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, “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. Somados a Abiove e a 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 são desenvolvidos. Anteriormente o programa se restringia a 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 8 estados brasileiros e em mais de 5 mil propriedades. Trata-se do maior serviço privado de assistência técnica do Brasil, proporcionando capacitação técnica e assistência no cumprimento legal das leis trabalhistas, ambientais e sociais.

Ainda sobre a Moratória da Soja, são 15 anos de sua implementação e limita produtos provenientes de desmatamento na Amazônia sendo mais rigoroso que a legislação brasileira, sendo aplicado mesmo para desmatamentos legais com licenciamento. O Protocolo do Pará está em vigor há 8 anos e conta com a parceria do Ministério Público Federal, Green Peace, WWF e Aflora, dentre 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).

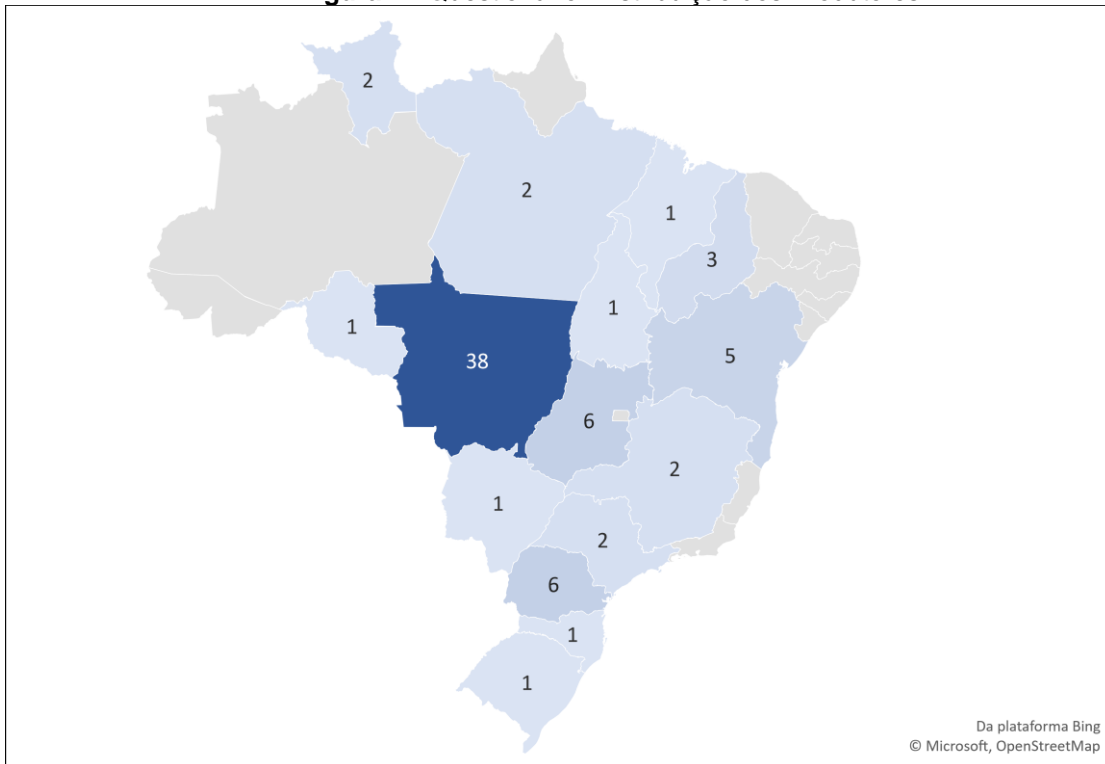
“A maior exigência vem do mercado Europeu que compra 54% do farelo de soja na ordem de 9 bilhões de dólares. Importantes consumidores são: McDonalds, Walmart, Carrefour, Danone, Nestlé e Unilever, que exigem produtos livres de desmatamento e conflitos com terras indígenas. Inicialmente a preocupação era somente com a Amazônia, mas nos últimos 5 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” Abiove.

### 4.3 Questionários

Ao todo foram 72 produtores rurais de 15 Estados distintos que somados corresponderam a 206 mil hectares. Destes 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, foram 38 produtores ou 52% das respostas, seguido por: Paraná (6), Goiás (6) e Bahia (5). No mapa a seguir é possível observar a distribuição dos produtores que responderam ao questionário.

**Figura 4 - Questionário: Distribuição dos Produtores**

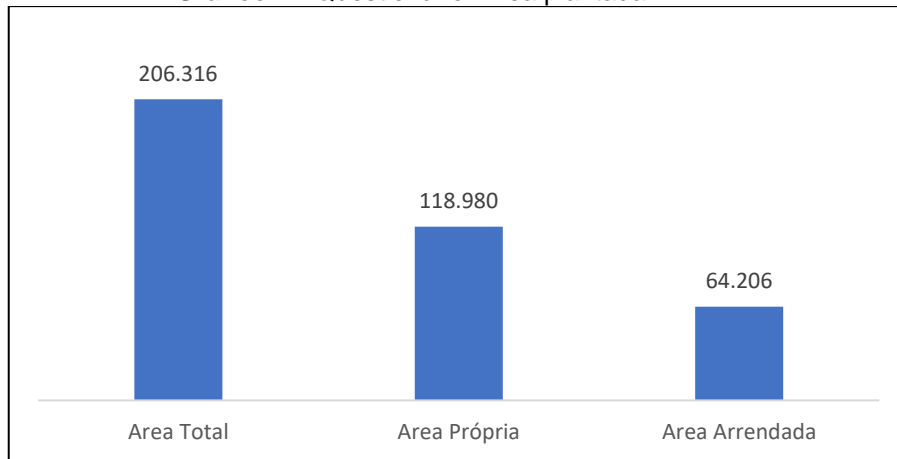


Fonte: elaboração do autor

Como dito anteriormente, o questionário abarcou 206 mil hectares sendo 118,9 mil hectares de área própria e 64,2 mil hectares de áreas arrendadas. A estratégia de arrendamento se mostrou bastante presente respondendo por 65% dos produtores ou 47 dos questionários respondidos. Sendo cinco produtores sem nenhuma área própria e outros 18 em que a área arrendada é superior à sua área

própria. No Gráfico a seguir é possível observar que 31% das lavouras dos produtores respondentes estão em áreas arrendadas.

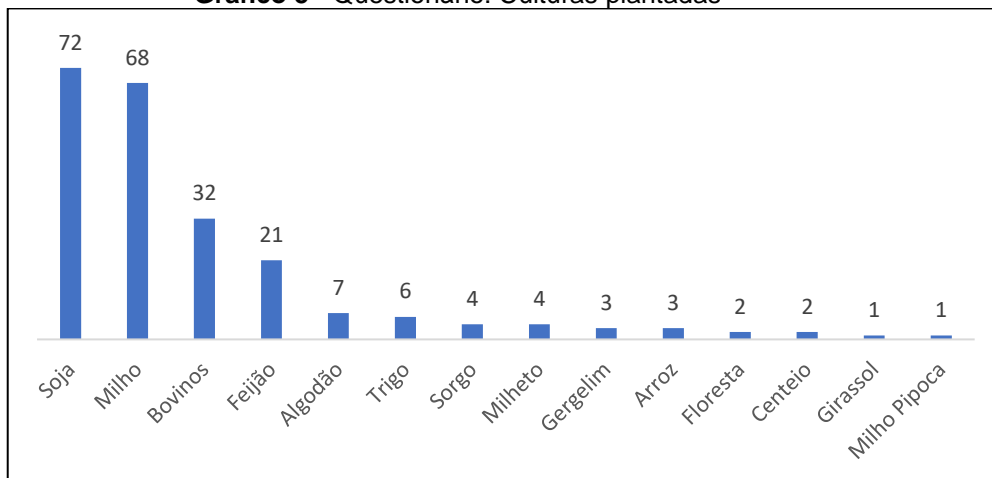
**Gráfico 4 - Questionário: Área plantada**



Fonte: elaboração do autor.

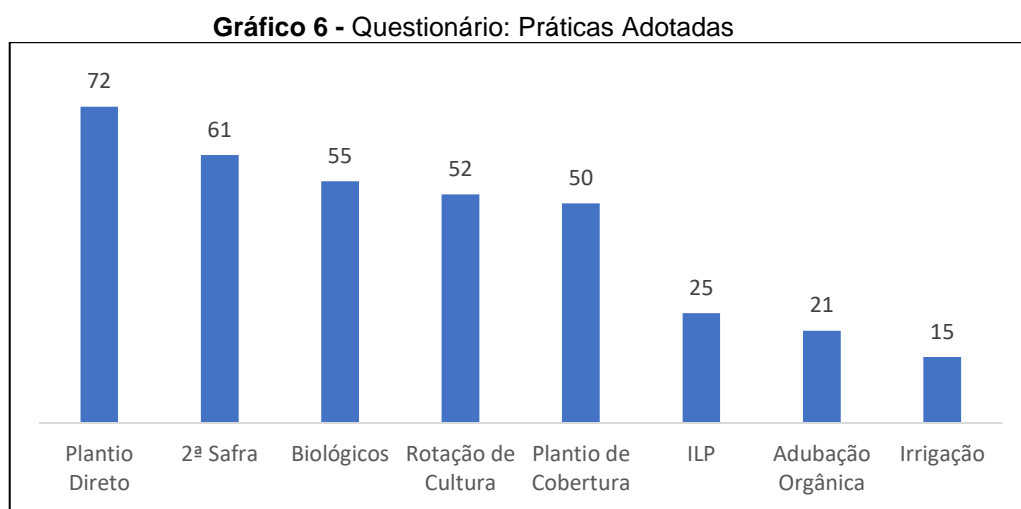
Quanto as culturas plantadas pelos produtores foram sinalizadas 13 culturas distintas e a adoção da pecuária bovina. Todos os 72 produtores afirmaram cultivar soja e 94% milho. A criação de bovinos seja por meio da integração com a agricultura ou não esteve presente em 44% das respostas seguida pela cultura do feijão em 29%. No Gráfico a seguir é possível observar as culturas plantadas pelos produtores que responderam o questionário.

