

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS – UNISINOS  
UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE  
PRODUÇÃO E SISTEMAS**

**NIVEL DOUTORADO**

**MARCIA HELENA BORGES NOTARJACOMO**

**APRIMORANDO APLICAÇÃO DE PRÁTICAS  
SUSTENTÁVEIS NAS USINAS PRODUTORAS DE ETANOL  
DE MILHO**

**São Leopoldo - RS  
2023**

**MARCIA HELENA BORGES NOTARJACOMO**

**APRIMORANDO APLICAÇÃO DE PRÁTICAS SUSTENTÁVEIS NAS USINAS  
PRODUTORAS DE ETANOL DE MILHO**

Tese apresentado (a) para obtenção do título de  
Doutor em Engenharia de Produção, pelo  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de  
Produção e Sistemas da Universidade do Vale  
do Rio dos Sinos - UNISINOS

Orientador: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Miriam Borchardt

**São Leopoldo - RS  
2023**

N899a	<p>Notarjacom, Marcia Helena Borges. Aprimorando aplicação de práticas sustentáveis nas usinas produtoras de etanol de milho / por Marcia Helena Borges Notarjacom. – 2023. 94 f. : il. ; 30 cm.</p> <p>Tese (doutorado) — Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, São Leopoldo, RS, 2023. “Orientadora: Dr.<sup>a</sup> Miriam Borchardt”.</p> <p>1. Etanol de milho. 2. Sustentabilidade. 3. Biocombustíveis. 4. Grãos destilados secos (DDG). 5. Usinas de etanol. I. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDU: 658.5:620.92</p>
-------	---

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, pelas oportunidades concedidas a mim, pela coragem e determinação para conclusão deste doutorado.

À professora e orientadora Dr.<sup>a</sup> Miriam Borchardt, pelo incentivo, disponibilidade e amizade, pelos aconselhamentos assertivos. Sua participação foi fundamental para esta tese.

Agradeço os ensinamentos, conselhos e orientações dos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas que contribuíram no aperfeiçoamento da minha vida profissional. Também agradeço aos colaboradores da secretaria do PPG.

Para um grupo diferenciado de pessoas que gentilmente disponibilizou seu tempo e experiência para realização desta pesquisa. Em especial ao grupo Inpasa Brasil.

Agradeço ao meu esposo Rangel pelo apoio, incentivo, à meu filho Antônio Rangel pela compreensão, sempre companheiro da mamãe nas jornadas de estudos, a minha mãe Irene, meu sobrinho Victor.

Enfim meu muito obrigado a todos que contribuíram para conclusão desta tese, meus sinceros agradecimentos.

## RESUMO

A demanda por energia limpa e sustentabilidade tem aumentado em todo o mundo, principalmente, como forma de combater os efeitos do aquecimento global. No acordo de Paris, em 2015, o Brasil comprometeu-se em reduzir as emissões de carbono e incluir mais biocombustíveis na matriz energética do país. Neste contexto, o etanol de milho vem atraindo investimentos, sobretudo, na região Centro-Oeste do Brasil, fazendo surgir, assim, um maior número de usinas de milho e de seus subprodutos, resultantes da extração do etanol de milho. O objetivo desta tese é propor recomendações para aprimorar aplicações de práticas sustentáveis para as usinas de etanol de milho. O método é um estudo de caso múltiplos com 8 unidades de análises. A pesquisa apresenta, como principal contribuição, um conjunto de diretrizes de ações de práticas ambientais e um framework com proposta de orientar as usinas produtoras de etanol de milho no Brasil, discorrendo sobre elementos, estratégias e práticas que norteiam o cotidiano das usinas, de forma integrada com as áreas ambiental, econômica, social é uma pesquisa de múltiplos casos. Os resultados confirmam que as grandes usinas utilizam práticas sustentáveis em seus processos, praticam economia circular criando novos subprodutos tornando-se mais ecoeficientes. Também confirmam que investem em tecnologia como Machine Learning e indústria 4.0 e possuem parceria com fornecedores de enzimas, desenvolvem projetos e criam novos produtos para manterem-se competitivas no mercado e sustentáveis, além de que grandes usinas possuem maior poder aquisitivo para investir em certificações, possuem equipes qualificadas e investem na aquisição de vagões e locomotivas com a intenção de reduzir as emissões de CO<sub>2</sub> na distribuição de seus produtos até ao consumidor. O trabalho trouxe contribuições acadêmicas de maneira para suprir a carência de informações empíricas de como está acontecendo as práticas ambientais adotadas pelas usinas, evidenciando resultados positivos nos pilares da sustentabilidade. Como contribuição gerencial, um conjunto de diretrizes de ações e o framework proposto podem auxiliar os gestores na melhoria de práticas ambientais, bem como no atendimento dos objetivos para o desenvolvimento sustentável proposto na Agenda 2030 na Organização das Nações Unidas. Também foram identificadas limitações do estudo e sugestões para pesquisas futuras.

**Palavras-chave:** Etanol de milho; Sustentabilidade; Biocombustíveis; DDG.

## ABSTRACT

The demand for clean energy and sustainability has increased around the world, mainly as a way to combat the effects of global warming. In the Paris agreement in 2015, Brazil committed to reducing carbon emissions and including more biofuels in the country's energy matrix. In this context, corn ethanol has been attracting investments, especially in the Central-West region of Brazil, thus giving rise to a greater number of corn plants and their by-products, resulting from the extraction of corn ethanol. The objective of this thesis is to propose recommendations to improve applications of sustainable practices for corn ethanol plants. The method is a multiple case study with 8 units of analysis. The research presents, as its main contribution, a set of guidelines for environmental practice actions and a framework with a proposal to guide corn ethanol producing plants in Brazil, discussing elements, strategies and practices that guide the plants' daily lives, in a integrated with the environmental, economic and social areas, it is a multiple case study. The results confirm that large plants use sustainable practices in their processes, practice a circular economy, creating new by-products and becoming more eco-efficient. They also confirm that they invest in technology such as Machine Learning and industry 4.0 and have partnerships with enzyme suppliers, develop projects and create new products to remain competitive in the market and sustainable, in addition to the fact that large plants have greater purchasing power to invest in certifications, They have qualified teams and invest in the acquisition of wagons and locomotives with the intention of reducing CO2 emissions in the distribution of their products to the consumer. The study brought academic contributions in order to overcome the lack of empirical information on how the environmental practices adopted by the plants are happening, highlighting positive results in the pillars of sustainability. As a managerial contribution, a set of action guidelines and the proposed framework can help managers improve environmental practices, as well as meet the objectives for sustainable development proposed in the 2030 Agenda in the United Nations. Limitations of the study and suggestions for future research were also identified.

**Keywords:** Corn ethanol; Sustainability; Biofuels; DDG

## LISTA DE FIGURAS E GRÁFICOS

Figura 01 – Processo metodológico adotado para a pesquisa.....	19
Figura 02: Mapa de localização das destilarias de Etanol de Milho no Brasil.....	24
Figura 03 - Produção de etanol de a partir do milho por estado Safra 2022/2023.....	30
Figura 04 – Histórico e projeções da produção de etanol de milho no Brasil.....	31
Gráfico 01: Evolução da área de cultivo de milho na região Centro Oeste do Brasil.....	33
Gráfico 02: Evolução da produção de milho na região Centro oeste do Brasil.....	34
Figura 05: Classifica os Tipos de usina de Etanol no Brasil.....	36
Figura 06 - Fluxograma geral do processo de obtenção de bioetanol de milho (via seca)	38
Figura 07 – Fluxograma do processo de obtenção do bioetanol de Milho (via úmida).....	38
Figura 08: Cadeia Produtiva de Etanol de Milho no Brasil .....	39
Figura 09: Aspectos de Sustentabilidade do Etanol de Milho Brasileiro .....	46
Figura 10: Os pilares da Sustentabilidade do Etanol de Milho Brasileiro .....	56
Figura 11 - Biomassa de cavaco de eucalipto. ....	66
Figura 12 – Biomassa de bagaço de cana de açúcar.....	66
Figura 13: Os pilares da Sustentabilidade e diretrizes de práticas ambientais para usinas full de etanol de milho brasileiro. Fonte: elaborado pela autora (2023). Erro! Indicador não definido.2	

## LISTA DE TABELAS E QUADROS

Quadro 01 - <b>Classificação de pesquisa</b> .....	18
Quadro 02 – <b>Estruturação do método de trabalho</b> .....	20
Quadro 03 - <b>Matriz de consolidação do protocolo de pesquisa, questões orientadoras</b> ....	22
Quadro 04 – <b>Casos selecionados</b> .....	23
Tabela 01 – <b>Mistura ao Combustível fóssil por país</b> .....	28
Quadro 05: <b>Resumo dos dados de produtividade e eficiência, para as diferentes matérias-primas na produção de etanol</b> .....	36
Quadro 06 – <b>Síntese de revisão de literatura</b> .....	54
Quadro 07 – <b>Estratégias e Práticas ambientais aplicadas nos estudos de caso</b> .....	58
Quadro 08: <b>Certificações apresentadas pelos grupos de usinas full de etanol de milho no Brasil pesquisadas em 2022</b> . .....	67
Quadro 09 - <b>Agrupamento das ameaças identificadas na pesquisa</b> .....	70



## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
1.1 Tema e Contextualização .....	10
1.2 Lacunas de Pesquisa.....	111
1.3 Questão de Pesquisa .....	133
1.4 Objetivos.....	144
1.4.1 Objetivo Geral .....	144
1.4.2 Objetivos Específicos.....	144
1.5 Relevância do Estudo .....	144
1.6 Delimitação da Pesquisa.....	155
1.7 Contribuições Esperadas.....	166
1.8 Estrutura da Tese .....	166
2 METODOLOGIA.....	177
2.1 Classificação da Pesquisa .....	17
2.2 Procedimentos Metodológicos .....	19
2.3 Método de Trabalho.....	20
2.3.1 Planejamento da Etapa I.....	21
2.3.2 Planejamento da Etapa II.....	22
2.3.3 Planejamento da Etapa III.....	24
2.3.4 Planejamento da Etapa IV.....	25
3 REVISÃO DE LITERATURA .....	26
3.1 Desenvolvimento do Setor.....	26
3.2 Biocombustível.....	299
3.3 Produção de Etanol de Milho e Subprodutos .....	30
3.4 Cadeia de Produção do Etanol de Milho .....	32
3.4.1 Comparativo entre matérias-primas na produção de etanol.....	36
3.4.2 O Processo de Produção de Etanol de Milho .....	37
3.4.3 Os participantes da cadeia do etanol de milho.....	38
3.5 Sustentabilidade e Práticas .....	40
3.5.1 O Tripé da Sustentabilidade (Triple Bottom Line).....	41
3.5.2 Economia Circular .....	422
3.5.3 Resíduos, águas e efluentes .....	43
3.5.4 Produção Inteligente, Pegada de Carbono e Efeito Social.....	44

<b>3.5.5 Sustentabilidade da cadeia do Etanol de Milho</b> .....	<b>45</b>
3.6 Política dos Biocombustíveis .....	46
<b>3.6.1 União Europeia</b> .....	<b>46</b>
<b>3.6.2 Estados Unidos da América</b> .....	<b>47</b>
<b>3.6.3 No Brasil, o Programa Nacional do Álcool – Proálcool</b> .....	<b>488</b>
<b>3.6.3.1 RenovaBio</b> .....	<b>49</b>
3.7 Certificação das Usinas Produtoras de Etanol.....	50
3.8 Síntese de Revisão de Literatura .....	533
<b>4 FRAMEWORK – PILARES DA SUSTENTABILIDADE</b> .....	<b>555</b>
<b>5 RESULTADO DA PESQUISA</b> .....	<b>57</b>
5.1 Apresentação dos Resultados de Casos .....	57
5.2 Pilar Ambiental.....	59
5.3 Pilar Inovação/Produção Inteligente.....	63
5.4 Pilar Econômico .....	65
5.5 Políticas Relacionadas ao Desenvolvimento/Governança.....	66
5.6 Pilar Social.....	68
5.7 Desafios Encontrados nas Práticas de Sustentabilidade .....	69
<b>5.8 Framework - Diretrizes para Aprimoramento de Práticas Ambientais</b> .....	<b>70</b>
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>733</b>
6.1 Contribuições Acadêmicas .....	744
6.2 Contribuições Gerenciais.....	755
6.3 Limitações e Sugestões de Pesquisas Futuras .....	766
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>78</b>
<b>APÊNDICE</b> .....	<b>90</b>

## 1 INTRODUÇÃO

No presente capítulo, será apresentado o tema Aplicação de Práticas Sustentáveis desenvolvidas por usinas produtoras de etanol de milho no Brasil, como também a contextualização da temática e, ainda, as justificativas para este estudo, a questão da pesquisa, os objetivos, a delimitação e as contribuições esperadas.

### 1.1 Tema e Contextualização

Diante das pressões que vive o mundo com relação a questões de sustentabilidade e à aprovação do Acordo de Paris, em 2015, em que os países signatários comprometeram-se em limitar a temperatura global, em resposta às mudanças climáticas, é imprescindível a busca de alternativas energéticas, como os biocombustíveis. O Brasil assumiu o compromisso de reduzir as emissões de GEE - gases de efeito estufa – em 37%, até 2025, e em 43%, até 2030 (MMA, 2015). Este acordo de Paris estabelece dois compromissos importantes envolvendo o setor de energia: alcançar 45% dos renováveis na matriz energética e aumentar a participação dos biocombustíveis para aproximadamente 18% até 2030 (UNFCCC, 2015). A expansão do consumo dos biocombustíveis pode ser alcançada pelo aumento da produção de etanol (UNFCCC, 2015).

A crescente preocupação com a dependência de combustíveis fósseis e a poluição ambiental provocadas por estes fazem com que se busque pelos biocombustíveis. Outra razão no interesse em substituir os combustíveis fósseis pelo biocombustível é a diminuição da dependência externa de petróleo (LEITE; LEAL, 2007).

O Brasil tem papel de destaque no cenário mundial de produção e uso de biocombustíveis, em especial, com relação ao etanol produzido a partir da cana de açúcar. Nos últimos anos, houve também um crescimento da utilização do milho para produção do etanol de milho com instalação de novas plantas industriais, em especial, na região Centro-Oeste do país. Essa expansão tem sido impulsionada por diversos fatores, dentre eles, pela abundância de milho nesta região e pela aquisição de matéria prima com preços competitivos e, também, expressivo excedente do produto favorecendo a viabilidade dos investimentos. A produção de etanol vem ganhando espaço com a utilização do grão de milho, desde o ano de 2012, quando foi inaugurada a primeira usina de processamento do grão para a produção de etanol. Desde então essa indústria vem ganhando força (ROSSETO *et al.*, 2017).

O programa é uma grande promessa tanto de valorização dos combustíveis limpos

como de compensação pelo uso de combustíveis fósseis. Tem como uma grande oportunidade de consolidação do mercado do etanol, como um todo, e do etanol de milho em particular (NOLASCO, 2022, PRESIDENTE DA UNEM - UNIÃO NACIONAL DO ETANOL DE MILHO).