**Gráfico 5 - Questionário: Culturas plantadas**



Fonte: elaboração do autor.

No que se refere as práticas agrícolas adotadas nas propriedades todos os produtores afirmaram realizar o plantio direto e 61 fazem o cultivo da 2ª Safra ou seja 84% dos produtores. A utilização de biológicos como inoculantes e bioinsumos foi a terceira prática mais adotada por 55 produtores ou 76%, seguido pela rotação de cultura e o plantio de cobertura 52 (72%) e 50 (69%) respectivamente. No gráfico a seguir é detalhado as práticas adotadas pelos produtores que responderam ao questionário:



Fonte: elaboração do autor.

Passando para uma análise pormenorizada dos resultados 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 quando responderam sobre quais culturas praticam marcaram apenas soja e milho demonstrando uma sucessão de culturas e não uma rotação propriamente dita.

Outro ponto que chama a atenção é que 32 produtores informaram fazer a criação de bovinos porém apenas 25 responderam realizar a Integração da Lavoura com a 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 com os produtores.

O elevado uso de biológicos pode estar mais associado ao uso de inoculantes na soja, prática bastante comum no Brasil, do que na adoção de outros bioinsumos.

Isso se traduz na baixa adesão ao uso da adubação orgânica apenas 29%. No tocante a irrigação notou-se uma maior variedade de culturas, dos 15 produtores que possuem irrigação todos produzem soja e milho e apenas 4 não produzem feijão. Todos fazem plantio direto e 2ª Safra e apenas um não faz rotação de cultura.

### 4.3 Comparando os achados

A partir dos resultados obtidos com a Revisão Sistemática, as entrevistas e os questionários, esta sessão se propõe a confrontar primeiramente a literatura existente com o contexto brasileiro observado e posteriormente efetuar um comparativo com duas realidades que são referências e reconhecidas mundialmente: os “Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU para 2023” e a “Política do Pacto Ecológico Europeu”. Desta forma, se poderá avaliar o grau de evolução em que se encontra a Cadeia Produtiva Brasileira do Milho.

A 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 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 (CELERES, 2021).

A **fixação biológica de nitrogênio** no solo, promovido pelas leguminosas como a soja, próximo de 35 quilos por hectare, permite que haja uma redução na 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; BURDMAN; OKON, 2012). O uso de inoculantes também é uma prática comum nas lavouras brasileiras dos 72 produtores questionados 76% afirmaram utilizar biológicos como inoculante.

Uma conclusão relevante que se obteve na análise dos questionários é a de que no quesito **rotação de cultura**, identificou-se que a adoção desta adoção é praticada por 72% dos produtores, sendo que relativamente o modelo de integração lavoura-pecuária o seu uso é adotado por 34% dos produtores. No entanto, é preciso diferenciar a rotação de cultura com a sucessão de cultura. 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 da Lavoura Pecuária e Floresta ILPF no Brasil 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. (BALBINO; CORDEIRO; MARTINES, 2011)

A produção de **biocombustível** no Brasil desponta como 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, também deve-se considerar que a soja, a palma e o sebo bovino também contribuem na produção de biodiesel. No caso do etanol de milho, há uma grande vantagem no uso deste cereal para o combustível porque o resíduo da produção é usado para a produção de grande volume de alimentos para a pecuária.

O Quadro 14 sintetiza o comparativo 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.

**Quadro 13.** Comparativo entre Revisão da Literatura e o Contexto Brasileiro

| <b>Tema</b>                | <b>Contexto Brasileiro</b>         | <b>Atendido</b> |
|----------------------------|------------------------------------|-----------------|
| Biotecnologia              | Largamente usado                   | Plenamente      |
| Redução de Nitrogênio      | Inoculantes e rotação soja/milho   | Parcialmente    |
| Rotação de Cultura         | ILPF                               | Parcialmente    |
| Biogás                     | Milho pouco usado                  | Parcialmente    |
| Perdas e Desperdícios      | Déficit 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 <sup>2</sup> | ILPF/Rotação de cultura            | Parcialmente    |
| Bioplástico                | Milho pouco usado                  | Não Atendido    |

Fonte: Elaboração do autor

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 CO<sup>2</sup> e produção de Bioplástico.

No caso da produção de biogás e geração de **bioenergia** a partir do milho, um dos fatores limitantes é o fato de que vai de encontro com os preceitos do sistema de plantio direto, amplamente utilizado no Brasil e que preconiza a manutenção da palhada no solo como forma de melhoria da fertilidade.

Outro tema importante é o déficit de armazenagem e de infraestrutura, especialmente das estradas, que explicam 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 (CONAB, 2021).

Já o déficit entre a produção de grãos e a capacidade de armazenagem, que atualmente é de 100 milhões de toneladas, pode e deve ser diminuído a partir do aumento das instalações de armazenagem dentro das propriedades (CONAB, 2021). Trata-se de questão chave para mitigar as perdas e também para garantir a qualidade dos grãos. Comparativamente a outros países, Brasil registra grande atraso, pois apenas 15% das instalações de armazenagem são em nível de fazenda enquanto que em outros países como Canadá alcança 85%, Estados Unidos atinge a 65%, continente europeu é de 50% e na vizinha Argentina está em 40% (CONAB, 2023).

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

No quesito relativo à **Redução de Emissões de CO<sup>2</sup>**, algumas práticas citadas anteriormente mitigam e auxiliam no sequestro de carbono como: redução de fertilizantes nitrogenados, plantio direto, rotação de cultura, 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 expansão do Plano de Agricultura de Baixo Carbono (ABC).

Finalmente, a produção de **bioplásticos** a partir do milho ainda é incipiente no Brasil. O uso da cana-de-açúcar e de fontes florestais predomina. 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.

#### **4.3.1 A contribuição da Cadeia Produtiva Nacional do Milho para atingir os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS)**

A Organização das Nações Unidas (ONU) traçou os seguintes 17 objetivos visando ao desenvolvimento sustentável para 2030: Erradicação da pobreza, Fome zero e Agricultura Sustentável, Saúde e Bem-Estar, Educação de Qualidade, Igualdade de gênero, Água limpa e Saneamento, Energia limpa e acessível, Trabalho decente e crescimento econômico, Inovação e Infraestrutura, Redução das desigualdades, Cidades e Comunidades Sustentáveis, Consumo e Produção Responsáveis, Ação contra a mudança global do clima, Vida na água, Vida terrestre, Paz e justiça e Parcerias.

Os países, os setores da economia e os cidadãos devem trabalhar tendo como premissa alcançar estes objetivos de interesse geral, criando alternativas que gerem impactos positivos direta ou indiretamente. No caso da Cadeia Produtiva Nacional do Milho, por ser um setor econômico, apresenta alguns objetivos que são mais próximos e requerem maior atenção, neste sentido 10 ODS foram separados para análise: Erradicação da pobreza, Fome zero e agricultura sustentável, Saúde e bem-estar, Energia limpa e acessível, Trabalho decente e crescimento econômico, Inovação infraestrutura, Redução das desigualdades, Consumo e produção responsáveis, Ação contra a mudança global do clima, Vida na água e Vida terrestre

Por ser uma cadeia bem estruturada os **indicadores econômicos** trazem contribuições que impactam diretamente os objetivos traçados na linha de ODS. A erradicação da Pobreza ainda é um problema estrutural e presente no Brasil e



demanda tempo e esforço amplo, e nesse sentido a cadeia do milho tem contribuído na medida que interioriza os benefícios da interiorização dos avanços tecnológicos e geração de emprego e renda, promovendo desenvolvimento e redução das desigualdades para o interior do Brasil.

Como apresentado diversas vezes neste trabalho, o milho é a base de toda a cadeia de produção de proteína animal o que contribui para a redução da fome e também para a preservação da saúde. O expressivo aumento da produção dos alimentos essenciais derivados do milho reforçam 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 “strictu sensu” da produção de alimentos.

No quesito de produção de **energia limpa**, o Brasil se destaca como uma referência mundial seja por contar com uma Matriz Energética baseada nas hidrelétricas seja pela ampla adoção dos biocombustíveis. No entanto, ainda é preciso avançar mais celeremente na produção de energia solar e eólica, aproveitando o extraordinário potencial que aponta para uma verdadeira vocação do País.

No Quadro 14 foi feito um comparativo entre os ODS e a contribuição da Cadeia Produtiva Nacional do Milho para o seu atingimento. A classificação continua seguindo o grau de atendimento aos pressupostos apontados: plenamente, parcialmente e não atendido.

**Quadro 14.** Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS): Contribuições e Desafios para a Cadeia Nacional do Milho

| <b>Tema</b>                      | <b>Contribuição</b>                | <b>Atendido</b> |
|----------------------------------|------------------------------------|-----------------|
| Erradicação da Pobreza           | Interiorização da economia         | Parcialmente    |
| Fome Zero                        | Disponibilidade de alimentos       | Parcialmente    |
| Boa Saúde e Bem-Estar            | Alimentos de qualidade             | Parcialmente    |
| Energia Limpa                    | Biocombustível e Matriz Energética | Plenamente      |
| Crescimento Econômico            | Geração de Empregos                | Plenamente      |
| Redução das Desigualdades        | Interiorização da economia         | Parcialmente    |
| Consumo e Produção Sustentável   | Manejo sustentável                 | Parcialmente    |
| Combate às alterações Climáticas | Sistemas Alimentares Resilientes   | Não Atendido    |
| Vida na água                     | Reduzir a contaminação             | Não Atendido    |
| Vida terrestre                   | Código Florestal                   | Parcialmente    |

Fonte: Elaboração do autor

Dos dez ODS elencados, dois são atendidos plenamente devido à própria natureza do setor econômico em questão, seis de forma parcial e apenas dois não são atendidos, num cenário que necessitam de mudanças e adequações para serem plenamente atendidos.

O aumento da **exigência dos consumidores** por alimentos sustentáveis e a preocupação com a saúde fez aumentar substancialmente a produção de orgânicos no Brasil. Isso tem levado a uma remodelação da cadeia produtiva. Ainda que possa ser entendido como um nicho de mercado no momento, o futuro aponta para um crescimento exponencial para os próximos anos. Aliado a isso, a preocupação com as mudanças climáticas faz com que um dos maiores desafios para a cadeia produtiva será manter a produção mudando o modo de produzir.

Tratando-se de vida aquática sob a ótica da agricultura o maior problema enfrentado é a **contaminação** de rios e lençóis freáticos. Neste sentido, o Brasil ainda precisa avançar em um monitoramento robusto e sistemático da qualidade da água e do efeito da agricultura. Um ponto positivo é a política de recolhimento de embalagens utilizadas com pesticidas em que o Brasil é referência (BRASIL, 2002). Referente à vida terrestre além das adoções de boas práticas de manejo nas lavouras, ainda é preciso implementar plenamente o Código Florestal e o Programa de Regularização Ambiental.

#### **4.3.2 Comparativo entre a agricultura brasileira e os preceitos do Pacto Ecológico Europeu (Green Deal)**

A mudança na percepção da população em geral relacionada **à mudança climática** mobilizou os países a traçarem estratégias de longo prazo para mitigar seus efeitos. Dentre estas iniciativas destaca-se o Pacto Ecológico Europeu pela sua abrangência, grau de influência e estágio de implementação.

Por se tratar de premissas voltadas para o futuro, não se pode afirmar que o Brasil tenha atendido plenamente os objetivos traçados pelo Pacto Ecológico. Mas em alguns temas o Brasil se encontra em estágio mais avançado de atingimento como: forte participação da **energia limpa** no modelo energético, energia

sustentável consumida no sistema de transporte, **financiamento de projetos ecológicos** e sistema de **produção agrícola sustentável**.

Em particular o uso de **energia limpa** posiciona o Brasil em condição melhor que a maioria dos países europeus por não contar com uma dependência tão grande de fontes provenientes do carvão e dos combustíveis fósseis.

A Matriz energética brasileira tem um potencial energético de 203 GW sendo 81,2% de fontes renováveis: hídrica 51,8%, eólica 11,0%, solar 10,6% e 7,8 % de biogás e biomassa. Em 2020 a geração hidrelétrica respondia por 63,8%, eólica 7,3% e solar apenas 1,4%. A capacidade instalação de geração fotovoltaica em 2020 era de 8 GW e saltou para 22,3 GW em apenas dois anos. Em 2022 o Brasil chegou a marca de 22,3 GW de capacidade instalada para geração de energia fotovoltaica, o que representa 10,6% da matriz energética brasileira (EPE, 2022). O País está entre os maiores produtores de energia solar do Mundo atrás da China, maior produtor mundial de energia fotovoltaica do Mundo com 254 GW, seguido por Estados Unidos 73,8 GW, Japão 68,7 GW, Alemanha 53,8 GW e Índia 39GW (REN21; 2022)

No que se refere ao **transporte sustentável**, os veículos elétricos serão tão limpos quanto o insumo utilizado para a produção da energia elétrica. No caso brasileiro 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 CO<sup>2</sup>.

No que concerne a **financiamento de projetos ecológicos**, o Plano da Agricultura de Baixo Carbono – Plano ABC, lançado em 2011 já financiou a implantação de projetos cobrindo uma área de 52 milhões de hectares, o que mitigou cerca de 170 milhões de toneladas de carbono. Desde seu lançamento, foram desembolsados R\$ 17 bilhões em 34 mil contratos (EMBRAPA, 2023). No entanto, ainda é necessário um maior engajamento de instituições financeiras privadas para ampliar os investimentos verdes no País.

Do ponto de vista da **conservação e preservação da natureza**, o Brasil conta com uma das legislações ambientais mais rigorosas do Mundo (DE MIRANDA; 2018). Aprovado em 2012, o Código Florestal determina que seja feita a preservação de nascentes, matas ciliares e que haja uma reserva ambiental em

todas as propriedades rurais do País, de acordo com o bioma em que se encontra. No Bioma Amazônico é obrigatório a conservação de 80% da área de cada propriedade rural, no Bioma Cerrado mas dentro da região da Amazônia Legal, o percentual sobe para 35% da área, e nas demais regiões do Brasil, 20% da propriedade deve ser destinada à reserva legal (BRASIL, 2012).

Apesar do rigor do Código Florestal ainda está pendente, a validação do Cadastro Ambiental Rural (CAR), feito pelos produtores rurais de forma auto declaratória. A previsão oficial é de que, após o cumprimento desta etapa, será possível determinar quantas propriedades atendem rigorosamente à legislação e iniciar o Programa de Regularização Ambiental para aqueles que não estão de acordo com o Código Florestal.

Relativamente ao sensível tema do desmatamento ilegal, é evidente que o Brasil ainda passa por dificuldades para controlar esta prática fruto da grilagem de terra, extração de madeira e a mineração ilegal. Estes atos ilícitos que devem ser combatidos ainda enfrentam barreiras de diversas naturezas, inclusive devido à incapacidade governamental de controle e punição de uma atividade que subsiste há vários séculos.

No que tange à **produção sustentável**, uma prática inovadora da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), lançada em 2011, conhecida como Integração Lavoura Pecuária e Floresta (ILPF) a qual possibilita uma atividade agrícola e pecuária com geração neutra de carbono. A área ocupada com este sistema alcança apenas 3 milhões de hectares, mas a projeção oficial é de que possa chegar a 35 milhões de hectares em 2030 (EMBRAPA, 2023).

No quadro 16, é feito um comparativo entre os preceitos do Pacto Ecológico Europeu e o contexto brasileiro. A classificação repete o critério anterior de atendimento pleno, parcial ou não atendido.

**Quadro 15.** Comparativo entre os preceitos do Pacto Ecológico Europeu e a Cadeia Produtiva do Milho no Brasil

| <b>Tema</b>                          | <b>Contribuição</b>             | <b>Atendido</b> |
|--------------------------------------|---------------------------------|-----------------|
| Energia Limpa                        | Bioenergia                      | Parcialmente    |
| Transporte Sustentável               | Biocombustível                  | Parcialmente    |
| Indústria ecológica                  | faltam iniciativas              | Não atendido    |
| Eliminar a Contaminação              | Bioinsumos e Rotação de Cultura | Não atendido    |
| Financiamento de Projetos Ecológicos | Plano ABC                       | Parcialmente    |

|                           |                        |              |
|---------------------------|------------------------|--------------|
| Proteção da Natureza      | Código Florestal       | Parcialmente |
| Perdas e Desperdícios     | Déficit de Armazenagem | Não atendido |
| Produção Sustentável      | ILPF e Programa ABC    | Parcialmente |
| Processamento Sustentável | Faltam iniciativas     | Não atendido |
| Consumo Sustentável       | Crescente preocupação  | Não atendido |

Fonte: Elaboração do autor

Entretanto, os temas que requerem mais atenção e exigem maior engajamento para serem satisfatoriamente equacionados são: **Indústria Ecológica, Controle da Contaminação, Redução de Perda e Desperdícios, Processamento Sustentável e Consumo Sustentável.**

As dificuldades identificadas por temas estão comentadas a seguir. Um desafio na **redução da contaminação** por parte da atividade agropecuária é o uso de produtos químicos para controle de pragas que acabam por infiltrar no solo chegando ao lençol freático. Algumas iniciativas que auxiliam a reduzir esta contaminação é a utilização de bioinsumos e biocontrole conforme apontado pela Embrapa Milho e Sorgo há uma gama de agentes biológicos que podem controlar as pragas na lavoura quando em estágios iniciais.

No que se refere a **indústria ecológica** e processamento sustentável ainda carece de maiores investimentos não tendo sido observado nas entrevistas realizadas com os atores da cadeia do milho entusiasmo quanto a implementação ou investimento neste tipo de tecnologia.

As **perdas e desperdícios** na cadeia produtiva do milho estão ligadas principalmente ao momento da colheita, transporte e armazenagem, e tendo ficado claro a necessidade da ampliação do acesso a crédito para a construção de armazéns e silos em nível de fazenda.