O uso do etanol é importante devido aos seus aspectos sociais, ambientais e econômicos, reduzindo a quantidade de petróleo utilizada e importada, criando empregos e evitando emissões de GEE. Se a produção ocorrer de forma sustentável, pode auxiliar na produção de alimento, melhorar o desequilíbrio socioeconômico e conservação ambiental (SOUZA *et al.*, 2015).

Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2020), o País alcançou a maior produção de etanol da história referente à safra 2019/20, com um total de 35,6 bilhões de litros provenientes da cana-de-açúcar e do milho. Isso representa um acréscimo de 7,5% em comparação a 2018/19.

De acordo com dados da Unem (União Nacional do Etanol de Milho), atualmente, 18 usinas de etanol de milho estão em operação, sendo 11 em Mato Grosso, 5 em Goiás, 1 no Paraná e 1 no Mato Grosso do Sul. Do total de unidades em operação, 11 são flex (usina produtora de etanol de milho nos meses de entressafra da cana-de-açúcar) e 7 full (usina que produz etanol somente a partir do milho). Também precisamos ressaltar que durante a produção de etanol de milho são gerados resíduos conhecidos como DDG ou WDG, que se tratam da utilização dos grãos de milho de forma seca ou úmida, respectivamente, que resultam em farelo com alto teor de proteína sendo utilizado para ração animal, além do óleo de milho. Os coprodutos resultantes do processo de extração de etanol de milho são: DDG (grãos destilados secos), DDGS (grãos destilados secos + solúveis), WDG (grãos destilados úmidos) e WDGS (grãos destilados úmidos + solúveis), além do CDS (solúveis condensados ou xarope) (ANTUNES, 2020).

A partir do exposto, é oportuno ampliar a compreensão da dinâmica de práticas ambientais aplicadas na gestão dos processos produtivos das usinas full produtoras de etanol de milho. Tal proposta pode contribuir para o amadurecimento da aplicação de práticas gerenciais sustentáveis, além de buscar a melhoria contínua dos processos com intuito de alcançar o desenvolvimento sustentável.

## **1.2 Lacunas de Pesquisa**

Lacunas levantadas em pesquisas foram identificadas quanto às ações necessárias para

aprimorar aplicações de práticas sustentáveis em destilarias de etanol de milho, as quais se referem a:

1. **Social:** Existe uma lacuna no estudo de Haputta *et al.* (2020) sugerindo que se incluam os efeitos sociais e as mudanças na distribuição de renda oportunizados pelo etanol, como geração de emprego e renda nas pesquisas. O estudo teve como objetivo analisar a sustentabilidade da promoção do bioetanol na Tailândia usando o custo-benefício análise. A análise foi realizada com base nas metas de produção de bioetanol no Plano de Desenvolvimento de Energia Alternativa da Tailândia 2015, abrangendo o etanol de mandioca e melão. O papel dos impostos e a melhoria da eficiência produtiva em toda a economia são apresentadas por meio de opções de promoção do bioetanol (HAPUTTA, P., PUTTANAPONG, N., SILALERTRUKSA, T., BANGVIWAT, A., PRAPASPONGSA, T., & GHEEWALA, S. H. 2020).
2. **Governança:** Há falta de estudos, segundo Zarrinpoorand e Khani (2021), que examinem o paradigma do desenvolvimento sustentável e a influência de várias políticas regulatórias de carbono nas decisões estratégicas e operacionais tomadas pelos biocombustíveis das cadeias de abastecimento (BSCs), sendo necessário mais pesquisas sobre este assunto. A sustentabilidade deve ser abordada como um problema-chave na construção de BSCs, dada a necessidade premente de as sociedades limitarem as consequências ambientais e promoverem responsabilidade das atividades da empresa (ZARRINPOOR, NAEME & KHANI, AINDA, 2021).
3. **Tecnologia e Inovação:** A lacuna do estudo de Bhuiya *et al.* (2016) refere-se a uma pesquisa mais completa no avanço de tecnologias do biodiesel de macadâmia e de semente de uva para reduzir custos na fabricação e utilização dos biocombustíveis e a uma análise econômica abrangente do ciclo de vida antes de recomendá-lo para aplicação comercial. O estudo trata de pesquisas de biocombustível de segunda geração para custo mais barato com utilização de tecnologias (BHUIYA, M. M. K., RASUL, M. G., KHAN, M. M. K., ASHWATH, N., & AZAD, A. K, 2016).
4. **Econômica:** Geração de subprodutos e Certificações são essenciais para a cadeia do etanol de milho. Ademais, deve-se avaliar o desempenho sustentável na cadeia de produção sucroenergética para exportação para o mercado europeu bem como a importância de se analisar as lacunas de sustentabilidade baseados no Padrão

Bonsucro para alcance do mercado europeu de unidades produtoras sucroenergéticas (ASSUMPÇÃO, A. L., PRATES, G. A., GALLI, L. C. D. L. A., & DA SILVA TAMASHIRO, H. R. 2019). Nesta pesquisa, não se faz referência ao etanol proveniente de usinas flex e full, que tem importância no aumento da produção de etanol no país. Sugere-se propor ações e estudos para certificação de destilarias de etanol de milho para o mercado externo. Os subprodutos gerados na produção de bioetanol (bagaço, torta de filtro, água de lavagem e palhagem<sup>1</sup>) poderão diminuir o impacto ambiental e gerar novos produtos a partir destes resíduos de cana (BONASSA, G., SCHNEIDER, L. T., FRIGO, K. D. D. A., FEIDEN, A., TELEKEN, J. G., & FRIGO, E. P, 2015). No Paquistão, impacto do etanol tem grande capacidade de levar revolução socioeconômica, devido ao incremento da renda agrícola, industrial e governamental em vista à matéria prima disponibilizada no país, porém ignoradas pelos tomadores de decisão (ARSHAD, M., ABBAS, M. & IQBAL, M. 2019). A lacuna identifica, nestes estudos, uma falta de política que incentive a produção de etanol, que haja um aproveitamento de resíduos, uma vez que são desperdiçados. Esta constatação reforça a relevância de políticas de estímulos à produção e ao aproveitamento de resíduos e promovendo, assim, geração de renda com uma preocupação ambiental.

Nesse contexto, o tema central desse artigo é focado em aprimorar aplicações de práticas sustentáveis para as usinas produtoras de etanol de milho.

### **1.3 Questão de Pesquisa**

Considerando as lacunas identificadas na literatura e a necessidade de mais pesquisas em usinas de etanol no contexto brasileiro, é definida a seguinte questão de pesquisa: *Como aprimorar a aplicação das práticas de sustentáveis nas usinas produtoras de Etanol de milho?*

Para responder a esta questão de pesquisa, na sequência, são apresentados o objetivo geral e os objetivos específicos da presente tese.

## 1.4 Objetivos

### 1.4.1 Objetivo Geral

Propor recomendações para aprimorar aplicações de práticas sustentáveis para as usinas de etanol de milho.

### 1.4.2 Objetivos Específicos

Verificar os procedimentos sustentáveis aplicados pelas usinas produtoras de etanol de milho;

Analisar as práticas de sustentabilidade adotadas por usinas produtoras de etanol de milho.

Propor um framework teórico alusivo à sustentabilidade na produção de etanol de milho.

## 1.5 Relevância do Estudo

É evidente a preocupação da demanda por combustíveis fósseis no Brasil e no mundo, devido à alta dependência do petróleo, além das questões ambientais, como o aquecimento global, o que faz com que se busquem alternativas para diversificar a matriz energética, aumentando a produção de biocombustíveis, em especial, o etanol. O Brasil foi um dos precursores no uso de biocombustíveis em nível mundial e segue em busca de alternativas ao uso do petróleo (ANP, 2017<sup>a</sup>).

No que se refere às justificativas para este trabalho, podem ser descritas sob as seguintes óticas: acadêmicas e gerenciais. Na perspectiva acadêmica, o tema sustentabilidade nas usinas produtoras de etanol de milho vem despertando interesse acadêmico. Os biocombustíveis, produzidos a partir de biomassa, são projetados para serem um componente importante dos futuros sistemas de energia com o objetivo de cumprir as metas de estabilização da temperatura global em níveis baixos (DAIOGLOU *et al.*, 2019 ). Segundo Goldemberg (2007) e Gnansounou *et. al.* (2009), uma das formas mais eficientes para o desenvolvimento sustentável é aumentar a participação dos biocombustíveis na matriz mundial, que pode ter como resultado maior segurança no fornecimento de energia em escala global, prolongamento das reservas de combustíveis fósseis e redução das ameaças das

alterações climáticas. O etanol é um combustível ecologicamente correto e energeticamente eficiente (GANGADHARA; PRASAD, 2016, MUMTAZ *et al.*, 2016). Os autores alertam sobre a importância dos combustíveis não fósseis e, também, sobre o impacto na cadeia produtiva, um olhar para além da produção. Este trabalho procura averiguar as aplicações de práticas sustentáveis aplicadas por usinas produtoras de etanol de milho no Brasil.

Na perspectiva gerencial, estudar as práticas sustentáveis aplicadas pelas usinas significa atuar num segmento que está aumentando sua representatividade na economia mundial, pois o milho é uma commodities que produz valor agregado com seus subprodutos e contribui com o meio ambiente, gerando emprego e renda nas regiões produtoras. O tema é de extrema relevância por possibilitar a identificação de práticas sustentáveis aplicadas pelas usinas produtoras de etanol de milho no Brasil. Os fatos podem provocar um repensar acerca da forma como são geridas as questões ambientais, diminuindo, assim, os impactos negativos para sociedade. Ademais, a adoção de práticas sustentáveis nas empresas tem provocado mudanças gerenciais. Neste âmbito, são trazidas contribuições às empresas em estudo.

Não se espera o esgotamento das discussões ou atendimento pleno das irregularidades do tema, mas considera-se oportuna e singular esta pesquisa ao buscar elucidar conceitos latentes a partir do estudo empírico, refletindo as particularidades dos achados de outras pesquisas, ou até contribuir com novos horizontes para investigação científicas.

## **1.6 Delimitação da Pesquisa**

A pesquisa possui limites, sendo importante estabelecer as fronteiras da abordagem proposta. Nesta direção, são firmados os aspectos inclusos no texto. O trabalho almeja propor recomendações para o aprimoramento de aplicação de práticas sustentáveis nas usinas produtoras de etanol de milho, considerando as seguintes restrições:

- Investigar o campo da gestão da produção de práticas ambientais aplicadas pelas usinas produtoras de etanol de milho instaladas no Brasil, gerando proposições direcionadas para este contexto;
- Ter como escopo a visão e a dinâmica interna da empresa quanto às suas ações de práticas sustentáveis aplicadas por usinas produtoras de etanol de milho;
- Averiguar as empresas/usinas da amostra, buscando entender as ações de práticas sustentáveis aplicadas na produção de etanol de milho, sem comparação de desempenho entre as organizações/usinas.



## **1.7 Contribuições Esperadas**

A pesquisa apresenta como principal contribuição um conjunto de diretrizes de ações de práticas ambientais e um framework com proposta de orientar as usinas produtoras de etanol de milho no Brasil; discorrendo sobre elementos, estratégias e práticas que norteiam o cotidiano das usinas, de forma integrada. Para isso, esta pesquisa está examinando a literatura no campo da Práticas de Gestão Ambiental e sua interação com outras áreas, tais como: ambiental, econômica e social e de processos.

## **1.8 Estrutura da Tese**

No primeiro capítulo, são declarados os aspectos gerais da tese; de caráter introdutório faz uma contextualização do assunto, apresenta o problema a ser investigado, o objetivo geral e os específicos, bem como a relevância do estudo proposto, a delimitação da pesquisa e a estruturação do trabalho.

O segundo capítulo, apresenta as bases metodológicas estabelecidas para o desenvolvimento da pesquisa. É exposto o projeto de investigação, o método de trabalho, os protocolos de coleta e a análise de dados.

Já o referencial teórico é discutido no terceiro capítulo, em que se discorre acerca dos conceitos centrais sobre práticas sustentáveis aplicadas à cadeia produtiva do etanol de milho e de seus subprodutos. Além disso, trata das políticas dos biocombustíveis e da importância do etanol para o Brasil e o mundo.

No quarto capítulo, são apresentados os resultados dos estudos de caso e, também, são realizadas a discussão dos dados de cada caso investigado. Nesse capítulo, é apresentado o conjunto de ações de práticas sustentáveis alavancadores, assim como um framework teórico para gestão de ações de práticas sustentáveis aplicadas em usinas de etanol de milho no Brasil.

Já o quinto capítulo discute os achados de pesquisa e anuncia as recomendações para a gestão de práticas ambientais em usinas de etanol de milho. A seção detalha a análise dos resultados e debate as implicações teóricas e gerenciais.

No último capítulo, expõem-se as considerações finais, em que se aponta as conclusões da pesquisa, os esclarecimentos das limitações e o pronunciamento de oportunidades para futuros estudos.

## 2 METODOLOGIA

Este capítulo retrata o delineamento da pesquisa. Está dividido em três seções. A primeira é dedicada à classificação da pesquisa, incluindo suas justificativas. Na segunda, são apresentados os procedimentos metodológicos para efetivo alcance dos objetivos da tese. Por fim, na terceira seção, é detalhado o método de trabalho adotado, descrevendo seu conjunto de etapas através dos 13 passos de desenvolvimento da pesquisa.

### 2.1 Classificação da Pesquisa

O Quadro 1 apresenta a classificação desta pesquisa. Esta pesquisa é do tipo aplicada, o que se caracteriza por seu interesse prático, isto é, os resultados devem ser aplicados ou utilizados, imediatamente, na solução de problemas que ocorram na realidade (MARCONI; LAKATOS, 2017). A tese visa a alavancar as ações de práticas de sustentabilidade na produção de etanol. Quanto aos objetivos, a pesquisa é enquadrada como exploratória, a qual, segundo Severino (2016), busca levantar informações sobre um determinado objeto, delimitando, assim, um campo de trabalho e mapeando as condições de manifestação desse objeto. Collis e Hussey (2005, p. 24) explicam que “a pesquisa exploratória é realizada sobre um problema ou questão de pesquisa quando há pouco ou nenhum estudo que possam buscar informações sobre a questão do problema.” Busca, ainda, oferecer uma visão sobre o panorama da produção de etanol e de como aprimorar as práticas sustentáveis da cadeia do etanol de milho. Esta investigação está orientada para identificar práticas sustentáveis aplicadas pelas usinas produtoras de etanol de milho, voltada para proposição de um conjunto de recomendações direcionadas para orientação gerencial sustentável.

Já a abordagem dos dados é considerada qualitativa, resultante de informações subjetivas – julgamentos, relatos, opiniões e experiências de especialistas, escritas e orais (EISENHARDT, 1989; EISENHARDT; GRAEBNER, 2007; ELLRAM, 1996). A tese fará uso das considerações de especialistas, práticos e acadêmicos, para refletir a realidade em observar e possibilitar as devidas inferências. A pesquisa qualitativa fornecerá informações para entendermos o processo de práticas sustentáveis aplicadas pelas usinas produtoras de etanol de milho, fornecendo, na prática, respostas a perguntas que questionam o como e o porquê (EISENHARDT, 1989). Como instrumento de coleta de dados foi utilizado um questionário semiestruturado com questões abertas para aplicação nas entrevistas com diretores, gerentes industriais e encarregados da área ambiental (EISENHARDT, 1989).