Já o aumento da preocupação por um **consumo sustentável** tem resultado em diversas alterações na cadeia principalmente no que se refere à criação de certificações, seja para produtos livres de desmatamento seja para produtos orgânicos, recordando que está em discussão no Parlamento a criação do Selo Agro Verde (PL 4734/20) a ser conferido a quem respeita a regularidade ambiental da produção agropecuária.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho logra atingir seu objetivo geral ao elencar ações necessárias para a transição sustentável da cadeia. Isso foi possível após a realização dos objetivos específicos de levantar as tendências de práticas sustentáveis apontadas pela Academia e contextualizar a cadeia produtiva do milho no Brasil por meio das entrevistas e questionários.

O primeiro objetivo específico foi realizar o levantamento da realidade da produção de milho no Brasil. O objetivo foi atingido após a realização das entrevistas com especialistas, a aplicação de questionários com produtores rurais e pesquisa de dados de produção da cadeia em bases oficiais de governo.

O segundo objetivo específico consistiu em identificar as principais tendências de mudanças em que a cadeia produtiva do milho irá se deparar no futuro. Neste sentido logrou-se o objetivo ao realizar uma revisão sistemática da literatura nas bases de dados da Science Direct e Web of Science, nas quais foram analisados 66 artigos publicados entre 2015 a 2022.

O terceiro objetivo específico, comparar os achados da pesquisa com os Objetivos para o Desenvolvimento Sustentável da ONU e a Política do Pacto Ecológico Europeu foi ilustrado nos quadros contidos no capítulo anterior. Os achados foram confrontados com os ditames previstos pela ONU e pelo Pacto Ecológico Europeu.

Por fim o quarto e último objetivo específico que culminou na realização do objetivo geral, consistiu em elencar as ações necessárias para a transição da cadeia produtiva do milho para um modelo sustentável, foi alcançado ao se deparar com os principais pontos de atenção em que a cadeia nacional do milho apresenta suas maiores limitações, tais ações são listadas a seguir e que irão 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 déficit de armazenagem;
- Criar políticas públicas para a produção de bioplástico;
- Criar a rastreabilidade na cadeia do milho e;
- Incentivar a indústria ecológica e processamento sustentável.

As conclusões principais a partir da 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.

No que tange à produção sustentável, um destaque que tem sido mencionado no sistema produtivo é a prática inovadora desenvolvida pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), e lançada em 2011, conhecida como Integração Lavoura Pecuária e Floresta (ILPF) a qual possibilita uma atividade agrícola e pecuária com geração neutra de carbono. A área ocupada com este sistema alcança apenas 3 milhões de hectares, mas a projeção oficial é de que possa chegar a 35 milhões de hectares em 2030.

Outras práticas relevantes que foram listadas ao longo do trabalho, e que também já são adotadas no Brasil, são a Rotação de Cultura, 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 o que podem ocasionar a contaminação do solo. Utilizando os implementos agrícolas rolo-faca ou uma roçadeira em uma área com plantio de cobertura é possível diminuir significativamente o uso de herbicidas. No entanto, em regiões quentes como no Brasil Central, principal região produtora, a não ocorrência de geadas e de um inverno rigoroso ocasionam o rebrote de algumas espécies de plantas daninhas ou de cobertura. Quando o cultivo é submetido apenas ao controle mecânico pode ocasionar também a infestação de plantas daninhas de difícil controle.

Diante do cenário descrito, a indicação é a de que é necessária a combinação na utilização integrada do manejo mecânico com herbicidas. Ressalte-se que tal prática dificulta a expansão do sistema de plantio direto sem herbicidas em grandes áreas no Brasil Central.

Outro desafio ligado também a contaminação do solo é a utilização de fertilizantes nitrogenados, ainda que se utilize a rotação de cultura, bioinsumos e a fixação biológica, a cultura do milho ainda depende do uso de insumos nitrogenados para ter uma alta produtividade. A solução irá passar por uma combinação de ações e de cultivares que apresentem boa produtividade mesmo com menor adição de nitrogênio e o nitrogênio verde.

No tocante à sustentabilidade nas propriedades rurais e a preservação da vida terrestre e aquática, o maior problema enfrentado é a contaminação de rios e lençóis freáticos. Neste sentido, o Brasil ainda precisa evoluir para lograr um monitoramento robusto e sistemático da qualidade da água e do efeito da agricultura. Um ponto positivo é a política e a prática generalizada de recolhimento de embalagens utilizadas com pesticidas, o que coloca o Brasil como referência internacional.

Referente à vida terrestre, além das adoções 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), feito pelos produtores rurais de forma auto declaratória. Se por um lado estados como São Paulo, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Santa Catarina terem avançado consideravelmente, os estados da região Norte do País ainda precisam acelerar o processo. Para se ter uma ideia do tamanho do desafio, em Mato Grosso por exemplo apenas 26% dos cadastros foram efetivamente validados. No estado do Pará, estima-se que serão necessários de 6 a 7 anos para finalizar a validação de todos os cadastros.

A previsão oficial é de que, após o cumprimento desta etapa, será possível determinar quantas propriedades atendem rigorosamente à legislação e, a partir daí, se iniciar o Programa de Regularização Ambiental para aqueles que não estão compatibilizados com o Código Florestal.

Relativamente ao sensível tema do desmatamento ilegal, é evidente que o Brasil ainda passa por dificuldades para controlar esta prática, fruto da grilagem de



terra, extração de madeira e a mineração ilegal. Estes atos ilícitos, que devem ser combatidos, requerem a superação de barreiras de diversas naturezas, inclusive devido à incapacidade governamental de controle e punição de uma atividade que subsiste há vários séculos.

No quesito relativo à Redução de Emissões de CO<sup>2</sup>, algumas práticas citadas anteriormente mitigam e auxiliam no sequestro de carbono, tais como: redução de fertilizantes nitrogenados, plantio direto, rotação de cultura, 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).

O Plano da Agricultura de Baixo Carbono – Plano ABC, lançado em 2011, já financiou a implantação de projetos cobrindo uma área de 52 milhões de hectares, o que mitigou cerca de 170 milhões de toneladas de carbono. Desde seu lançamento, foram desembolsados R\$ 17 bilhões em 34 mil contratos. No entanto, ainda é necessário um maior engajamento de instituições financeiras privadas para ampliar os investimentos verdes no País.

No que se refere ao transporte sustentável, os veículos elétricos serão tão limpos quanto o insumo utilizado para a produção da energia elétrica. No caso brasileiro 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 CO<sup>2</sup>.

No quesito de produção de energia limpa, o Brasil se destaca como uma referência mundial seja por contar com uma Matriz Energética baseada nas hidrelétricas seja pela ampla adoção dos biocombustíveis. No entanto, ainda é preciso avançar mais celeremente na produção de energia solar e eólica, aproveitando o extraordinário potencial que aponta para uma verdadeira vocação do País. A capacidade instalada de geração fotovoltaica em 2020 era de 8 GW, e saltou para 22,3 GW em apenas dois anos. Em 2022, o Brasil chegou a marca de 22,3 GW de capacidade instalada para geração de energia fotovoltaica, o que representa 10,6% da matriz energética brasileira

O expressivo aumento na 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 “strictu sensu” da produção de alimentos.

Além da ampliação do acesso ao alimento por parte da população mais vulnerável, também é preciso combater as Perdas e Desperdícios. Para tanto, é fundamental o aumento da capacidade de armazenagem de grãos como forma de diminuir as perdas. Calcula-se que ao menos 1,5 milhões de toneladas de milho sejam perdidas todos os anos.

O déficit entre a produção de grãos e a capacidade de armazenagem, que atualmente é de 100 milhões de toneladas, pode e deve ser diminuído a partir do aumento das instalações de armazenagem dentro das propriedades. Trata-se de questão chave para mitigar as perdas e também para garantir a qualidade dos grãos. Comparativamente a outros países, Brasil registra grande atraso, pois apenas 15% das instalações de armazenagem são em nível de fazenda enquanto que em outros países como Canadá alcança 85%, Estados Unidos atinge a 65%, continente europeu é de 50% e na vizinha Argentina está em 40%.

A possibilidade de se aproveitar mais uma alternativa para agregar valor dentro da cadeia produtiva do milho depende da produção de bioplásticos a partir do cereal. Esta opção ainda é incipiente no Brasil, mas apresenta potencial para aumentar consideravelmente a produção alternativa de plástico. O uso da cana-de-açúcar e de fontes florestais predominam. Porém, observa-se que faltam Políticas Públicas que estimulem a produção de bioplástico a partir do milho para que as usinas produtoras de etanol tenham interesse em investir na tecnologia. A ausência de um mercado firme e a concorrência com outros usos do milho continuarão marginalizando a produção de bioplástico.

A percepção e opção dos consumidores por alimentos produzidos via sistemas sustentáveis e com responsabilidade social tem incentivado a adoção da rastreabilidade e de produtos orgânicos. Neste ponto a Cadeia Nacional do Milho ainda precisa avançar. A rastreabilidade dos grãos consumidos pela cadeia coloca um grande desafio uma vez que, normalmente, o grão é misturado em armazéns e centros de transbordo, tornando inviável mensurar com exatidão a origem do grão.

No tocante às práticas orgânicas na produção que englobem a não utilização de sementes transgênicas e o uso de produtos e fertilizantes químicos, ainda é uma realidade distante apesar de lentamente se alastrar pelo Brasil. A grande barreira de sua adoção é o controle de pragas e o aumento dos custos para se ter a mesma produtividade conseguida pelo plantio convencional.

No que se refere a indústria ecológica e processamento sustentável, ainda são necessários maiores investimentos. Ressalte-se que não se observou nas entrevistas realizadas com os atores da cadeia do milho entusiasmo quanto a implementação ou investimento neste tipo de tecnologia. Um avanço substancial nesta opção demanda uma política pública de incentivo, e que inclua a facilitação de acesso ao crédito favorecido e a assistência técnica.

As ações necessárias para a transição ecológica não se esgotam nem tão pouco se limitam às citadas acima, mas as mesmas servem para auxiliar a ladrilhar um caminho inevitável em que, não só a cadeia produtiva, mas todos nós teremos que trilhar. Ademais, a opinião pública mundial está mais consciente quanto à necessidade dos ajustes que devem ser feitos no sistema produtivo de alimentos tanto para oferecer produtos mais saudáveis à população quanto para preservar o planeta para esta e futuras gerações, além de se adequar às crescentes exigências dos mercados importadores. Assim, não se trata de um desafio específico da cadeia produtiva do milho, mas de todo o sistema de produção agrícola.

Sem dúvida ao se tratar da análise a nível nacional com tantas diversidades como ocorre no Brasil, não é possível fazer uma afirmação contundente que englobe todas as realidades contidas na cadeia nacional do milho. Para contornar estas limitações é preciso incluir também as práticas agrícolas de pequenas propriedades e granjas, ainda que representem uma menor porção da cadeia alteram o resultado final.

Dito isso as próximas pesquisas devem trazer também uma visão das pequenas propriedades bem como uma análise mais profunda das iniciativas de sustentabilidade adotadas pelo setor industrial no Brasil, mesmo que representantes deste segmento tenham sido ouvidos o tema não se esgota, principalmente por se tratar de um assunto atual em que novas iniciativas surgem a todo momento.

## REFERÊNCIAS

ABPA, Associação Brasileira de Proteína Animal. **Relatórios**. Disponível em: <<https://abpa-br.org/relatorios/>> Acesso em: 18/05/2022.

ACEVEDO-SIACA, L.; GOLDSMITH, P. D. Soy-maize crop rotations in sub-Saharan Africa: A literature review. **International Journal of Agronomy**, v. 2020, 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Sistemas Externos ANP**. Brasília: ANP, 2021 In: <http://app.anp.gov.br/anp-csa-web/> Acessado em 08. Abril 2021.

AGROFIT, Sistema de Agrotóxicos Fitossanitário. **Consulta Aberta**. Disponível em: <<https://agrofit.agricultura.gov.br/>> Acesso em: 18/05/2022.

AGYEKUMHENE, C. et al. Digital platforms for smallholder credit access: The mediation of trust for cooperation in maize value chain financing. **NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences**, v. 86–87, n. June, p. 77–88, 2018.

AMATUZZI, M. L.; MARTINS, M. A.; GARCEZ, Luiz Eugênio Leme. **Metodologia científica: o desenho da pesquisa**. Acta Ortopédica Brasileira, v. 11, n. 1, p. 58-61, 2003.

ANDORF, C. et al. **Technological advances in maize breeding: past, present and future**. Theoretical and Applied Genetics, v. 132, n. 3, p. 817-849, 2019.

ASCOLI, L , ORLOWSKI, R. F. **O déficit entre a produção e consumo de milho em Santa Catarina com ênfase na região oeste catarinense a partir da década de 90**. II Encontro de Economia Catarinense. Chapecó, 2008. 125-141 p.

BALBINO, L.; CORDEIRO, L. A.; MARTÍNEZ, G. B. **Contribuições dos sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (iLPF) para uma agricultura de baixa emissão de carbono**. 2011.

BALUGANI, E. et al. Bridging Modeling and Certification to Evaluate Low- ILUC-Risk Practices for Biobased Materials with a User-Friendly Tool. **Sustainability (Switzerland)**, v. 14, n. 4, 2022.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. **BNDES setorial 45**. Brasília, 2018. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/>. Acesso em: 12 jan 2022.

BAOUA, I. B. et al. PICS bags for post-harvest storage of maize grain in West Africa. **Journal of Stored Products Research**, v. 58, p. 20–28, 2014.

BARCZSZ, S. S.; SERRA, Elpídio. **Caracterização socioeconômicas da cadeia agroindustrial do milho no Município de Sapezal-MT**. 2017.

BATIDZIRAI, B. et al. 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.

BEDOÍĆ, R.; ĆOSIĆ, B.; DUIĆ, N. **Technical potential and geographic distribution of agricultural residues, co-products and by-products in the European Union** *Science of the Total Environment*, 2019.

BELLARBY, J. et al. The stocks and flows of nitrogen, phosphorus and potassium across a 30-year time series for agriculture in Huantai county, China. **Science of the Total Environment**, v. 619–620, p. 606–620, 2018.

BINIMELIS, R.; MONTERROSO, I.; RODRÍGUEZ-LABAJOS, B. Catalan agriculture and genetically modified organisms (GMOs) - An application of DPSIR model. **Ecological Economics**, v. 69, n. 1, p. 55–62, 2009.

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, n. October 2021, p. 106185, 2022.

BORÉM, A.; MIRANDA, G. V. **Melhoramento de plantas**. 4 ed. Viçosa: UFV, 2005. 525 p.

BRAGANÇA, D. R.; QUEIROZ, E. O. **Manejo nutricional de cães e gatos e as tendências no mercado pet food: Revisão**. *PUBVET*, v. 15, p. 162, 2020.

BRANDT, C. et al. Compound-specific  $\delta^{13}\text{C}$  isotopes and Bayesian inference for erosion estimates under different land use in Vietnam. **Geoderma Regional**, v. 7, n. 3, p. 311–322, 2016.

BRASIL, LEI Nº 14.301, DE 7 DE JANEIRO DE 2022: **Institui o Programa de Estímulo ao Transporte por Cabotagem, 2022**. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2019-2022/2022/Lei/L14301.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2022/Lei/L14301.htm)> Acesso em: 18/02/2022.

BRASIL, LEI Nº 12.651, DE 25 DE MAIO DE 2012: **Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa, 2012**. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm)> Acesso em 18 fevereiro 2022.

BRASIL, DECRETO Nº 5.163, DE 30 DE JULHO DE 2004: **Regulamenta a comercialização de energia elétrica, 2004**. Disponível em <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/2002/d4074.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2002/d4074.htm)> Acesso em: 11 fevereiro 2023.

BRASIL, DECRETO Nº 4.074, DE 04 DE JANEIRO DE 2002: **Cria a Política de recolhimento de embalagens de agrotóxicos, 2002**. Disponível em <<https://www.aneel.gov.br/editais-de-geracao>> Acesso em: 18 maio 2022.

BROOKES, G.; BARFOOT, P. GM crop technology use 1996-2018: farm income and production impacts. **GM Crops and Food**, v. 11, n. 4, p. 242–261, 2020.

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, n. 1, p. 71–83, 2021.

CADE, Conselho Administrativo de Defesa Econômica. **Cadernos do CADE: Mercado de insumos agrícolas**. 2020. Disponível em: < <https://www.gov.br/cade/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes-institucionais/estudos-economicos/cadernos-do-cade> > Acesso em: 18 maio 2022.

CANZIANI, J. R. Cadeias Agroindustriais In: Peres, F. (org). **O programa Empreendedor Rural**. Curitiba: SENAR-PR, 2003.

CARDOSO, W.S et al., **Milho biofortificado**, 2011, capítulo Indústria do milho, Visconde do Rio Branco: Suprema. p.173-195, 2011.

CARNEIRO F. A., **Caracterização e autossuficiência da cadeia produtiva de milho in natura em Santa Catarina**, 2014. Disponível em: < <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/131832> > Acesso em: 20 Fevereiro 2021

CARRA, S. H. Z. et al. The effect of best crop practices in the pig and poultry production on water productivity in a southern brazilian watershed. **Water (Switzerland)**, v. 12, n. 11, 2020.

CAP Common Agricultural Policy: **The common agricultural policy at a glance** <[https://ec.europa.eu/info/food-farming-fisheries/key-policies/common-agricultural-policy/cap-glance\\_en](https://ec.europa.eu/info/food-farming-fisheries/key-policies/common-agricultural-policy/cap-glance_en)> Acesso em: 15 Outubro 2021.

CASSONI, A. C. et al. Systematic review on lignin valorization in the agro-food system: From sources to applications. **Journal of Environmental Management**, v. 317, n. June, p. 115258, 2022.

CELERES, 2021. **Oferta e demanda do milho no Brasil**. disponível em: < <http://www.abimilho.com.br/estatisticas> > Acesso em 05 Abril 2021.

CHANG, H. **Chutando a Escada: a estratégia do desenvolvimento em perspectiva histórica**; UNESP, 2004.

CHEN, L. et al. Negative impacts of excessive nitrogen fertilization on the abundance and diversity of diazotrophs in black soil under maize monocropping. **Geoderma**, v. 393, n. 2, 2021.

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, n. December, p. 1–9, 2017.

CHINA, 2022. Estação Ecológica do Ministério da Agricultura e Rurais: **A Estação Ecológica do Ministério da Agricultura e Assuntos Rurais está afundando na linha de frente para promover a lavoura verde da primavera, 2022**. Disponível em: <[http://www.moa.gov.cn/xw/bmdt/202203/t20220316\\_6392384.htm](http://www.moa.gov.cn/xw/bmdt/202203/t20220316_6392384.htm)> . Acesso em: 31 março 2022.