**Quadro 01** - Classificação de pesquisa

<b>Classificação</b>	<b>Tipo</b>	<b>Justificativa</b>
Natureza	Aplicada	Visa a identificar as práticas sustentáveis aplicadas pelas usinas de etanol de milho.
Objetivo	Exploratória	Busca levantar informações sobre um determinado objeto, delimitando, assim, um campo de trabalho e mapeando as condições desse objetivo.
Abordagem	Qualitativa	Busca reflexão a partir de informações subjetivas de atores do campo em estudo.
Método	Estudo de caso múltiplo	Requer investigação empírica em diferentes usinas ampliando as oportunidades de comparação.

**Fonte:** Elaborado pelo autor

Para esta estratégia, deverão ser investigadas de cinco a 8 usinas produtoras de etanol de milho full no Brasil (EISENHARDT, 1989). Outro argumento para as escolhas de pesquisa remete-se à expectativa de ser orientado pela lógica da replicação (EISENHARDT, 1989), em que resultados semelhantes ou divergentes podem ser encontrados nas unidades de estudo (MARTINS, 2008), potencializando a produção de preposições teóricas (DE MASSIS; KOTLAR, 2014) aplicáveis em diferentes contextos (EISENHARDT, 1989), a chamada generalização analítica.

Além da definição das unidades de análise, nova e importante frente de trabalho é demandada, ou seja, a declaração do protocolo de pesquisa e as técnicas de coleta de dados (VOSS; TSIKRIKTSIS; FROHLICH, 2002). Após o planejamento operacional para a efetivação da pesquisa, a próxima etapa é a definição das técnicas de obtenção de dados e evidências. As principais técnicas de coletas de dados consistem em entrevistas, observações, consultas de documentos, entre outros (EISENHARDT, GRAEBNER, 2007; VOSS, TSIKRIKTSIS ; FROHLICH, 2002).

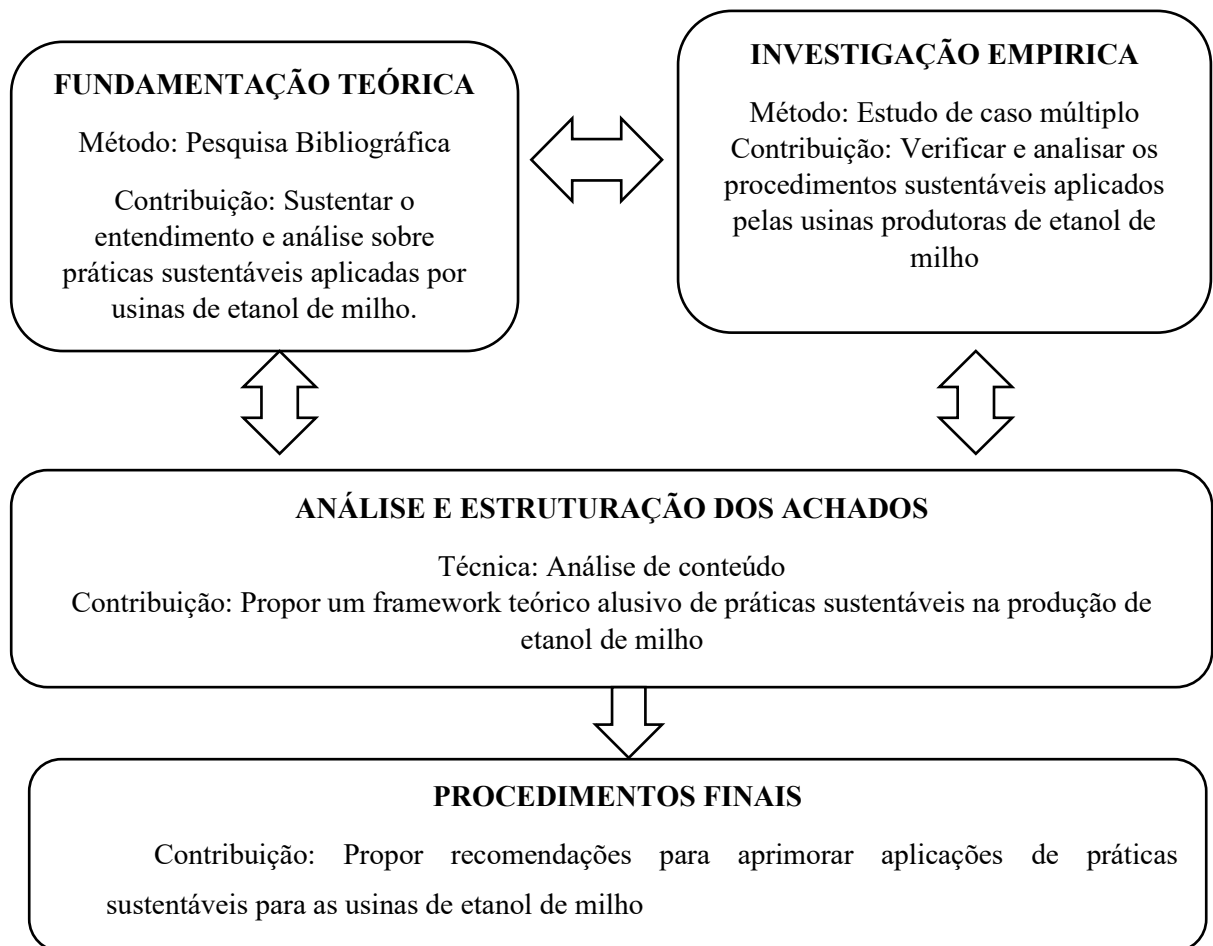
Um estudo de caso é uma história de um fenômeno passado ou atual, elaborada a partir de múltiplas fontes de provas, que pode incluir dados da observação direta e entrevistas sistemáticas, bem como pesquisas em arquivos públicos e privados (VOSS, TSIKRIKTSIS, e FROHLICH, 2002). É sustentado por um referencial teórico, que orienta as questões e proposições do estudo, além de reunir uma gama de informações obtidas através de diversas técnicas de levantamento de dados e evidências (MARTINS, 2008). Para Eisenhardt (1989), “o estudo de caso é uma estratégia de pesquisa que se concentra em entender a dinâmica presente em configurações únicas.”

Por fim, é necessário analisar os dados qualitativos, um processo que exige organização dos documentos (MARTINS, 2008), incluindo uma triangulação dos achados na literatura (LEWIS, 1998). A utilização de múltiplas fontes e a triangulação dos dados e

evidências das diversas fontes são critérios que aumentam a credibilidade e a confiabilidade dos resultados (VOSS, TSIKRIKTSIS e FROHLICH, 2002). Trata-se, portanto, da coleta de dados de diferentes perspectivas e de diferentes fontes, através do cruzamento de uma fonte com a outra, a “constatação é mais forte e melhor sustentada” (EISENHARDT, 1989).

## 2.2 Procedimentos Metodológicos

Para o efetivo alcance do objetivo geral da pesquisa, a partir da obtenção dos respectivos específicos, a Figura 1 ilustra o processo metodológico adotado.



**Figura 01** – Processo metodológico adotado para a pesquisa.

De forma ampla, a lógica de investigação parte dos objetivos da pesquisa. Todas as ações são orientadas pelos objetivos estipulados, inclusive, as considerações sobre os resultados esperados.

Portanto, faz-se uma pesquisa bibliográfica para composição da fundamentação

teórica dos procedimentos de campo e do exame dos achados de pesquisa. Esta fase sustenta o entendimento e a análise de práticas sustentáveis aplicadas por usinas na produção de etanol de milho.

Na sequência, há a pesquisa empírica com aplicação do estudo de casos múltiplos. O interesse, nesta etapa, é identificar pontos de alavancagem e barreiras sobre práticas sustentáveis aplicadas pelas usinas de etanol de milho.

A seguir, há a análise reflexiva com evidências de campo, e os conteúdos da literatura são executados, com o objetivo de desenvolver um framework teórico alusivo de práticas sustentáveis na produção de etanol de milho.

Por fim, visualizando os estudos anteriores, a última fase é a proposição de um conjunto de recomendações para identificar a presença de aspectos de sustentabilidade na produção dos biocombustíveis no cenário brasileiro e sua contribuição com o desenvolvimento sustentável.

Na próxima seção, são apresentados o desenvolvimento e as particularidades dos procedimentos metodológicos, no caso, o método de trabalho.

### 2.3 Método de Trabalho

O método de trabalho está organizado em quatro etapas principais e fracionado em 13 passos. O Quadro 02 exhibe o desdobramento do método de trabalho mostrando cada uma das etapas, bem como seus respectivos passos ordenados, com sua descrição individualizada e o plano de execução previsto.

**Quadro 02** – Estruturação do método de trabalho

<b>Etapa</b>	<b>Passo</b>	<b>Descrição</b>	<b>Plano</b>
<b>I</b>	1	Contextualização e definição dos objetivos	Identificação do problema e definição dos objetivos da pesquisa.
	2	Fundamentação teórica	Revisão bibliográfica sobre o tema sustentabilidade na produção do etanol de milho.
	3	Protocolo de pesquisa e roteiro de entrevistas	Formatação do instrumento de investigação empírica.
	4	Definição dos critérios de seleção das empresas participantes /entrevistados.	Captar empresas e entrevistados para aplicação.
	5	Teste piloto	
<b>II</b>	6	Procedimentos para coleta de dados	Estabelecer os procedimentos e técnicas para coleta de dados de campo.
	7	Pesquisa de campo Realização das entrevistas	Aplicação do estudo múltiplo na amostra selecionada.
<b>III</b>	8	Transcrição das entrevistas	

	9	Análise de dados	Examinar e tratar os dados.
	10	Desenvolvimento do framework	Organização lógica e articulada das informações encontradas, visando à formatação de um framework para sustentabilidade na produção do etanol de milho.
	11	Proposição de recomendações	Propor recomendações de aprimoramento nas aplicações de práticas sustentáveis nas usinas produtoras de etanol de milho.
	12	Verificações das contribuições	Apresentar implicações teóricas e gerenciais.
IV	13	Considerações finais	Expor as conclusões, limitações e oportunidades para novas pesquisas.

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

### 2.3.1 Planejamento da Etapa I

A primeira etapa parte da identificação do problema e da definição dos objetivos. O capítulo 1 desta tese indica esses aspectos gerais. A apresentação do tema *Práticas sustentáveis aplicadas nas usinas produtoras de etanol* inclui um conjunto de lacunas de pesquisas encontradas na literatura. O exame de tais evidências levou a ponderar o seguinte problema a ser investigado: *Como aprimorar a aplicação das práticas sustentáveis nas usinas produtoras de etanol de milho?* Esta questão norteou a formatação do objetivo geral da pesquisa e seu desdobramento em três objetivos específicos, já anunciados no trabalho.

O passo 2 consiste na construção da fundamentação teórica da pesquisa. Este plano remete-se ao capítulo 2 da tese – Referencial Teórico. A revisão bibliográfica efetuada considerou bancos de dados, como: Scopus; Google Acadêmico; Plataforma Scielo, além de sites institucionais específicos. Foi privilegiada a coleta de dados oriundos de periódicos acadêmicos, pois consideram fontes distintas para o desenvolvimento da pesquisa (BIESENTHAL; WILDEN, 2014). A seção visou a discorrer sobre tópicos envolvendo conceitos de biocombustíveis, em especial, o etanol de milho e as práticas sustentáveis aplicadas nas usinas produtoras de etanol de milho.

O levantamento feito buscou sustentar futuras ações de campo, enriquecer a triangulação de dados em processos de análise e amparar decisões de percurso.

Seguindo, tem-se o passo 3, a elaboração do protocolo de pesquisa. Nessa etapa, ocorre a formatação do instrumento para a investigação empírica. Neste sentido, com a fundamentação teórica (capítulo 3), foi possível detalhar a lógica de ações de práticas sustentáveis aplicadas em usinas produtoras de etanol de milho. Ademais, reflete-se sobre o objetivo do trabalho, as oportunidades de pesquisa mapeadas e as implicações gerenciais de ações de práticas sustentáveis, aplicadas em usinas produtoras de etanol de milho. Foram propostas questões orientadas para pesquisa de campo - estudo de caso múltiplos. O Quadro

03 expressa a matriz de consolidação do protocolo de pesquisa.

O passo 4 representa a aplicação dos critérios de seleção das empresas participantes e da amostra da pesquisa. Como critério da seleção, foram tomados os seguintes aspectos:

- A organização possui em sua missão, de forma expletiva, o propósito da sustentabilidade;
- Indústrias produtoras de etanol de milho estão localizadas no Brasil;
- Existe interesse e disponibilidade em participar da pesquisa;
- Há facilidade de acesso para coleta de dados.

**Quadro 03** - Matriz de consolidação do protocolo de pesquisa, questões orientadoras

<b>Dimensões</b>	<b>Questão principal</b>	<b>Questões Orientadoras</b>
<b>Ambiental</b>	Quais práticas ambientais aplicadas no setor produtivo e como ocorre o monitoramento?	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Quais as práticas ambientais sustentáveis aplicadas no processo produtivo?</li> <li>- Como ocorre o monitoramento dos procedimentos?</li> <li>- Quais são os desafios relacionados aos aspectos ambientais e como a empresa vem tratando-os?</li> <li>- Qual a sua contribuição/ impacto da operação, considerando a dimensão ambiental? (Explicar como ocorre e porquê?)</li> </ul>
<b>Produção Inteligente</b>	Quais são as inovações tecnológicas relevantes para a produtividade e sustentabilidade?	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Quais são as inovações tecnológicas relevantes para a produtividade e sustentabilidade?</li> <li>- Como impacta na operação e quais os desafios que apresentam. (Exemplo melhoria genética. Automação entre outros).</li> </ul>
<b>Econômico</b>	Como a economia circular está presente na operação e quais as ameaças e desafios para manter a operação?	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Como a economia circular está presente na operação? Há redução de insumos, o reuso de resíduos, geração de subprodutos)</li> <li>- Devido à empresa necessitar de grandes volumes para sua operação, quais as ameaças e desafios para manter esta operação?</li> </ul>
<b>Políticas Relacionadas ao desenvolvimento sustentável</b>	Como as políticas nacionais e internacionais relacionadas ao desenvolvimento sustentável afetam o desenvolvimento do negócio?	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Como as políticas nacionais e internacionais relacionadas ao desenvolvimento sustentável afetam o desenvolvimento do negócio (certificações). Ex.: países árabes (selos)</li> <li>- Quais são as barreiras enfrentadas?</li> </ul>
<b>Social</b>	Quais são as estratégias e práticas que promovem impacto social?	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Quais são as estratégias e práticas que promovem impacto social? (Ex.: impostos, geração de emprego, capacitação de pessoal).</li> <li>- Quais são os desafios sociais decorrentes das novas tecnologias e de modo de operação e como veem sendo trabalhados ?</li> </ul>

**Fonte:** Elaborada pela autora.

### 2.3.2 Planejamento da Etapa II

O passo 5 considera a aplicação do protocolo de pesquisa semiestruturado para coleta

de dados em campo (através de entrevista e visita in loco). Um piloto com a aplicação da pesquisa em uma usina produtora de etanol de milho tipo full, visando a possíveis ajustes e validação do instrumento, foi efetuado. Ainda com base no capítulo 3 – Revisão de Literatura, para realização do teste piloto, optou-se por uma usina, a qual é considerada a maior produtora de etanol de milho da América Latina. Essa usina possui 5 unidades produtoras, sendo uma das maiores produtoras de energia limpa e renovável do mundo e está em operação desde de 2017. Outro ponto determinante para a escolha da usina são os planos e os programas ambientais realizados por esta empresa, os quais estão disponíveis para consulta diretamente no website da empresa e em seus relatórios publicados.