CHINA, Ministério da Agricultura da Republica Popular da China. **O terceiro plano nacional de trabalho do censo do solo, 2022**; Disponível em: <[http://www.moa.gov.cn/govpublic/ntjsgls/202202/t20220224\\_6389491.htm](http://www.moa.gov.cn/govpublic/ntjsgls/202202/t20220224_6389491.htm)> Acesso em: 18 maio 2022.

COMEX, Ministério da Indústria, Comércio exterior e Serviços. **COMEX STAT. 2022**. Disponível em: <<http://comexstat.mdic.gov.br/pt/home>> Acesso em: 18 maio 2022.

COMISSÃO EUROPEIA. **Pacto Ecológico Europeu**. Comissão Europeia, p. 1–27, 2019.

COMISSÃO EUROPEIA. **List of potential agricultural practices that eco-schemes could support**. n. January, p. 5, 2021.

COMISSÃO EUROPEIA. **Sistema de Comércio de Licenças de Emissão. Comissão Europeia**, p. 1–27, 2022. Disponível em: <<https://portugal.representation.ec.europa.eu>> Acesso em: 28 Janeiro 2022.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Boletim da Safra de Grãos**. Brasília: CONAB, 2022 In: < <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>> Acesso em: 05. Abril 2021.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Safra Brasileira de Cana-de-Açúcar**. Brasília: CONAB, 2020. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana>> Acesso em: 07. Abril 2021.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Perdas em transporte e armazenagem de grãos**. Brasília: CONAB, 2021 In: <[https://www.conab.gov.br/outras-publicacoes/item/download/35953\\_e93eba0ef12529526cef749f8d465f7b](https://www.conab.gov.br/outras-publicacoes/item/download/35953_e93eba0ef12529526cef749f8d465f7b)> Acesso em: 11. Fevereiro 2023.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Portal Armazéns do Brasil**. Brasília: CONAB, 2023. Disponível em: <<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjojNDdkNDM4ZjctYzlk0OS00NWVjLWFIYjktZWQ4Njg3MDEyMTg0IiwidCI6ImU2ZDkwZGYzLWYxOGItNGJkZC04MDhjLWFFhNmQwZjY4YjgwOSJ9>> Acesso em: 11. Fevereiro 2023.

COMISSÃO TÉCNICA NACIONAL DE BIOSSEGURANÇA – CTMBIO; **Lista de Plantas Geneticamente Modificadas aprovadas para Comercialização**.

Disponível em: < <http://ctnbio.mctic.gov.br/processo-de-ogm>> Acesso em 05. dez 2021.

CONSELHO ADMINISTRATIVO DE DEFESA ECONÔMICA – CADE, Ministério da Justiça e Segurança Pública; **Caderno de Insumos Agrícolas**, 2020.

COOK, M. L.; CHADDAD, F. R. Agroindustrialization of the global agrifood economy: bridging development economics and agribusiness research. **Agricultural economics**, v. 23, n. 3, p. 207-218, 2000.

CRIADO, A. R. The art of writing literature review: What do we know and what do we need to know?. **International Business Review** 29.4 2020 101717.

CRONIN, P.; RYAN, F.; COUGHLAN, M. Undertaking a literature review: a step-by-step approach. **British journal of nursing**, v. 17, n. 1, p. 38-43, 2008.

CTNBIO, Comissão Técnica Nacional de Biossegurança. **Lista de Plantas Geneticamente Modificadas aprovadas para comercialização**. 2021. Disponível em: < <http://ctnbio.mctic.gov.br/inicio>> Acesso em: 18/05/2022.

DAVIS J.H.; GOLDBERG, R.A. **A concept of agribusiness**. Boston: Harvard University Press, 1957.

DE ABREU, M. et al. Percepção dos consumidores de proteína animal sobre o bem-estar dos animais de produção no município de Parauapebas, Pará, Brasil. **Veterinária e Zootecnia**, v. 28, p. 1-12, 2021.

DE GROOTE, H. et al. Economics of open-air sun drying in the maize value chain of Kenya. **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 5, p. 100185, 2021.

DE MIRANDA, E. **Tons de verde: A sustentabilidade da agricultura Brasil** 1 e.d São Paulo-SP: Metalivros 2018.

DIAS, R. **Gestão Ambiental, Responsabilidade Social e Sustentabilidade** 1 e.d. São Paulo-SP: Atlas 2006.

EKENER, E. et al. 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.

EKPA, O. et al. Sub-Saharan African maize-based foods: Technological perspectives to increase the food and nutrition security impacts of maize breeding programmes. **Global Food Security**, v. 17, n. March, p. 48–56, 2018.

ELIAS; WORDELL FILHO, J. A, H. T. **A cultura do milho em Santa Catarina**. 2 ed. Florianópolis: Epagri, 2012. 478 p

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Plano ABC – Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas Visando à Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura**.



Brasília: EMBRAPA, 2023. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/tema-agricultura-de-baixo-carbono/sobre-o-tema> > Acesso em: 11. fevereiro 2023.

EPA, UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY: **Clean Air Act**, 2022. Disponível em: < <https://www.epa.gov/laws-regulations/summary-clean-air-act> > Acesso em 17/02/2022.

ESTEVES, 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, n. September, 2021.

FANG, H. et al. Genetic basis of maize kernel oil-related traits revealed by high-density SNP markers in a recombinant inbred line population. **BMC Plant Biology**, v. 21, n. 1, p. 1–12, 2021.

FARINELLI, R. et. al. Características agronômicas e produtividade de cultivares de milho em diferentes espaçamentos entre linhas e densidades populacionais. **Científica**, 40:21-27. 2012.

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, n. 2, p. 99-108, 2012.

FIEUZAL, R.; SICRE, C. M.; TALLEC, T. Towards an improved inventory of n<sub>2</sub> o emissions using land cover maps derived from optical remote sensing images. **Atmosphere**, v. 11, n. 11, 2020.

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.

FOFANA, B. et al. Innovative agricultural extension value chain-based models for smallholder African farmers. **Frontiers of Agricultural Science and Engineering**, v. 7, n. 4, p. 418–426, 2020.

FORNASIERI, D. **A cultura do milho**. Jaboticabal: Funep, 1992. 273 p.

GALFORD, G. L. et al. Agricultural development addresses food loss and waste while reducing greenhouse gas emissions. **Science of the Total Environment**, v. 699, p. 134318, 2020.

GERAGE, A. C.; SAMAHA, M. J.; BITTENCOURT, C. R.; CORRÊA, V. J. **Cadeia produtiva do milho: diagnóstico e demandas atuais no Paraná**. Londrina: IAPAR, 1999. 55 p.

GIL, A. C. **Como classificar as pesquisas. Como elaborar projetos de pesquisa**, v. 4, p. 44-45, 2002.

GIMENO, A. et al. TaqMan qPCR for quantification of *clonostachys rosea* used as a biological control agent against *fusarium graminearum*. **Frontiers in Microbiology**, v. 10, n. JULY, p. 1–11, 2019.

GODOY, A. S. Pesquisa Qualitativa: tipos fundamentais. **Revista de Administração de empresas**, v. 35, n. 3, p. 20-29, 1995.

GONZÁLEZ, S. et. Al. **Ecogeography of teosinte**. PLoS ONE 13(2): e0192676, 2018. Disponível em < <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0192676>> Acesso em: 18/05/2022

GROTE, U. et al. Food Security and the Dynamics of Wheat and Maize Value Chains in Africa and Asia. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 4, n. February, p. 1–17, 2021.

GUIMARÃES, V. D. A.; CANZIANI, J. R. ; WATANABE, M. **Cadeia produtiva do milho no Brasil**. In: Apostila Marketing em Agronegócio, Curitiba: UFPR, 2004.

GUO, M. et al. The influence of root exudates of maize and soybean on polycyclic aromatic hydrocarbons degradation and soil bacterial community structure. **Ecological Engineering**, v. 99, p. 22–30, 2017.

HANSEN, J; HELLIN, J; ROSENSTOCK, T; FISHER, E; CAIRNS, J; STIRLING, C; LAMANNA, C; VAN ETEN, J; ROSE, A; CAMPBELL, B. Climate risk management and rural poverty reduction | Elsevier Enhanced Reader. **Agricultural Systems**, v. 172, p. 28–46, 2019.

HART, R. G. et al. Prevention of stroke in patients with nonvalvular atrial fibrillation. **Neurology**, v. 51, n. 3, p. 674-681, 1998.

HEINZEN, D. A.; MARINHO, Sidnei Vieira. A construção de cenários para o alinhamento entre formulação e implementação da estratégia. **Revista de Ciências da Administração**, p. 24-43, 2018.

HERBES, C. et al. Using aquatic plant biomass from de-weeding in biogas processes—an economically viable option? **Energy, Sustainability and Society**, v. 8, n. 1, 2018.

IAPAR, **Cadeia produtiva do milho, diagnostico e demandas atuais no Paraná**, 1998; Disponível em < [http://www.iapar.br/arquivos/File/zip\\_pdf/Doc20.pdf](http://www.iapar.br/arquivos/File/zip_pdf/Doc20.pdf) >. Acesso em: 20. fev. 2021

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo agropecuário**. Rio de Janeiro: IBGE, 2006

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS – IBAMA, **Relatórios de comercialização de agrotóxicos**, 2021; Disponível em:< [http://ibama.gov.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=594&Itemid=54](http://ibama.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=594&Itemid=54)> Acesso em: 06. dez. 2021.