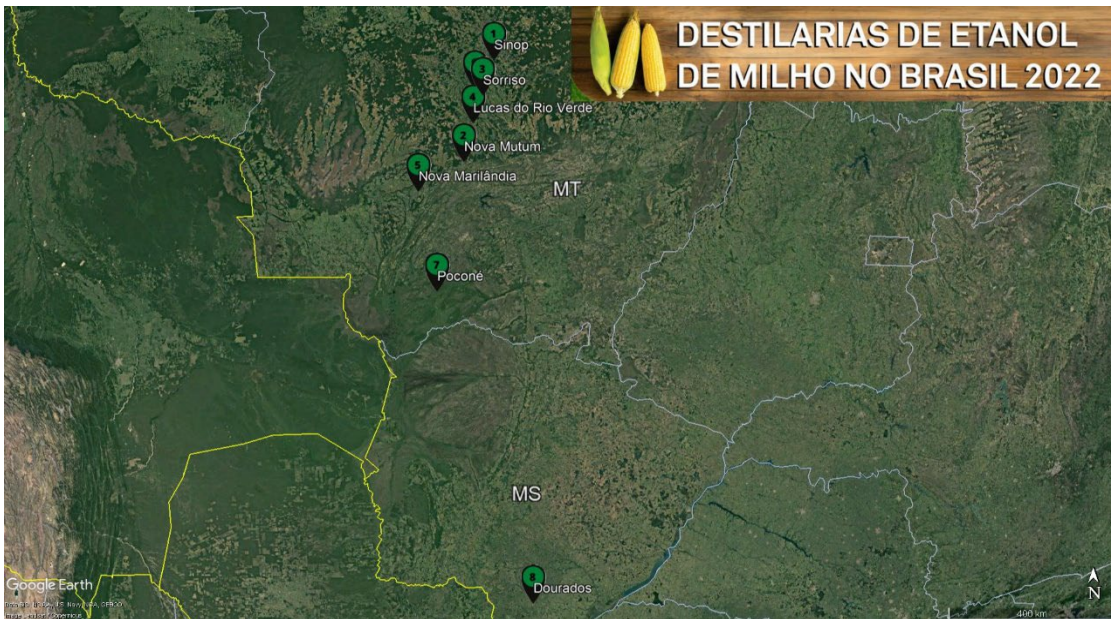
A população-alvo da pesquisa é formada por usinas produtoras de etanol e que têm uma política de gestão ambiental em sua missão. A amostra investigada é composta por 8 usinas produtoras de etanol de milho full, e somente 7 delas responderam as entrevistas e uma utilizamos dados disponível em sites, em que as amostras foram determinadas por critério de região; uma vez que as usinas deste tipo encontram-se localizadas na região Centro-Oeste do país; e as áreas de atuação pertencem ao setor dos biocombustíveis. O Quadro 4 e a Figura 2, a seguir, sintetizam os casos selecionados.

**Quadro 04** – Casos selecionados

<b>Caso</b>	<b>Tipo</b>	<b>Cidade</b>	<b>Origem</b>	<b>Cap.de Produção Etanol (m<sup>3</sup>/dia)</b>
A	Full	Sinop/MT	2019	2600
B	Full	Nova Mutum/MT	2020	1100
C	Full	Sorriso/MT	2021	2400
D	Full	Lucas do Rio Verde/MT	2017	1550
E	Full	Nova Marilândia/MT	2020	280
F	Full	Sorriso/MT	2018	4
G	Full	Poconé/MT	2019	8
H	Full	Dourados/MS	2022	1100

**Fonte:** Elaborado pelo autor





**Figura 02:** Mapa de localização das destilarias de Etanol de Milho no Brasil  
**Fonte:** Elaborado pelo autor

No passo 6 são estabelecidos os procedimentos para coleta de dados empíricos. No primeiro momento, as usinas selecionadas foram esclarecidas acerca das intenções e dos planos da pesquisa. O uso de contatos telefônicos ou serviços de mensagens online foi priorizado nesse processo. Na sequência, foi formalizada a agenda de compromissos com os casos estudados. A coleta de evidências é feita mediante as técnicas de entrevistas semiestruturadas, averiguação de documentos institucionais e ou observações. Priorizaram-se entrevistas presenciais, porém, na falta de oportunidade ou de viabilidade, foram utilizados recursos de teleconferência, como: softwares ZOOM, Google Meet, Skype, entre outros. O conjunto de entrevistados é formado pelos gestores das usinas e presidente da União Nacional dos Produtores de Etanol de Milho (UNEM). Com consentimento do entrevistado, as entrevistas foram gravadas em áudio para posterior transcrição em editor de texto. Para aplicação integral do protocolo de pesquisa, foi estimado um período de 2 horas por entrevistado.

O passo 7 diz respeito ao como colocar em execução o passo 6, ou seja, a pesquisa de campo. Nesse sentido, refere-se à aplicação do estudo de caso múltiplo.

### 2.3.3 Planejamento da Etapa III

No passo 8, ocorre a transcrição das entrevistas. Com consentimento do entrevistado,

as entrevistas foram gravadas em áudio para posterior transcrição em editor de texto, utilizando o software Microsoft Word, versão 2013. Para aplicação integral do protocolo de pesquisa, foi estimado um período de 2 horas por entrevistado.

No passo 9, a técnica utilizada para analisar os dados e evidências nesta pesquisa foi a Análise de Conteúdo (BARDINI, 2011), sendo definida como exame, categorização, tabulação, testes ou evidências recombinações de outra forma, para que se possa tirar conclusões baseadas empiricamente (YIN, 2013). Pode ter um enfoque qualitativo ou quantitativo, tendo como foco a interpretação das características e dos padrões que estão por trás do conteúdo das mensagens e dos documentos (BARDIN, 2011). Este processo ocorre em três diferentes momentos (BARDIM, 2011) (a) pré-análise, (b) exploração de material, (c) tratamento dos resultados, inferências e interpretação.

Na fase da pré-análise e da preparação e organização dos achados, documentos e apontamentos de campo serão revisados manualmente. Busca-se apurar os materiais mais relevantes para o objetivo da pesquisa neste estágio. Este refinamento visa a agrupar as potenciais fontes de informação para futura triangulação. A análise de conteúdo diz respeito ao tratamento dos resultados, inferência e interpretação. Este é o ponto de transcrição para o passo 9 do método de trabalho. As análises reflexivas sobre extratos teóricos empíricos são alcançados mirando a organização lógica e articulada das informações, ou seja, a formatação de um framework teórico empírico para gestão de ações de práticas sustentáveis aplicadas pelas usinas produtoras de etanol de milho.

No passo 11 do estudo, são iniciadas as proposições e recomendações. A meta é fornecer orientações de ações de práticas sustentáveis a serem aplicadas em usinas produtoras de etanol de milho. Considerando os aspectos teóricos empíricos tratados, é entendido neste estágio, com as apurações já realizadas e com as interpretações. Leva-se ao enunciado: como aprimorar a aplicação das práticas sustentáveis nas usinas produtoras de etanol de milho?

O passo 12 representa a verificação das contribuições, ou seja, o anúncio das implicações teóricas e gerenciais do trabalho.

#### 2.3.4 Planejamento da Etapa IV

Por fim, o passo 13, nas considerações finais são relatadas as conclusões levantadas a partir da pesquisa, as limitações da pesquisa, sendo indicadas as oportunidades para novas linhas de investigação, potencializando, assim, a continuidade de estudos no campo de gestão ambiental e práticas sustentáveis aplicadas em usinas produtoras de etanol de milho no Brasil.

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

Este capítulo apresenta as bases teóricas que sustentam o desenvolvimento do presente estudo. Primeiro, apresenta-se uma introdução para se entender o desenvolvimento do setor, suas origens e suas vantagens na operação de usinas flex. Logo depois, explicam-se sobre os biocombustíveis e o plano de metas para reduzir a intensidade de carbono e incentivar uma matriz energética mais limpa (3.2); em seguida, o tema versa acerca dos subprodutos do etanol de milho e a cadeia de produção de etanol de milho (3.3); posteriormente, compreendem-se as práticas sustentáveis do setor (3.4). A sustentabilidade da cadeia do etanol de milho (3.5) e a política dos biocombustíveis na União Europeia, Estados Unidos e no Brasil (3.6); bem como a certificação das usinas produtoras de etanol de milho (3.7) e por último uma síntese dos temas a serem explorados teoricamente, contemplando os conceitos, os autores, os principais tópicos abordados e relação destes conceitos com objetivo da pesquisa.

#### 3.1 Desenvolvimento do Setor

A indústria do etanol no Brasil surgiu com apoio governamental na década de 1970, quando o governo brasileiro, na intenção de reduzir as importações de petróleo, criou o programa Pro-álcool. Até então, o País produzia álcool etílico em pequena escala (KLOSS, 2012). A produção nacional de etanol foi fortemente impulsionada por políticas governamentais internas e por estratégias de diversificação de combustível (KOHLHEPP, 2010). Entre 1975 e 1979, o governo incentivou a produção de álcool anidro para a mistura com a gasolina. Essa produção ficou a cargo das destilarias. A fase é também marcada pelo desenvolvimento dos primeiros carros movidos exclusivamente a álcool, em 1978, e, a partir de 2003, ocorre a introdução dos carros flex no Brasil (ANFAVEA, 2016).

Na década de 1970, em razão dos elevados preços do barril de petróleo praticados pela OPEP, o Brasil criou o Pro-Álcool, programa que tem a finalidade de substituir parte da gasolina utilizada no país por etanol (álcool). Neste período, o etanol (álcool anidro) passa a ser adicionada a gasolina e o hidratado vendido em postos de combustível. Para a ÚNICA (SIAMIG, 2018d), a adição de etanol à gasolina é uma das formas mais eficientes para se reduzir a dependência dos derivados de petróleo e a emissão de Co<sub>2</sub> no transporte veicular. De 2003, ano do lançamento dos carros flex, a dezembro de 2021, o uso de etanol evitou mais quase 600 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> fossem lançadas na atmosfera. Para efeito semelhante

na natureza seria cultivar 4 bilhões de árvores pelos próximos 20 anos (ÚNICA, 2022). Recentemente, com o intuito de expandir a produção e consumo de biocombustíveis no Brasil, em dezembro de 2016 foi lançada a RenovaBio (Política Nacional de Biocombustíveis), pelo Ministério de Minas e Energia. O programa tem como objetivo principal o estabelecimento de metas visando a descarbonização, através do incentivo para a expansão dos biocombustíveis na matriz energética nacional (ANP, 2021b).

Tratados internacionais com compromissos ambientais, como o Protocolo de Kyoto, colocaram os biocombustíveis em uma das mais importantes pautas globais do século 21. Com os incentivos públicos para o cultivo da cana-de-açúcar, o Brasil se tornou o segundo maior produtor mundial de etanol e um dos mercados mais competitivos internacionalmente (RFA, 2020b). O Brasil concentra sua produção no etanol de 1ª geração da cana-de-açúcar, mas vem ganhando espaço na produção do etanol do milho e de 2ª geração. O etanol é um biocombustível de energia renovável, ou seja, é renovável quando sua fonte é inesgotável ou pode ser regenerada, como é o caso das plantações de cana de açúcar, milho, mandioca entre outras, sua matéria-prima pode ser produzida continuamente. Além de renovável, o etanol é também uma fonte de energia mais limpa. Isso porque sua produção emite até 80% menos de gases de efeito estufa (GEE) - como dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), gás metano (CH<sub>4</sub>) e óxido nitroso (NO<sub>2</sub>), quando comparado à gasolina (RAIZEN, 2022). De acordo com as orientações de Omido *et al.*, (2015, p. 122), o etanol é considerado um ótimo biocombustível por ser biodegradável e renovável, podendo ser produzido vantajosamente a partir de biomassas.

A produção de etanol de milho no Brasil tem chamado a atenção pelos altos volumes de investimentos e principalmente devido à sua rápida expansão nos últimos anos. A tecnologia de conversão de milho em etanol e coprodutos tem origem nos Estados Unidos e o processo de produção norte-americano é caracterizado pelo uso de milho primeira safra e uso de fontes de energia tradicionais, em grande parte fósseis (carvão mineral, gás natural). Essas características são diferentes do setor de biocombustível brasileiro, que possui vantagens quanto ao uso do milho, principalmente de segunda safra e fontes renováveis (MOREIRA *et al.* 2020).

O etanol de milho teve seu início no Brasil na região centro Oeste, mais especificamente no Mato Grosso, região produtora em larga escala de milho e valores considerados atrativos para os investidores, ocorrendo um aproveitamento das estruturas das indústrias de cana de açúcar que passam a operar na estrutura “flex”. Uma vez que as usinas sucroalcooleiras passam por um período de entressafra precisam de matéria prima para operar, existindo uma demanda por matéria prima e no caso o milho matéria em abundância no estado

surge com a propósito de otimizar a indústria e reduzir custos.

Os veículos flex (FFV- Flex Fuel Vehicle) produzidos no Brasil permitem qualquer tipo de mistura de gasolina e etanol, desde 100% de gasolina (tipo C, já com 27% de etanol anidro) à 100% de etanol. Segundo a ANFAVEA (2017), 89,9% dos automóveis produzidos em 2016, sendo que 1,6 milhões foram FFV, fazendo que o consumo de etanol aumentasse, seja no mercado interno e para exportação. Com isto grupos internacionais são atraídos aumentando os investimentos no setor e consequentemente as indústrias sucoalcooleira são ampliadas e ou adicionadas a usinas flex ou full no caso da indústria.

Quando analisamos os tipos de combustíveis mais utilizados no mundo, nos setores de transporte, agricultura, entre outros são em maior número de origem fóssil entre eles gasolina e o diesel óleo. Em consequência do uso desenfreado destas origens ocorreu um aumento a Emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE). Devido ao grande consumo de petróleo entre 2014 e 2018 a União Europeia e o Canadá promoveram uma mudança de pensamento para uma economia de baixo carbono efeito do Acordo de Paris de 2015, assinado por 197 países e ratificado por 185 países em 2019 (COLLOTTA *et al*, 2019).

Assim, visando a uma redução das emissões de GEE durante o ciclo de vida dos combustíveis, países tem adotado a prática de substituir os combustíveis fósseis por biocombustíveis ou mesmo inseri-lo do combustível convencional, por meio das chamadas adições (Tabela 1). Essas adições de biocombustíveis a combustíveis fósseis variam de país para país, de acordo com o mandato vigente imposto pelo governo local.

Estudos da Biofuel Digest (2018) apresentam a Europa como grande interessada no etanol, onde a Finlândia já possui legislação para misturar 20% de etanol à gasolina sendo que irá aumentar para 40% até 2030. A Noruega já mistura 20% de etanol à gasolina. A China já utiliza E10 em nove províncias, bem como as Filipinas, Moçambique, Angola, Zimbábue, Malawi e Quênia. A tabela abaixo demonstra as relações de misturas em determinados países.