IRVINE, J. E. SUGARCANE. In: CHEN, J. C. P.; CHOU, C. C. (Ed) **Cane Sugar Handbook. A Manual for Cane Sugar Manufactures and their Chemists**. New York, John Wiley & Sons, Inc., 12th ed., 1993, 1090 p

JACOBS, A. et al. Greenhouse gas emission of biogas production out of silage maize and sugar beet – An assessment along the entire production chain. **Applied Energy**, v. 190, n. 2017, p. 114–121, 2017.

KHATRI-CHHETRI, A. et al. Financing climate change mitigation in agriculture: Assessment of investment cases. **Environmental Research Letters**, v. 16, n. 12, 2021.

KIESEL, C. et al. An argument for place-based policies: The importance of local agro-economic, political and environmental conditions for agricultural policies exemplified by the Zambezi region, Namibia. **Environmental Science and Policy**, v. 129, n. March 2021, p. 137–149, 2022.

KISTLER, L. et al. **Multiproxy evidence highlights a complex evolutionary legacy of maize in South America**, *Science* 362, 1309–1313, 2018. Disponível em <<https://www.science.org/doi/abs/10.1126/science.aav0207>> Acesso em 01/04/2022.

KISTLER, L. et al. **Scaling up neodomestication for climate-ready crops**, *Current Opinion in Plant Biology*, 2022. Disponível em <<https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.2015560117#con1>> Acesso em: 01/04/2022.

KONIECZNA, A. et al. Energy efficiency of maize production technology: Evidence from polish farms. **Energies**, v. 14, n. 1, 2021.

KRUSZELNICKA, W. New model for ecological assessment of comminution process in energy biomass processing chain. **E3S Web of Conferences**, v. 154, p. 1–21, 2020.

KUMAR, V. et al. 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, n. November 2017, p. 132–147, 2018.

LAMIDI, R. O. et al. Biogas Tri-generation for Postharvest Processing of Agricultural Products in a Rural Community: Techno-economic Perspectives. **Energy Procedia**, v. 142, p. 63–69, 2017.

LANGYINTUO, A. S. et al. Challenges of the maize seed industry in eastern and southern Africa: A compelling case for private-public intervention to promote growth. **Food Policy**, v. 35, n. 4, p. 323–331, 2010.

LEÃO, H. C. S. **Análise setorial grãos – milho**. Fortaleza: Banco do Nordeste, 2014.

LIVERPOOL-TASIE, L. S. O. et al. Perceptions and exposure to climate events along agricultural value chains: Evidence from Nigeria. **Journal of Environmental Management**, v. 264, n. January, p. 110430, 2020.

LOURENÇO, B.F.O; **Estudo de Caso: Cadeia produtiva do milho no Estado do Paraná**, 2013. Disponível em: < <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/7488> > Acesso em : 20. fev. 2021.

MAPA, 2022a. **Seguro Rural: estatísticas**. Disponível em: < <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/riscos-seguro/seguro-rural/seguro-rural>> Acesso em: 18/02/2022.

MAPA, 2022b. **Programa Nacional de Cadeias Agropecuárias Descarboxiantes**. Disponível em: < <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/acao-a-informacao/participacao-social/consultas-publicas/2022/consulta-publica-programa-nacional-de-cadeias-agropecuarias-descarboxiantes/ProgramaNacionaldeCadeiasAgropecuariasDescarboxiantes.pdf>> Acesso em: 11/02/2023.

MCLELLAN, E. L. et al. The Nitrogen Balancing Act: Tracking the Environmental Performance of Food Production. **BioScience**, v. 68, n. 3, p. 194–203, 2018.

MEDINA, Gabriel da Silva. **Economia do agronegócio no Brasil: participação brasileira na cadeia produtiva da soja entre 2015 e 2020**. Novos Cadernos NAEA, [S.l.], v. 24, n. 1, ago. 2021. ISSN 2179-7536. Disponível em: <<https://periodicos.ufpa.br/index.php/ncn/article/view/8521>>. Acesso em: 06 dez. 2021.

MELO, André; **Cadeia Produtiva do milho em Tangará da Serra – MT**. 2012 In: < [https://www.researchgate.net/publication/249009881\\_CADEIA\\_PRODUTIVA\\_DO\\_MILHO\\_EM\\_TANGARA\\_DA\\_SERRA\\_-\\_MT](https://www.researchgate.net/publication/249009881_CADEIA_PRODUTIVA_DO_MILHO_EM_TANGARA_DA_SERRA_-_MT)> Acesso em: 20. fev. 2021.

MENARDO, S. et al. Potential biogas and methane yield of maize stover fractions and evaluation of some possible stover harvest chains. **Biosystems Engineering**, v. 129, n. 1, p. 352–359, 2015.

MESTERHÁZY, Á.; OLÁH, J.; POPP, J. Losses in the grain supply chain: Causes and solutions. **Sustainability (Switzerland)**, v. 12, n. 6, p. 1–18, 2020.

MEYNARD, J. M. et al. Socio-technical lock-in hinders crop diversification in France. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 38, n. 5, 2018.

MILANEZ, Artur Yabe et al. **Conectividade rural: situação atual e alternativas para superação da principal barreira à agricultura 4.0 no Brasil**. 2020.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO - MAPA, 2007. **Relatórios Diversos**. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/>> Acesso em 20. fev. 2021.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, **Registro Nacional de Unidades Autorizadas a comercializar rações**, 2021 Disponível em < <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-pecuarios/alimentacao-animal/alimentacao-animal-1>> Acesso em: 20. nov. 2021.

MMA, Ministério do Meio Ambiente. **Floresta + carbono**. Disponível em: < <https://www.gov.br/mma/pt-br/centrais-de-conteudo/floresta-20carbono-pdf>> Acesso em: 18/02/2022.

MORETTI, B. et al. 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, p. 135308, 2020.

MUYLLE, H. et al. 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.

MWAKILILI, A. D. et al. Long-term maize-Desmodium intercropping shifts structure and composition of soil microbiome with stronger impact on fungal communities. **Plant and Soil**, v. 467, n. 1–2, p. 437–450, 2021.

MWAMBO, F. M. et al. Maize production and environmental costs: Resource evaluation and strategic land use planning for food security in northern Ghana by means of coupled energy and data envelopment analysis. **Land Use Policy**, v. 95, n. January, p. 104490, 2020.

NALINI, J. R., **Ética Ambiental**. 3 e.d Campinas-SP: Millenium, 2010.

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, n. May, p. 100559, 2021.

OTTO, I. M. C. ; NEVES, Marcos Fava; PINTO, Mairun Junqueira Alves. **Cadeia produtiva de grãos**. Goiânia: FIEG, 2012.172 p.

PARAJULI, R. et al. Environmental life cycle assessments of producing maize, grass-clover, ryegrass and winter wheat straw for biorefinery. **Journal of Cleaner Production**, v. 142, p. 3859–3871, 2017.

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, n. 4, p. 101717, 2020.

PEREIRA FILHO, I. A.; BORGHI, E. **Sementes de milho: nova safra, novas cultivares e continua a dominância dos transgênicos**. Embrapa Milho e Sorgo- Documentos (INFOTECA-E), 2020.

PERSSON, T. et al. Net energy value of maize ethanol as a response to different climate and soil conditions in the southeastern USA. **Biomass and Bioenergy**, v. 33, n. 8, p. 1055–1064, 2009.

PHILIPPI JR., Arlindo. **Interdisciplinaridade em Ciências Ambientais**. São Paulo-SP: Signus, 2000.

PIRELLI, T. et al. Environmental sustainability of the biogas pathway in Italy through the methodology of the Global Bioenergy Partnership. **Journal of Cleaner Production**, v. 318, n. March, p. 128483, 2021.

POSTAWA, K.; SZCZYGIEŁ, J.; KUŁAŻYŃSKI, M. Innovations in anaerobic digestion: a model-based study. **Biotechnology for Biofuels**, v. 14, n. 1, p. 1–11, 2021.

RAMOS, A.; FARIA, P. M. Revisão sistemática de literatura: contributo para a inovação na investigação em Ciências da Educação. **Revista Diálogo Educacional**, v. 14, n. 41, p. 17-36, 2014.

RAPOSO, F. et al. Influence of inoculum to substrate ratio on the biochemical methane potential of maize in batch tests. **Process Biochemistry**, v. 41, n. 6, p. 1444–1450, 2006.

REGITANO-D'ARCE, M.A.B.; SPOTO, M.H.F.; CASTELLUCCI, A.C.L. **Processamento e industrialização do milho para alimentação humana**. ESALQUSP. 2015. Disponível em: <[http://www.esalq.usp.br/visaoagricola/sites/default/files/VA\\_13\\_Industrializacaoartigo2.pdf](http://www.esalq.usp.br/visaoagricola/sites/default/files/VA_13_Industrializacaoartigo2.pdf)> Acesso em: 20. fev. 2021.

SAN-EMETERIO, L. M. et al. Evolution of composting process in maize biomass revealed by analytical pyrolysis (Py-gc/ms) and pyrolysis compound specific isotope analysis (py-csia). **Applied Sciences (Switzerland)**, v. 11, n. 15, 2021.

SCHADER, C. et al. How is organic farming performing agronomically and economically in sub-Saharan Africa?. **Global Environmental Change**, 2021.

SCHUT, M. et al. Do mature innovation platforms make a difference in agricultural research for development? a meta-analysis of case studies. **Experimental Agriculture**, v. 54, n. 1, p. 96–119, 2018.

SCHUT, M. et al. Innovation platforms in agricultural research for development. **Experimental Agriculture**, v. 55, n. 4, p. 575–596, 2019.