**Tabela 01** – Mistura ao Combustível fóssil por país

<b>País</b>	<b>Porcentagem de Mistura</b>	<b>Principais Culturas</b>
Argentina	26%	Cana de açúcar e soja
Brasil	27,5%	Cana de açúcar e milho
Canadá	5%	Trigo e milho
China	10% (em dez provinciais)	Mandioca, sorgo e milho
União Europeia	10% (na maioria dos países)	Beterraba, trigo e milho
Índia	5%	Cana de açúcar
EUA	15%	Milho

**Fonte:** Adaptado de Biofuels Digest (2019), e SNPAA (2020) e UDOP (2020) e ÚNICA (2020)

### 3.2 Biocombustível

O uso de biocombustíveis tem sido apoiado por várias nações por meio de planos e metas que exigem sua participação em maior volume (SARAVANAN *et al.*, 2020), pois oferecem uma solução potencialmente atrativa que reduz a intensidade de carbono no setor de transporte e aborda questões de segurança energética. Os dois biocombustíveis líquidos mais utilizados são o biodiesel e o bioetanol (derivado da biomassa), que substituem, respectivamente, o diesel fóssil e a gasolina (REN21, 2018).

O Brasil é pioneiro no uso de biocombustíveis e, atualmente, é o segundo maior produtor de etanol (35.643 milhões de litros), sendo responsável por 30% da produção mundial de etanol, perdendo apenas para os Estados Unidos (59.809 milhões de litros), responsável por 54% da produção mundial de etanol (RFA, 2020).

O Brasil integra o grupo de grandes produtores de biocombustíveis, mas a matéria-prima amplamente utilizada é a cana-de-açúcar. A produção brasileira do etanol de milho equivaleu, em 2019, a 2,8% da dos EUA e 1,5% da produção mundial de etanol total (RFA, 2020; ÚNICA, 2020). A safra 2021/2022, que se encerrou em abril, totalizou com a produção de 3,43 bilhões de litros de etanol de milho. O volume de milho processado pelas usinas também deverá aumentar de 7,98 milhões de toneladas para 10,38 milhões de toneladas, alta de 30% (UNEM, 2022/03/05). Diante desse cenário, a produção do biocombustível a partir do processamento de milho é recente e em menor quantidade. A Usimat, localizada em Mato Grosso, foi a primeira usina flex (são indústrias que utilizam o milho como matéria-prima para a produção de etanol na entre safra) é pioneira no processamento do milho para a produção de etanol no Brasil, tendo iniciado a moagem dessa matéria-prima em 2012 (CONAB, 2018).

Nos últimos anos, a fonte de matéria prima para produção de etanol no Brasil deixou de ser praticamente exclusiva da cana-de-açúcar. Usinas no Centro-Oeste se adaptaram e outras unidades foram instaladas para produzir etanol a partir do milho, tal qual ocorre nos Estados Unidos, maiores produtores mundiais de etanol. A expansão da produção de milho de segunda safra na região Centro Oeste, a possibilidade continuar produzindo etanol a partir do milho durante a entressafra de cana de açúcar, o aumento do consumo de etanol pelos brasileiros (ÚNICA, 2021).

A União Nacional de Etanol de Milho (UNEM,2022) atualizou a perspectiva de produção de etanol de milho na safra 2022/2023 para 4,5 bilhões de litros, incremento de 31% em comparação com a safra anterior e de 7% com relação à última expectativa de produção,

até então de 4,2 bilhões de litros. A safra 2021/2022, que se encerrou em abril, totalizou com a produção de 3,43 bilhões de litros de etanol de milho.

Com a revisão das projeções, o etanol de milho deverá ampliar sua participação na produção total do biocombustível, passando de 12,5% para 15%. Na safra 2021/2022, o Brasil produziu 27,53 bilhões de litros de etanol, somando o biocombustível à base de cana-de-açúcar e o de milho. Para a próxima temporada, a estimativa de produção é de 30 bilhões de litros. Os dados são do Instituto Mato-Grossense de Economia Agropecuária (IMEA). Segue figura 03 abaixo apresentando a produção nacional de etanol de milho por estados.

ETANOL A PARTIR DO MILHO	Ano Safra 2022/2023 (milhões litros)	%
Produção Nacional	4.524,9	100
Principais estados produtores		
Mato Grosso - MT	3.335,4	74
Mato Grosso do Sul - MS	698,3	15
Goiás - GO	378,4	8
Paraná - PR	112,8	2
Total	4.524,9	100

Fonte: Conab - Levantamento setembro / 2022

**Figura 03** - Produção de etanol de a partir do milho por estado Safra 2022/2023

O setor vem se consolidando nos últimos anos no mercado nacional de biocombustível, sustentado em políticas públicas que objetivam diminuir a dependência dos combustíveis fósseis e estimular uma matriz energética mais limpa e de fonte renovável.

### 3.3 Produção de Etanol de Milho e Subprodutos

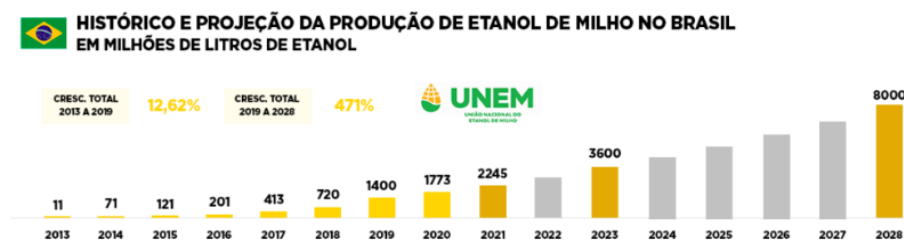
Os biocombustíveis surgiram no intuito de mitigar os impactos ambientais, poluição atmosférica causada pela emissão de gases como os óxidos de enxofre e nitrogênio e dos gases estufa, como o dióxido de carbono e o metano, e para suprir novas demandas energéticas, diminuindo a importação e produção de combustíveis fósseis (ECKERT *et al.*, 2018).

A produção e demanda do etanol no Brasil, com base nos dados da EPE (2020), expões o histórico e as projeções da produção e demanda de etanol no Brasil. Os dados são

apresentados de forma analítica em duas fases: histórico (2013 a 2019) e projeções (2021 a 2029). As premissas utilizadas pela EPE para construção das projeções e demanda de etanol referem-se aos valores totais considerando etanol para combustível e outros fins em um cenário médio. As principais premissas foram: uma relação de preço entre combustíveis mais favorável ao etanol; a continuidade de políticas de incentivo no setor, como diferenciações em ICMS (Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços), CIDE (Contribuições de Intervenção no Domínio Econômico) e PIS (Programa de Integração Social) COFINS (Contribuição para Financiamento da Seguridade Social); sucesso na implantação do programa RenovaBio e disponibilidade de recursos das negociações de crédito de carbono; existência de linhas de crédito para atividades setoriais e redução e otimização de custos na cadeia sucroenergética (EPE, 2019b; EPE, 2020).

Segundo Marcos Fava Neto (2021), no que se refere ao ponto de vista das projeções de etanol, de acordo com a EPE (2020), o Brasil deve aumentar sua produção em 14 bilhões de litros até 2029, o que equivale a uma taxa de crescimento anual composta de 3,8% e incremento absoluto de 40,0% entre 2021 e 2029. A demanda (consumo doméstico e exportações) deve crescer 3,5% ao ano (CAGR) e um total de 36,4%, atingindo a marca de 44,5 bilhões de litros em 2029.

O Mato Grosso é o principal estado produtor de milho e, conseqüentemente, de etanol de milho. A produção de cereal na safra 2019/2020 foi de cerca de 98 milhões de toneladas, da qual 40% foi exportada. O volume de etanol de milho nesse período foi de 1,7 bilhão de litros (CONAB,2020b). Outros estados do Centro-Oeste e do Norte também vem ampliando a produção de biocombustíveis. Cabe adicionar que este é um dos principais cereais produzidos em cooperativas no Brasil, em que há participação significativa da agricultura familiar, propiciando geração de emprego e renda no campo (MME,2019). A seguir, a figura 04 apresenta um histórico e projeções da produção de etanol de milho no Brasil.



**Figura 04** – Histórico e projeções da produção de etanol de milho no Brasil  
Fonte: UNEM (2021).



Segundo o levantamento do Instituto Mato-Grossense de Economia e Pecuária (IMEA, 2021), a produção de farelos de milho, utilizados como insumo para ração de animais, tanto pets quanto suínos, peixes e aves, e na intensificação da pecuária de corte, deverá atingir 2,53 milhões de toneladas, alta de 36% frente à produção da safra 2021/22, quando foram produzidas 1,85 milhão de toneladas. A produção de óleo de milho também será ampliada, passando de 114,9 mil toneladas para 164,7 mil toneladas, alta de 43%.

Da produção de etanol de milho, são gerados como coprodutos o óleo de milho, destinado a consumo humano, e o DDG (Distiller's dried grains with solubles), para nutrição animal, contendo entre 30 e 35% de proteína (MILANEZ *et al.*, 2014) (IMEA, 2017).

O DDG é o grão de milho seco por destilação sendo um dos produtos de uma indústria de etanol de milho. Este farelo proteico é usado há muito tempo por pecuaristas em países como Estados Unidos, Argentina e Paraguai. Com a expansão do mercado do etanol no Brasil, o DDG começa a ser ofertado no mercado nacional e mesmo internacional, com importância e relevância principalmente para nutrição do gado de corte (UNEM, 2022).

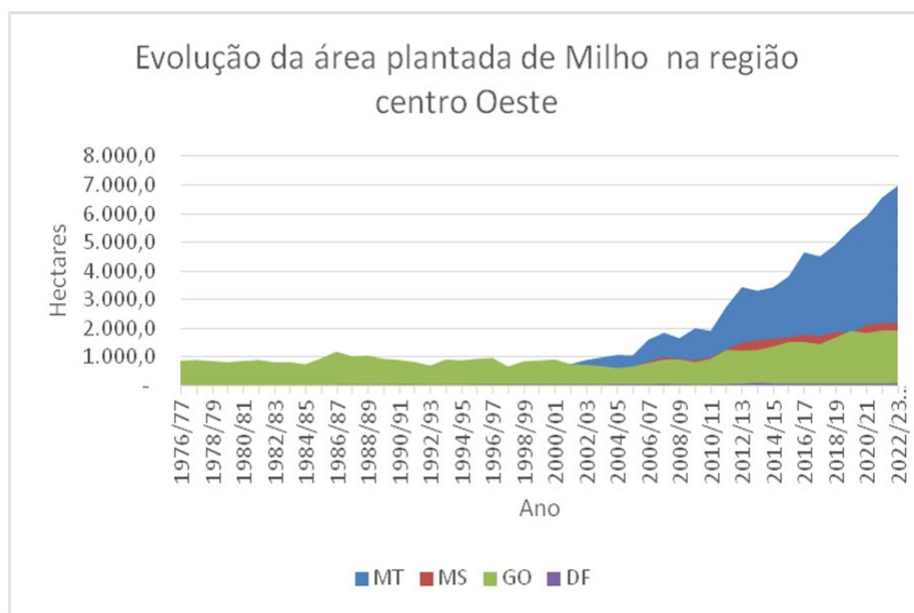
A boa perspectiva para a venda dos subprodutos do etanol de milho, tais como o grão de milho seco por destilação (DDG) e o grão de milho úmido por destilação (WDG), serviram como incentivo para a produção deste tipo de etanol deixa de ser inexpressiva e avança para 2,57 bilhões de litros em 2020 (UNICA, 2021). O mercado de DDG (Dried Distillers Grains) continua aquecido, com projeção de vendas para indústrias alimentícias e principalmente dentro da cadeia de proteína animal (CONAB, 2022).

Também precisamos destacar que o uso de óleo de milho como matéria prima da produção de adjuvante- insumo adicionado com defensivos agrícolas para aumentar a eficiência na aplicação e diminuir potencial da diretiva, é uma experiência sob exclusividade da usina Inpasa, por meio da marca IOP (Inpasa Oil Premium).

### **3.4 Cadeia de Produção do Etanol de Milho**

De acordo com Manochio *et al.* (2017), as matérias-primas ideais para a produção de etanol devem ter características como: alta produtividade agrícola, curtos ciclos produtivos, baixo consumo energético, baixo custo de produção entre outras. Neste contexto, destaca-se o milho, uma cultura que apresenta alta capacidade para ser empregada na produção de bioetanol. Esta cultura é originária do México e vem sendo cultivada em todos os continentes, ocupando o equivalente a 147 milhões de hectares em todo o mundo, sendo de grande importância, pois além de fornecer produtos alimentícios é utilizado como matéria-prima para

a indústria, dada a natureza das reservas de nutrientes acumuladas em seus grãos (CHIOCHETTA JUNIOR, 2020). No Brasil as áreas plantadas, vem se retratando um avanço significativo, visto que em 2017 foi de aproximadamente, aproximadamente 97,84 milhões, em relação à safra de 2018/19 a produção nacional de milho foi de 29,37 bilhões de toneladas, cultivados em 4,74 milhões de hectares, de acordo com a Companhia Nacional e Abastecimento (CONAB, 2018). Na região Centro-Oeste, onde se encontram a maioria das usinas de etanol de milho, também evidenciou-se o crescimento da área plantada (Gráfico 1), bem como um aumento na produção, conforme Gráfico 01.

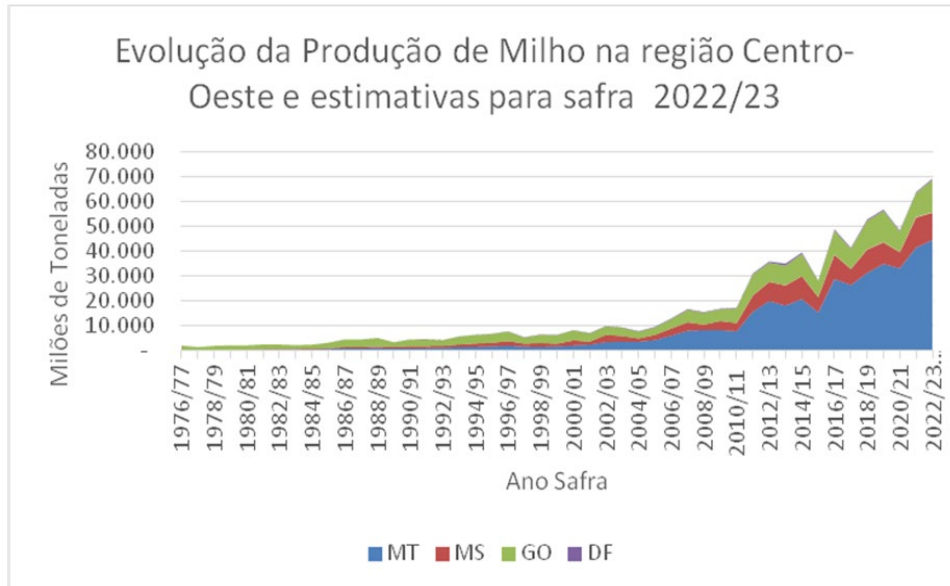


**Gráfico 01:** Evolução da área de cultivo de milho na região Centro Oeste do Brasil.

**Fonte:** Elaborado com base dados da CONAB e IMEA (2022).

Como pode ser percebido, há um salto expressivo, pois, em apenas uma década, a produção de milho mais do que dobrou em Mato Grosso, saindo de 18,4 milhões de toneladas, na safra 2011/12, para mais de 39,1 milhões na temporada atual. O avanço é reflexo direto do maior investimento dos agricultores na cultura. No mesmo período, a área destinada às lavouras, que era de pouco menos de 3 milhões de hectares, pulou para quase 6,4 milhões. Segundo Nolasco, presidente da União Nacional do Etanol de Milho (UNEM, 2022), a produção não deve parar por aí. “Ainda se planta apenas 60% da área destinada à soja com milho. Então, nós temos uma capacidade enorme de crescimento de produção e de produtividade com sustentabilidade, sem que haja necessidade de avançar sobre novas áreas de produção”, diz. O apetite crescente das indústrias de etanol garantiu incremento robusto na demanda pelo cereal dentro do estado (Gráfico 02). A expectativa é de que, este ano, cerca de

12 milhões de toneladas do grão sejam consumidas em Mato Grosso. Pelo menos 3 milhões vão atender outros estados e quase 24 milhões de toneladas devem ser exportadas. “O milho saiu de uma posição de coadjuvante, de rotação de cultura da soja, para uma cultura que criou vida depois da indústria de etanol no estado”, completa Nolasco.



**Gráfico 02:** Evolução da produção de milho na região Centro oeste do Brasil.  
**Fonte:** CONAB (2022).

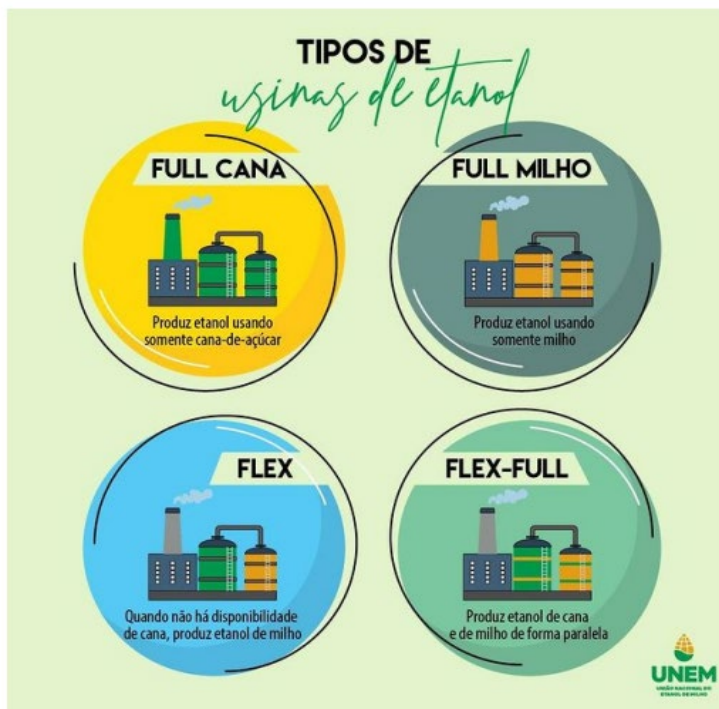
Tal resultado sugere que o desenvolvimento de tecnologias voltadas ao plantio e ao desenvolvimento de cultivares tenha colaborado para este ganho em produção. De acordo com Miranda *et al.* (2014) e Milanez *et al.* (2014) sugerem que o aumento da área plantada e consequentemente a produção de milho no país, passaria, inicialmente pela incorporação de áreas de 2ª safra que ainda não praticavam o cultivo de milho, além do cerrado e pastagens degradadas. O milho é uma das principais culturas plantadas no mundo e o Brasil ocupa a terceira colocação no ranking de produtividade deste grão de acordo com a Food and Agriculture Organization (FAO, 2020). O milho, considerado como uma biomassa, além de uma fonte de nutrientes para a alimentação pode ser também uma matéria-prima para outros processos industriais como a produção de biocombustíveis (MANOCHIO *et al.*, 2017). Diante desde crescimento de produção e a oferta do produto está relacionada a ofertada do produto na região Centro Oeste devido a safra de milho de inverno.

O desenvolvimento do setor trouxe rápida organização de uma entidade representativa para as demandas do setor diante da sociedade e de entidades governamentais federais e estaduais. Em 2017, cria-se a União Nacional do Etanol do Milho (UNEM), junto com o ciclo

de entrada e investimentos produtivos no setor, a entidade representa as usinas, parceiros institucionais, entre eles Aprosoja, Aprosmat, Abramilho e Arefloresta. Estas identidades contribuem para troca de informações com países de expertise no setor como os Estados Unidos (CONAB, 2018).

Com a evolução da cultura do milho principalmente o de segunda safra e o surgimento de novas plantas industriais, é importante entender o processo de produção de etanol de milho no Brasil e os modelos de plantas industriais que operam no país. Existem três modelos de usinas de etanol de milho no Brasil, as quais se caracterizam em função de fontes de matéria-prima e operação: Usina Full Milho; Usina Flex e Usina Flex Full (usina flex full são aquelas indústrias que operam paralelamente com cana de açúcar e de milho). Atualmente, no Brasil, existem 18 usinas que usam o milho como matéria-prima para o biocombustível. 99% da produção ocorre em Goiás e no Mato Grosso. Outros estados brasileiros que possuem usinas são o Paraná e Mato Grosso do Sul, responsáveis por 1% da produção total. Vale destacar que o milho é predominantemente cultivado em 2ª safra e que, portanto, o uso de área se dá em sucessão, aspecto que reforça a da cadeia produtiva (UNEM, 2022).

Dados da Unem (União Nacional do Etanol de Milho) mostram que, em 2023, 18 usinas de etanol de milho estão em operação, sendo 11 em Mato Grosso, 5 em Goiás, 1 no Paraná e em 1 em Mato Grosso do Sul. Do total de unidades em operação, 11 são flex (usinas que produzem etanol de cana-de-açúcar durante a safra do produto, entre abril e novembro, e etanol de milho na entressafra da cana, entre dezembro e março) e 8 full (são usinas que produzem etanol apenas a partir do milho). A Figura 05 ilustra as especificidades de cada tipo de usina.



**Figura 05:** Classifica os Tipos de usina de Etanol no Brasil  
**Fonte:** UNEM (2023).

### 3.4.1 Comparativo entre matérias-primas na produção de etanol

O suficiente teor de açúcar ou amido de uma matéria-prima é capaz de torna-la apta para ser convertida em etanol. No quadro 5, pode-se observar a produtividade e eficiência do etanol para as matérias-primas mais utilizadas na fabricação do biocombustível. O milho é o que mais apresenta eficiência de etanol por tonelada de matéria-prima, porém necessita de uma maior área para sua produção quando comparado à cana-de-açúcar que produz muito mais biomassa por unidade de área (hectare) (BNDES e CGEE, 2008).

**Quadro 05:** Resumo dos dados de produtividade e eficiência, para as diferentes matérias-primas na produção de etanol

<b>Matéria-Prima</b>	<b>Produtividade média da biomassa (t/ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Eficiência de conversão de etanol (L/t)</b>
Milho	7,5-10	360-460
Beterraba	13-100	100-110
Cana-de-açúcar	50-120	70-90

**Fonte:** Adaptado de Manochio *et al.* (2022).

A produção de etanol de milho possui algumas particularidades quando comparada à

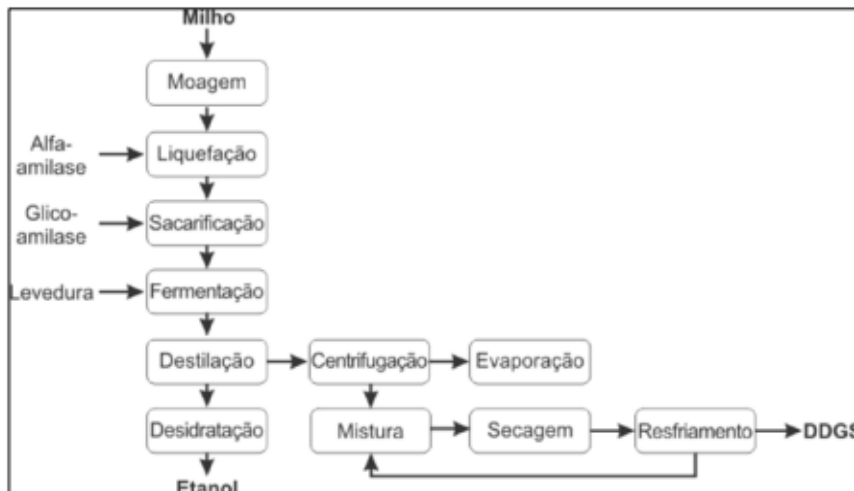
produção a partir da cana de açúcar.

No caso do milho, é preciso utilizar enzimas para facilitar a quebra das grandes moléculas de amido e devido a isso são necessárias mais etapas até o produto final (MANOCHIO *et al.*, 2017). Consequentemente, o custo de produção do etanol de milho é maior que o da cana, R\$1,23 ante a R\$1,13 por litro (IEA, 2018). Enquanto uma tonelada de cana-de-açúcar pode gerar em torno de 70 a 85 litros de etanol, uma tonelada de milho produz cerca de 400 litros (IEA); - Os grãos de milho podem ser armazenados, minimizando os efeitos da entressafra da cana no fornecimento do biocombustível em âmbito nacional (ROSSETO *et al.*, 2017).

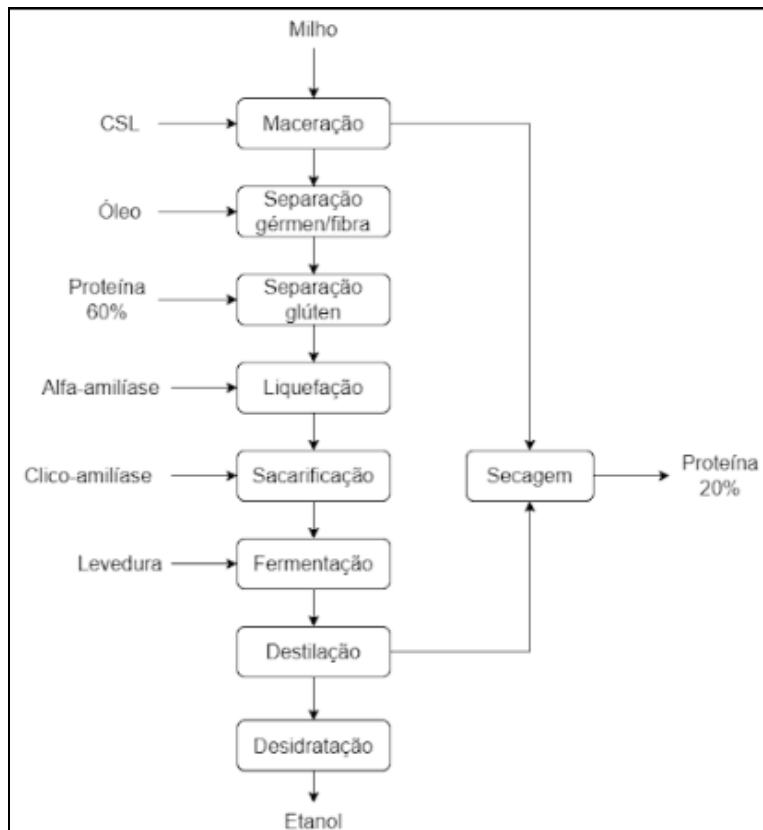
### 3.4.2 O Processo de Produção de Etanol de Milho

Processo da produção de etanol a partir de grãos de milho, podem ser utilizados dois tipos de processo utilizados na produção de etanol de milho, a moagem do grão úmida ou seca, ambos passam por hidrólise, o que diferencia é o tratamento inicial (BALAT *et al.*, 2008). A *via seca* atualmente é o processo predominante, pois possui custos operacionais mais baixos, reduzindo assim o custo final do bioetanol (MUELLER, 2010). De acordo com Jardine *et al.* (2009), pela via seca (Figura 5) o grão de milho moído é adicionado à água e enzimas para promover a hidrólise do amido em cadeias menores de açúcar, neste caso, o único co-produto do etanol é um suplemento proteico (DDGS - distillers dried grains with solubles) e o dióxido de carbono. O DDGS contém 26% de proteína, 8% de gordura e 12% de fibra, sendo utilizado como insumo para a fabricação de rações, e o dióxido de carbono comercializado com indústrias de refrigerantes e gelo seco. Neste caso o rendimento fica em torno de 460 litros de etanol e 380 kg de DDGS

*No processamento úmido*, conforme (figura 6), inicialmente acrescentase água e ácido sulfúrico na semente antes de triturar o grão para facilitar a separadas as diferentes frações do grão de milho. Temos 93 a 95% de etanol puro na destilação (MANOCHIO *et al.*, 2017). Segundo Jardine *et al.* (2009), pela via úmida, cada tonelada de milho processada produz o equivalente a 440 litros de bioetanol e o óleo de milho. A figura 6 ilustra o processo de obtenção de etanol (via seca) e a figura 7 a obtenção do etano (via umida).



**Figura 06** - Fluxograma geral do processo de obtenção de bioetanol de milho (via seca)  
**Fonte:** BNDES (2008)

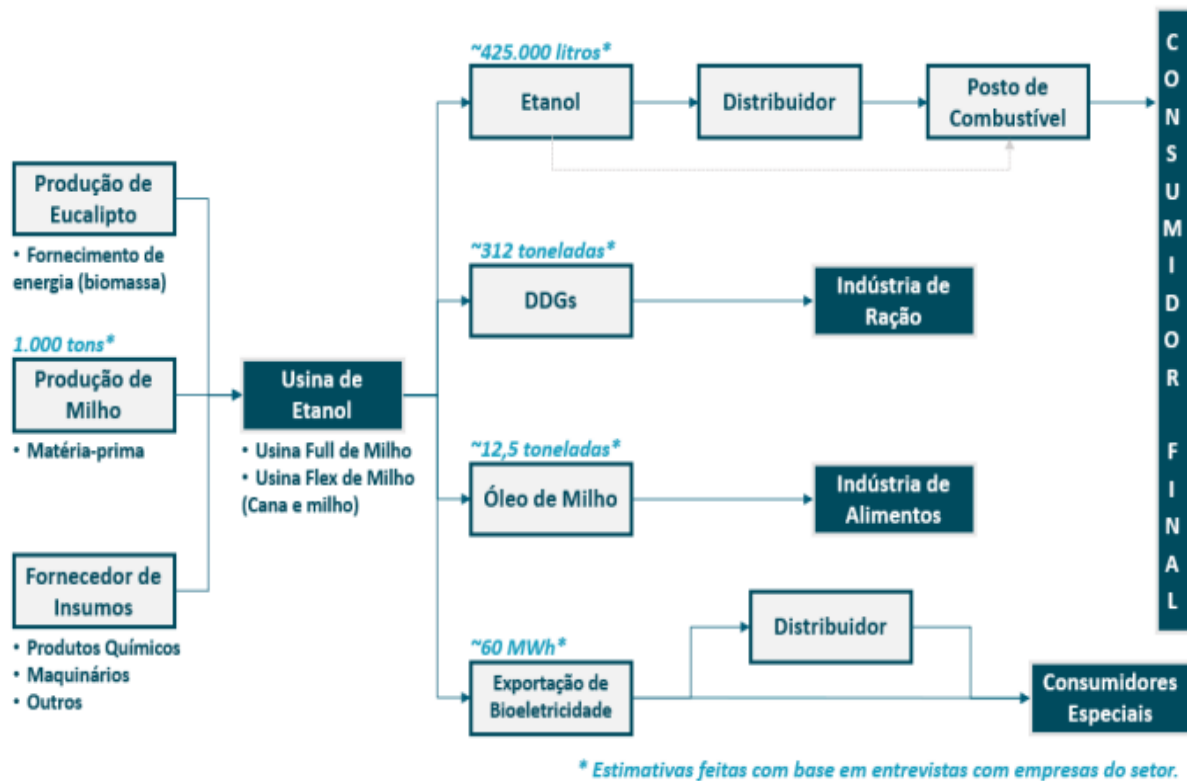


**Figura 07** – Fluxograma do processo de obtenção do bioetanol de Milho (via úmida)  
**Fonte:** BNDES (2008).

### 3.4.3 Os participantes da cadeia do etanol de milho

Cadeia produtiva do etanol de milho no Brasil conta com diversos elementos que vão além do cereal. Para que o etanol de milho seja produzido, é necessário o fornecimento de

energia (biomassa) com a produção de eucalipto e insumos como produtos químicos e maquinários. São gerados diferentes produtos na indústria de alimentos, ração entre outros e o biocombustível como elo integrante da mesma (Somosmilhoes, 2022). A Figura 8 apresenta a cadeia produtiva do etanol de milho.