SILVA, A.G. da; Francischini, R. **Sistemas de produção de milho safrinha em Goiás**. In: XII Seminário Nacional. Dourados, 2013. Disponível em: <<http://www.cpa0.embrapa.br/cds/milhosafarinha2013/palestras/2AlessandroGuerra.pdf>> . Acesso em: 20. fev. 2021

SILVA, J. A. **Avaliação De Modelos De Extrapolação De Tendência Em Um Contexto De Prospecção Tecnológica**. Universidade Federal do Rio de Janeiro UFRJ, 2017. Disponível em: <<http://repositorio.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10023244.pdf>> Acesso em: 28/04/2022

SILVA, D.C.C; BRISOLA M.V. "**Descrição da evolução dos perfis socioeconômicos e produtivos dos agriclusters do milho identificados na região que compreende o estado de Goiás e o Distrito Federal**" Congresso de Iniciação Científica da Unb e Congresso de Iniciação Científica do DF 2021.

SINDIRAÇÕES, Sindicato Nacional da Indústria de Alimentação Animal. **Boletim Informativo do Setor 2021**. <Disponível em: <https://sindiracoes.org.br/produtos-e-servicos/boletim-informativo-do-setor/>> Acesso em: 18/05/2022.

SMITH, P. et al. **Essential outcomes for COP26**. Global change biology, 2021

SOARES, R. M. D. et al. Thermal degradation of biodegradable edible films based on xanthan and starches from different sources. **Polymer Degradation and Stability**, v. 90, n. 3, p. 449–454, 2005.

SOUZA, E. L. L. **Estudo do potencial de desenvolvimento de um mercado futuro de milho no Brasil**. Piracicaba, 1999. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz.

SOUZA, J.M. **A cadeia produtiva do milho no Sudoeste Goiano: um estudo de caso na Brf-Brasil Foods S.A (1996-2016)**. I Simpósio Integrado de Estudos Territoriais, 2018

SOUZA, S.S.S. et al. **Análise dos canais de comercialização do algodão colorido no estado do Mato Grosso**. ANAIS DO XLII CONGRESSO DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 2004, Cuiabá. Análise dos canais de comercialização do algodão colorido no estado do Mato Grosso. Cuiabá, 2004.

STATHERS, T. et al. A scoping review of interventions for crop postharvest loss reduction in sub-Saharan Africa and South Asia. **Nature Sustainability**, v. 3, n. 10, p. 821–835, 2020.

TEIXEIRA, Mylene Nogueira. **O sertão semiárido: uma relação de sociedade e natureza numa dinâmica de organização social do espaço**, 2016. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0102-69922016000300769](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-69922016000300769) Acesso em: 28 jan. 2022.

THIOLLENT, M. **Metodologia de Pesquisa-ação**. São Paulo: Saraiva, 2009.

TIRADENTES, L. COP 26: expectativas para um mundo melhor?. **Revista Ponto de Vista**, v. 10, n. 3, p. 01-02, 2021.

TIPPAYAWONG, K. Y. et al. Supply chain analysis of smokeless charcoal from maize residues. **Energy Reports**, v. 6, p. 60–66, 2020.

TRADEMAP, **Trade statistics for international business development**. 2022. Disponível em <<https://www.trademap.org/Index.aspx#>> Acesso em: 18/05/2022.

UNIÃO NACIONAL DO ETANOL DE MILHO. **Estatísticas do setor**. Brasília: UNEM, 2021 In: <http://www.etanoldemilho.com.br/>> Acesso em: 08. Abril 2021.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Custom Query**. Estados Unidos: USDA, 2021 In: <  
<https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/advQuery>> Acesso em 05.  
Abril 2021.

USDA, 2019 **A short history of Supplemental Nutrition Assistance Program (SNAP)** <  
<https://www.fns.usda.gov/snap/short-history-snap>> Acesso em:  
23/10/2021.

USDA, 2021 **STAX and Agriculture Risk Coverage and Price Loss Coverage**  
<<https://www.rma.usda.gov/en/News-Room/Frequently-Asked-Questions/2021-STAX-and-Agriculture-Risk-Coverage-and-Price-Loss-Coverage>> Acesso em:  
29/01/2022

USDA, 2022 **About the Conservation Reserve Program (CRP)** <  
<https://www.fsa.usda.gov/programs-and-services/conservation-programs/conservation-reserve-program/>> Acesso em: 29/01/2022.

VAN ECK, N. J.; WALTMAN, L. Visualizing bibliometric networks. Measuring scholarly impact. **Springer International** PU: 2016.

VAN LOON, J. et al. Scaling agricultural mechanization services in smallholder farming systems: Case studies from sub-Saharan Africa, South Asia, and Latin America. **Agricultural Systems**, v. 180, n. December 2018, p. 102792, 2020.

VARELA, J. R. et al. **Redefinição do sistema logístico com vista a reutilização de equipamentos de proteção individual em estabelecimentos que prestam cuidados de saúde**. 2021. Tese de Doutorado.

VARGAS, C. **Sustentabilidade e consumo consciente: a percepção da evolução do modo de consumir e como isso pode afetar a gestão nos próximos anos**. Amostra De Iniciação Científica, Pós-Graduação, Pesquisa E Extensão, v. 15, 2015.

VBP, Valor Bruto da Produção Agropecuária. **DASHBOARD**. Disponível em: <  
<https://www.gov.br/pt-br/noticias/agricultura-e-pecuaria/2022/02/valor-bruto-da-producao-agropecuaria-de-2022>> Acesso em: 18/05/2022.

VINCENZI, T. B., PUPO F. P. **Técnicas de Prospecção: um Estudo Comparativo**. RAC, Rio de Janeiro, v. 20, n. 2, 2016.

WYNS, A.; BEAGLEY, J. **COP26 and beyond: Long-term climate strategies are key to safeguard health and equity**. **The Lancet Planetary Health**, v. 5, n. 11, p. e752-e754, 2021.

WAN, X. et al. Maize genic male-sterility genes and their applications in hybrid breeding: progress and perspectives. **Molecular Plant**, v. 12, n. 3, p. 321-342, 2019.



WANG, Q. et al. Long-term fertilization changes bacterial diversity and bacterial communities in the maize rhizosphere of Chinese Mollisols. **Applied Soil Ecology**, v. 125, n. November 2017, p. 88–96, 2018.

WATLING, J. et al. **Direct archaeological evidence for Southwestern Amazonia as an early plant domestication and food production centre**. PLoS ONE 13(7):e0199868,2018. Disponível em: <<https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371%2Fjournal.pone.0199868> > Acesso em: 01/04/2022.

WEI, J. et al. Social Life Cycle Assessment of Major Staple Grain Crops in China. **Agriculture (Switzerland)**, v. 12, n. 4, 2022.

WILLIAMS, W. P. et al. Ear rot, aflatoxin accumulation, and fungal biomass in maize after inoculation with *Aspergillus flavus*. **Field Crops Research**, v. 120, n. 1, p. 196–200, 2011.

ZHANG, H. et al. Factors affecting the accuracy of genomic selection for agricultural economic traits in maize, cattle, and pig populations. **Frontiers in Genetics**, v. 10, n. MAR, p. 1–10, 2019.

ZHAO, B. et al. Effects of biochars derived from chicken manure and rape straw on speciation and phytoavailability of Cd to maize in artificially contaminated loess soil. **Journal of Environmental Management**, v. 184, p. 569–574, 2016.

ZYLBERSZTAJN, D. **Conceitos gerais, evolução e apresentação do sistema Agroindustrial**. Economia e Gestão dos Negócios Agroalimentares: Indústria de Alimentos, Indústria de Insumos, Produção Agropecuária, Distribuição. Zylbersztajn e Neves (Orgs.), São Paulo: Pioneira: Pensa/USP, 2000, p. 1-21.

## APÊNDICE126

### Apêndice A – Entrevistas com Especialistas



**Universidade de Brasília**

Programa de Pós-graduação em Agronegócio (PROPAGA)

#### ENTREVISTA - PRATICAS SUSTENTÁVEIS NA CADEIA PRODUTIVA DO MILHO

No intuito de contextualizar a sustentabilidade na Cadeia Produtiva Nacional do Milho, a entrevista a abaixo busca mensurar as práticas já adotadas no Brasil

Qual o seu Segmento de Atuação ?

---

Quais os Principais Desafios enfrentados em seu segmento ?

---

Quanto a Sustentabilidade, quais as práticas são ou serão adotadas ?

---

Outras Perguntas:

---

Outras Perguntas:

---

## Apêndice B – Questionários com Produtores Rurais



**Universidade de Brasília**

Programa de Pós-graduação em Agronegócio (PROPAGA)

### QUESTIONÁRIO - PRATICAS SUSTENTÁVEIS NAS LAVOURAS BRASILEIRAS

No intuito de demonstrar a sustentabilidade dos produtores rurais brasileiros, o questionário abaixo busca mensurar as práticas já adotadas no Brasil

Qual a sua cidade e Estado?

---

Area Total

Area Propria

Area Arrendada

---

---

---

Quais culturas são produzidas em sua propriedade ?

- Soja
- Milho
- Feijão
- Algodão
- Trigo
- Floresta
- Bovinos
- Outros

---

Quais práticas agrícolas são adotadas ?

- Plantio Direto
- 2ª Safra
- Rotação de Cultura
- Plantio de Cobertura
- Irrigação
- Biológicos, inoculantes e Bioinsumos
- Adubação Orgânica
- Integração Lavoura Pecuária
- Outros

---