**Figura 08:** Cadeia Produtiva de Etanol de Milho no Brasil

**Fonte:** NEVES, Marcos Fava *et al.* Etanol de Milho: Cenário Atual e Perspectivas para a cadeia no Brasil. Ribeirão Preto SP: UNEM, 2021.

De acordo com a Figura 8, acima, a cada 1.000 toneladas de milho processadas, produtos gerados na produção do etanol de milho: produzem aproximadamente 425 mil litros de etanol e 312 toneladas de DDG (Dried Distillers Grains with Soluble); 12,5 toneladas de óleo de milho; 12,5 e cerca de 150 MWh de eletricidade, sendo que, aproximadamente, 90 MWh são consumidos pela planta e outros 60 MWh podem ser exportados para redes de transmissão (MARCOS FAVA, 2021).

As usinas obtêm renda adicional dos subprodutos gerados na produção de etanol como o óleo bruto e os grãos de destilaria (DDG e WDG) de alto valor agregado (ROSSETO *et al.*, 2017). O rendimento médio é 380kg de DDG para cada tonelada de milho (LEITE, 2018).

Em usinas full, o processo produtivo é dependente de cavaco de eucalipto presente nas regiões de instalação da planta produtiva. Nesse cenário, surge mais um elo importante de



integração na cadeia produtiva do etanol de milho que é o florestal. O plantio das florestas de eucalipto ainda representa oportunidade de ocupação para as áreas marginais e de baixa aptidão agrícola das regiões produtoras de grãos. Nesse ponto, reside uma diferença para o modelo produtivo norte-americano, que depende da queima de gás natural para geração de vapor e energia (MOREIRA, *et al.*, 2020).

### 3.5 Sustentabilidade e Práticas

De acordo com Pero *et al.* (2017), o conceito de sustentabilidade baseia-se na premissa de que a sociedade e as organizações devem utilizar os recursos disponíveis em um nível que não coloque em risco o bem-estar das gerações futuras.

Frente às constantes cobranças e crescentes preocupações ambientais e sociais, as organizações estão incorporando em seus modelos de negócios ações voltadas à sustentabilidade. Essa tem sido uma forma de renovar seu negócio, atendendo a legislações específicas e ao mesmo tempo, contribuindo para o desenvolvimento sustentável (RAJALA; WESTERLUND; LAMPIKOSKI, 2016).

Em relação aos biocombustíveis, diversos países que compõem a União Europeia têm criado normas para a importação de biocombustíveis, como meta de adição nos combustíveis fósseis de até 10% a partir de 2020, sendo que estas normas tendem a ser uma referência de sustentabilidade nas cadeias produtivas de etanol. O não atendimento dos critérios impostos representam fator impeditivo na exportação de etanol brasileiro para estes importantes mercados; e ainda que os consumidores externos se protejam do risco de comprar produtos, que são produzidos em situações de degradação ambiental e social (NOVAES, 2009).

Análise do Ciclo de Vida (ACV) é uma ferramenta mais usada para avaliar a sustentabilidade de sistemas de biocombustíveis e a outra opção a ser adotada na política regulatória são os esquemas de certificações (CALLOTTA, *et al* 2019). Assim, essa ferramenta serve de análise para tomadas de decisões, e deve oferecer dados concisos de modo a alcançar os objetivos desejados. Visando tornar essa análise cada vez mais padronizada, a International Organization for Standardization (ISO) criou a série de normas da ISO 14040, cujos elementos podem ser divididos basicamente em quatro: (1) definição do objetivo e escopo do estudo; (2) identificação e quantificação do meio ambiente envolvido; (3) avaliação do potencial de impactos nesse meio; (4) análise das opções disponíveis para reduzir os impactos ambientais (VON BLOTTNITZ; CURRAN, 2007).

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), a Análise do

Ciclo de Vida é dividida em quatro fases: a definição do objetivo e escopo do estudo, análise do Inventário do Ciclo de Vida, Avaliação dos Impactos Ambientais associados ao sistema e Interpretação dos resultados, com base na primeira etapa de definição dos objetivos. A adoção de práticas ambientais contribui para a minimização de danos ao meio ambiente por meio do planejamento da gestão ambiental pelas organizações (SEVERO; DE GUIMARÃES; MORAIS, 2020). O desenvolvimento ou modificação de produtos, serviços, processos sem descuidar das demandas ambientais contribui para que as empresas adquiram vantagem competitiva (SANTOS *et al.*, 2019).

### 3.5 1 O Tripé da Sustentabilidade (Triple Bottom Line)

Triple Bottom Line (TBL) é um termo criado pelo autor John Elkington em 1994, conhecido também como o tripé da sustentabilidade, sua criação teve como objetivo trazer uma nova linguagem que pudesse expressar essa ampliação da agenda ambiental, integrando as dimensões sociais e econômicas ao progresso ambiental como forma de direcionamento aos profissionais das empresas:

Os indicadores de sustentabilidade baseados no Triple Bottom Line são divididos nas categorias: 1) da economia, onde envolve os recursos das organizações, além das remunerações dos empregados e clientes da empresa; 2) do ambiental, medindo os impactos que seus produtos ou serviços causam no meio ambiente e 3) do social, que se relacionam com os direitos humanos e práticas trabalhistas.

O conceito de sustentabilidade possui origens na ecologia que está associada à capacidade de reposição e regeneração de ecossistemas, porém não pode se limitar apenas às condições ambientais. Deve ser considerada a sustentabilidade em três dimensões: social, ambiental e econômica. A expressão também é conhecida por “3Ps” – People, Planet and Profit – em referência aos resultados de uma empresa medidos em termos sociais, ambientais e econômicos (SOUZA *et al.*, 2018). Um negócio sustentável, em um sentido mais amplo, significa a capacidade da empresa de persistir ao longo do tempo em práticas que beneficiem o meio ambiente e a sociedade e apresentar bons resultados econômicos adotando essas práticas (GULISANO *et al.*, 2018). Falar sobre sustentabilidade dentro das empresas pode contribuir com práticas e estratégias que são direcionadas a gerar valor sustentável para elas (HART E MILSTEIN, 2004). Analisar a sustentabilidade global é algo complexo por envolver quatro conjuntos motivadores que são necessários se levar em conta: 1) redução da matéria-prima e poluição da indústria; 2) transparência e responsabilidade; 3)

desenvolvimento de tecnologias que possam diminuir a pegada do homem no planeta e 4) atender as necessidades de uma população que possui menos condições para contribuir na diminuição da desigualdade social (HART; MILSTEIN, 2004).

Alhaddi (2015) afirma que na estrutura do TBL baseada na integração dessas três linhas é importante existir uma quantidade de ênfase igual em cada uma para trazer mais equilíbrio e coerência. Na linha econômica o autor destaca que ela se concentra no valor econômico produzido pela organização de forma que a faça prosperar e também promover a sua capacidade de apoiar as gerações futuras. Na linha social a ideia é que as práticas agreguem valor e tragam um retorno para a comunidade, centrando-se nessa estruturação entre a comunidade e a organização, e, na linha ambiental, semelhante ao social, iniciativas ambientais devem impactar a sustentabilidade empresarial das organizações.

### 3.5.2 Economia Circular

Para Kopnina e Blewitt (2015, p. 21), “o modelo de economia circular utiliza o funcionamento dos ecossistemas como um exemplo para os processos industriais, enfatizando a mudança para produtos ecologicamente saudáveis e energias renováveis”.

Segundo o economista e ambientalista David Pearce e R. Kelly Turner, a economia circular consiste em um sistema fechado propondo que o sistema aberto pode e deve ser convertido para um sistema circular, quando se considera a relação entre o uso de recursos e resíduos, de forma que o sistema circular passa a ser visto como um pré-requisito para a manutenção da sustentabilidade no planeta (GHISELLINI; CIALANI; ULGIATI, 2016). Desde as últimas crises do petróleo, o Brasil tem implementado políticas de biocombustíveis, não somente para reduzir a dependência do país em relação aos combustíveis fósseis, mas também se beneficiar das vantagens ambientais, econômicas e sociais associados a produção e utilização do etanol como biocombustível sustentável (MORAES, ZAIAT; BONOMI, 2015).

A indústria de etanol no Brasil tem influência no cenário energético, social, econômico e ambiental do país (NOGUEIRA *et al.*, 2015) A produção de etanol de milho no Brasil é vista como um importante avanço para a cadeia produtiva do grão, que passa a ter na fabricação do biocombustível mais uma oportunidade de geração de renda e emprego. Além disso, o advento do etanol de milho é um esforço que combina o grão em si, o segmento energético e também a pecuária, porque resíduos e sobras do milho usado para produção de etanol se transformam em insumos para a alimentação animal (UDOP, 2022).

A economia circular, ao possibilitar a elaboração de produtos e serviços de múltiplos

ciclos reduz a dependência em recursos ao mesmo tempo em que elimina os resíduos. O que se objetiva com a economia circular é a interligação da rede de negócios na transformação desses materiais, conseqüentemente novos fluxos de receita são gerados (AZEVEDO, 2015).

Modelo de economia circular que pode ser promovido na cadeia de produção. A fabricação de etanol por meio do milho e da cana-de-açúcar, quando integrada à pecuária, pode fazer com que o DDG seja utilizado nesta última atividade, que por sua vez gerará esterco, o qual poderá ser aproveitado como fertilizante para a produção de milho e da cana-de-açúcar. Esse modelo, além de ser sustentável, ainda gera benefícios econômicos, ganho de eficiência e estimula o crescimento da indústria animal (NEVES, 2021).

### 3.5.3 Resíduos, águas e efluentes

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), por meio da Norma Brasileira Registrada (NBR) 10.004/2004, define os resíduos sólidos como sendo: Resíduos nos estados sólido e semissólido, aqueles que resultam de atividades de origem: industrial, domiciliar, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos, cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível (ABNT, 2004).

Os resíduos podem ser classificados em orgânicos e inorgânicos. Os resíduos orgânicos são aqueles gerados nos setores de agricultura e pecuária como os rejeitos das culturas (café, cacau, banana, soja, milho, etc.), dejetos gerados nas criações animais e os efluentes e resíduos produzidos nas agroindústrias, como abatedouros, laticínios e graxarias. Os resíduos sólidos inorgânicos abrangem as embalagens produzidas nos segmentos de agrotóxicos, fertilizantes e insumos farmacêuticos veterinários, além dos resíduos sólidos domésticos da área rural (RODRIGUES *et al.*, 2013).

As águas residuárias podem ser o resultado da lavagem do produto, escaldamento, cozimento, pasteurização, resfriamento e lavagem do equipamento de processamento e das instalações. Os resíduos sólidos são constituídos pelas sobras de processo, descartes e lixo proveniente de embalagens, lodo de sistemas de tratamento de águas residuais, além de lixo gerado no refeitório, pátio e escritório da agroindústria (COSTA FILHO *et al.*, 2017).

O uso de resíduos agrícolas ou agroindustriais pode ser uma alternativa à elevada

demanda por biomassa para as indústrias de produção de etanol de milho. Os resíduos da lavoura do próprio milho surgem como uma alternativa ao excessivo uso da biomassa por esta cadeia produtiva. No sistema de produção de milho atualmente empregado no Brasil, apenas os grãos são retirados das lavouras, a palhada (biomassa) é deixada sobre o solo para servir como fonte de nutrientes e como protetor da superfície contra os efeitos da erosão. Desta forma, o desenvolvimento de sistemas de colheita prevendo a recuperação dos resíduos ainda é insipiente, devendo-se avaliar técnica e economicamente o processo para o Brasil (MACEDO, 2001).

O fator ambiental passa a ser determinante no desenvolvimento de novas tecnologias e na melhoria das existentes, influenciando na competitividade industrial de empresas e de países, em sua luta pela sobrevivência e superação de concorrentes. Tentar minimizar os impactos negativos gerados pelos resíduos decorrentes de processos industriais se torna uma obrigação social e ambiental (ABREU, 2014).



#### 3.5.4 Produção Inteligente, Pegada de Carbono e Efeito Social





Segundo Sarkar *et al* (2011) as etapas essenciais para estrutura inteligente de fabricação de biocombustível são o múltiplo, onde o custo de produção é variável, embora os autores não tenham considerado nenhum tipo de projeto de fabricação de biocombustível múltiplo inteligente (HUANG *et al.*, 2011). Os autores adotaram o método tradicional de fabricação. O custo de fabricação do biocombustível normalmente será reduzido quando as fontes de matéria-prima forem de custo mais barato, em comparação com outras fontes de biomassa (matéria-prima) (AHMED *et al.*, 2021). Os autores consideram que se as fontes de matérias-primas estiverem próximas umas das outras, o custo de transporte diminui. Assim, a biomassa mais barata deve ser utilizada para produzir sistema inteligente de biocombustível múltiplo (SINGH, 2017). Assim, o principal objetivo é escolher o local para a biorrefinaria, que deve estar próximo à fonte mais barata de matéria-prima. O segundo ponto é construir uma estrutura de fabricação inteligente que reduza os custos de fabricação e remanufatura (ULLAH *et al.*, 2021). A questão de mão de obra é parte de investimento, portanto faz-se necessário, estar numa região onde exista arranjos produtivos locais, para uma estruturação de produção inteligentes, deste modo entende-se que a localização da indústria é fundamental para o sucesso do empreendimento. Para construir um processo de fabricação sustentável do ponto de vista das emissões de carbono, o carbono total liberado durante a produção deve ser minimizado (MING *et al.*, 2021). De 2003, ano do lançamento dos carros flex, a dezembro de

2021, o uso de etanol evitou mais quase 600 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> fossem lançadas na atmosfera. Para efeito semelhante na natureza seria cultivar 4 bilhões de árvores pelos próximos 20 anos (ÚNICA, 2022). Para o etanol de milho brasileiro, ainda existem poucos estudos referentes a pegada de carbono (MOREIRA *et al.*, 2020; MILANEZ *et al.*, 2014; DONKE *et al.*, 2017), devido à recente produção em território nacional. As principais razões entre a diferença da pegada de carbono do etanol de milho norte-americano e brasileiro são o uso de biomassa de eucalipto para cogeração de energia, ao invés de carvão ou gás natural e, além disso, o uso do milho segunda safra no sistema de plantio direto, que otimiza recursos na sua rotação com a soja no mesmo ano e não demanda terra adicional. Essa situação é bem diferente da produção de milho em cultivo único praticada nos Estados Unidos, local onde os invernos são mais severos e não é possível realizar a rotação entre as culturas no período de entressafra (MOREIRA *et al.*, 2020). No sistema integrado soja/milho, geralmente acompanhado pela técnica de plantio direto, é possível um grande ganho de eficiência, particularmente, o menor uso de fertilizantes nitrogenados (fixação de nitrogênio pela soja), redução de gastos com diesel nas operações agrícolas pela eliminação/redução de gradagem do solo, proteção do solo, preservação de nutrientes e acúmulo de carbono no solo. Além disso, importante ressaltar que inicialmente o milho de 2ª safra servia como cultura de cobertura para a soja (NEVES, 2021).

### 3.5.5 Sustentabilidade da cadeia do Etanol de Milho

Segundo o relatório do IPCC (2018), lista estratégias para reduzir efeitos indesejáveis dos biocombustíveis quanto ao desafio de uso da terra. Práticas agrícolas como crescimento exponencial de produtividade, uso de áreas não utilizadas, rotação de culturas e uso de resíduos diminuem os riscos indesejáveis. O etanol de milho 2ª safra tem tais atributos (crescimento exponencial de produtividade, rotação de culturas acúmulo de carbono no solo, redução da degradação do solo) e, dessa maneira, tem grande possibilidade de contribuição para redução de pressões sobre o uso da terra. A Figura 09 apresenta a síntese dos aspectos de sustentabilidade do etanol de milho.

<p><b>Economia Circular:</b></p>  <ul style="list-style-type: none"> <li>● Produção de milho gera novo subprodutos como DDG e óleo vegetal.</li> <li>● DDG é utilizado como ração animal</li> </ul>	<p><b>Otimização dos ganhos da Industria:</b></p>  <ul style="list-style-type: none"> <li>● Em caso de usinas de cana de açúcar que passam por um período de entre safra, com a</li> </ul>
--	---

<p>tendo alto valor proteico;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Esterco é utilizado como adubo na fazenda.</li> <li>● Produção de energia limpa e renovável, através de biomassa de cana.</li> </ul>	<p>implantação do sistema flex, há um maior aproveitamento e otimização da estrutura, passando a produzir o ano todo.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Há uma flexibilidade de matéria prima para produção de etanol;</li> <li>● Agregação de valor com os sub produtos (DDG; óleo vegetal etc..)</li> </ul>
<p><b>Estímulo ao consumo de etanol:</b></p>  <ul style="list-style-type: none"> <li>● Concentração da produção na região Centro Oeste do país, Mato Grosso e Goiás, estimulando o consumo de etanol;</li> <li>● A produção local possibilita a otimização da distribuição de combustíveis e permite que melhores preços sejam praticados para o etanol;</li> <li>● A produção do etanol de milho na entressafra das usinas de cana de açúcar, mantém os estoques, isto impacta na política dos preços; Matriz energética mais limpa</li> </ul>	<p><b>Integração ao RenovaBio:</b></p>  <ul style="list-style-type: none"> <li>● Melhorias nos processos de práticas sustentáveis das usinas;</li> <li>● Rastreabilidade da cadeia produtiva do milho;</li> <li>● Redução na descarbonização, ou seja, na emissão de gases Co2 para o meio ambiente;</li> <li>● Propicia o crescimento e fortalecimento do setor.</li> </ul>
<p><b>Geração de Emprego e desenvolvimento</b></p>  <ul style="list-style-type: none"> <li>● Criação de novos postos e trabalho, com a expansão da indústria nos municípios;</li> <li>● Abertura de novas empresas;</li> <li>● Permanência do emprego, uma vez que esta indústria não para entre safra, ou seja, a produção é ao longo do ano.</li> </ul>	<p><b>Estímulos a outras cadeias produtivas</b></p>  <ul style="list-style-type: none"> <li>● Incentivo a pecuária no município;</li> <li>● Acréscimo da produtividade animal;</li> <li>● Aumento da rentabilidade do produtor com a segunda safra.</li> </ul>

**Figura 09:** Aspectos de Sustentabilidade do Etanol de Milho Brasileiro

Fonte: Adaptada pelo autor com base NOVAES (2021).

### 3.6 Política dos Biocombustíveis

#### 3.6.1 União Europeia

A União Europeia (EU), ao longo dos anos, tem apoiado a produção de biocombustíveis por meio de isenção de impostos, subsidiando elementos agregados de valor e definindo o nível de mistura dos biocombustíveis. A adoção de biocombustíveis é orientada

pela diretiva 2009/28CE, lançada em abril de 2009, a qual estabelece que o bloco tem de alcançar o percentual de 20% no consumo de energia renovável em relação ao gasto total de energia consumida, bem como reduzir em 20% das emissões de CO<sub>2</sub> - Gás Carbônico – e aumentar a eficiência energética em 20%, conhecida como meta “Triplo 20” (FGV, 2017).

O ano de 2020 marca o início da diretiva de Energia Renovável, válido até 2030. O Programa adota políticas de gestão de riscos relacionados ao uso da terra com definições de “Alto risco de iLuc” (incluindo o banimento da palma) e a possibilidade de classificar como “Low iLuc risk”. Essa classificação de baixo risco poderá, no futuro, permitir estímulos dos biocombustíveis de baixo risco, conforme relatam os estudos de Melo (2018), Noh, Benito como também os de Alonso (2016), Pereira e Paula (2017). Nesta nova diretiva, o total de energia renovável na matriz energética europeia, em 2030, deverá ser de 32% e no setor de transporte de 14%. Para combustíveis avançados, a meta de consumo é 3,5% em 2030, sendo 0,2% em 2022 e 1% em 2025 (EU. COUNCIL, 2018). Como o biocombustível produzido internamente é insuficiente para atender a essa demanda, é necessário que a UE importe etanol e biodiesel.

### 3.6.2 Estados Unidos da América

A política dos biocombustíveis, biodiesel e etanol surgiu na década de 1990, momento em que o governo buscava por biocombustíveis com a intenção de reduzir a dependência do petróleo estrangeiro e aumentar a sustentabilidade do país. A menor produtividade e os custos mais altos associados à produção de milho, juntamente com a necessidade de aumentar a produção de biocombustíveis, geraram subsídios recorrentes até recentemente. Estes eram priorizados de forma de impostos mais baixos para os agricultores e usinas, e impostos de importação sobre o etanol vindo do exterior, conforme os estudos de Melo (2018), Noh, Benito e Alonso (2016), Pereira e Paula (2017). Nos EUA, a produção de biodiesel teve um crescimento significativo devido às leis federais implementadas e aos incentivos realizados pelos governos locais, já que no País existe uma autonomia dada aos Estados que permite a cada um criar suas próprias normas (UBRABIO, 2016). A principal política federal de incentivo aos biocombustíveis é denominada *Renewable Fuel Standard Program* – RFS (sigla em inglês) - Padrão de Combustível Renovável, que determina a adição de volumes crescentes de combustíveis renováveis aos combustíveis fósseis (UBRABIO, 2016, FGV, 2017, MELO, 2018). O governo também criou um certificado denominado *Renewable Identification Number* (RIN) para atender aos objetivos estabelecidos pelo RFS que podem



ser comercializados entre agentes de mercado (similar ao CBIO no Brasil). O programa de Biocombustíveis do estado da Califórnia (*Low Carbon Fuel Standard*) – LCFS), uma das principais políticas internacionais para promoção dos biocombustíveis (MELO, 2018, NOH, BENITO; ALONSO, 2016; PEREIRA, PAULA, 2017), foi desenvolvido com o objetivo de promover uma redução de 10% na intensidade do carbono de todos os combustíveis usados na Califórnia até 2020. Para cumprir com o LCFS, as refinarias de petróleo, os importadores e os distribuidores de combustíveis são obrigados a produzir combustíveis com baixo teor de carbono ou comprar créditos. O mecanismo usado para regular o LCFS é a chamada “intensidade de carbono”, que se trata de uma estimativa das emissões de gases de efeito estufa no ciclo de vida completo de um combustível. Os combustíveis, que possuem uma intensidade de carbono menor do que o padrão anual, ganham créditos, enquanto os que possuem uma intensidade de carbono maior ficam com déficit (EIA, 2018).

### 3.6.3 No Brasil, o Programa Nacional do Álcool – Proálcool

As políticas energéticas no Brasil começaram a ser implementadas a partir do início da década de 1970, tendo sido primordiais para inserção do álcool e do biodiesel na matriz energética do País.

O Brasil tem sido um dos maiores produtores mundiais de cana-de-açúcar ao longo da história. Em 1975, foi criado o Programa Nacional do Álcool — o Proálcool, com as finalidades de reduzir a grande dependência do petróleo importado e de criar um mercado adicional para os produtores de açúcar, o que incentivou a indústria automobilística no desenvolvimento e na fabricação de carros movidos exclusivamente a álcool (Empresa de Planejamento Energético [EPE], 2008). O Proálcool foi um programa criado pelo governo brasileiro para substituir, ao longo do tempo, o uso de derivados do petróleo. O outro motivo para desenvolver esse programa foi reduzir a dependência externa e superar as fortes crises do petróleo, que ao oscilar, comprometia toda a economia mundial.

O crescimento das exportações de açúcar, na década de 1990, resultou em escassez e racionamento do etanol, comprometendo os objetivos originais do programa com o declínio do consumo desse combustível no Brasil, que se estendeu até 2003. Nesse ano, surgiu no mercado nacional o veículo flexfuel ou bicomcombustível, cuja tecnologia permitia o uso de álcool hidratado ou gasolina, em qualquer proporção da mistura deles, possibilitando ao consumidor final a escolha do combustível para abastecer o seu automóvel (EPE, 2008). Em 2008, ocorreu a crise mundial, interrompendo a falta de crédito, além das fortes secas e falta

de replantio. Em contrapartida, o governo gerou incentivos fiscais ao consumo da gasolina, o que foi prejudicial ao setor. Em 2013, ocorreu o fim da crise no setor e as indústrias canavieiras em operação aumentaram em número. Em 2014, surgiu a Lei 13.033/14, a qual estabelece o percentual de 18% a 27,5% de etanol anidro que pode ser misturado à gasolina.

### 3.6.3.1 RenovaBio

No final de 2017, o governo brasileiro aprovou a Política Nacional de Biocombustíveis, conhecida como RenovaBio (Lei 13.576/2017). Seus principais objetivos foram atingir o cumprimento às metas acordadas no âmbito do Acordo de Paris; contribuir para alcançar a eficiência energética e reduzir as emissões de GEE; regulamentar a expansão, produção e uso dos biocombustíveis; contribuir para a previsibilidade da competitividade dos diversos biocombustíveis no mercado nacional de combustíveis; e viabilizar a oferta de energia cada vez mais sustentável, competitiva e segura. O RenovaBio apresenta uma abordagem inovadora para a criação e o desenvolvimento do mercado de créditos de carbono ou descarbonização (CBIOS) (BRASIL, 2017).

De acordo com o Ministério de Minas e Energia (MME, 2018b), o RenovaBio é um programa do Governo Federal criado para reconhecer a importância estratégica dos combustíveis na matriz energética, visando à segurança energética e redução de emissão do GEE. Neste programa, contempla-se sustentabilidade econômica, social e ambiental da produção, bem como incentiva à inovação tecnologia, além de apresentar regras estáveis e metas claras para produção de biocombustíveis. A visão empresarial é contemplada oferecendo segurança legislativa e regulatória para atrair investidores.

O programa RenovaBio funciona da seguinte maneira: primeiramente, os produtores de biocombustíveis devem buscar a certificação e avaliação de seu processo produtivo por meio de uma empresa certificadora credenciada pela ANP (Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis). Essa certificação resultará em uma nota dada a cada usina em relação a quanto esse produtor de combustíveis está deixando de emitir carbono. Uma vez certificada, a usina poderá gerar CBIOS, em que cada um corresponde a uma tonelada de carbono que deixa de ser emitido na atmosfera. Esses CBIOS podem ser comercializados em bolsa, onde estarão disponíveis para quaisquer compradores. As distribuidoras de combustíveis, entretanto, precisam comprar uma quantidade mínima de CBIOS de acordo com as metas individuais atribuídas a elas. Os créditos de carbono podem ser vendidos a distribuidores de combustíveis ou a qualquer outro investidor interessado em comprá-los,

criando um mecanismo de mercado (NOVATO; LACERDA, 2017). Como consequência, os produtores mais eficientes com a descarbonização terão compensações financeiras no mercado de ações.

Segundo Novaes (2021), o RenovaBio, no estado de Mato Grosso, foi lançado em 2015, na convenção do Clima (COP 21), cuja “Estratégia é Produzir, Conservar e Incluir”. Objetiva-se aumentar a eficiência da produção agropecuária e florestal, reduzir as emissões de carbono, mediante o controle do desmatamento e o desenvolvimento de uma economia de baixo carbono e entre outros. O programa tem um importante papel na comunicação e transparência das metas para o Estado, além de proporcionar um ambiente propício ao investimento ESG (*Environmental, Social and Governance*). O etanol de milho brasileiro contribui diretamente com as políticas apresentadas anteriormente, principalmente, quanto ao objetivo de auxiliar na redução de emissões, mediante o desenvolvimento de uma economia de baixo carbono.

O Brasil não é o único país que elabora políticas de compensação de carbono. A partir de abril de 2020, houve 61 iniciativas de precificação de carbono em todo o mundo, 31 das quais com base no Esquema de Comércio de Emissões (ETS) e 30 com base no carbono tributação em diferentes setores (IEA, 2020). Outras políticas ETS baseadas na vida avaliação de ciclo (LCA) semelhante ao RenovaBio são os *Lows* da Califórnia Padrão de Combustível de Carbono (LCFS), o Padrão Federal de Combustíveis Renováveis dos EUA (RFS) e, em muitos aspectos, a Diretiva Europeia de Energias Renováveis (RED) (KHATIWADA *et al.*, 2012; MME, 2017; MOREIRA *et al.*, 2018).

A Política Nacional de Biocombustíveis (Lei 13.576/2017 - RenovaBio) foi concebida como uma estratégia intersetorial para consolidar as políticas anteriores de biocombustíveis e diminuir as emissões de GEE por meio da promoção de biocombustíveis mais eficientes no setor de transporte (GRASSI; PEREIRA, 2019; ITAMARATY, 2019).

### **3.7 Certificação das Usinas Produtoras de Etanol**

Diante do aumento no consumo de combustíveis renováveis, uma das formas de garantir a sustentabilidade são os sistemas de certificação capazes de assegurar que os biocombustíveis sejam produzidos e distribuídos de modo sustentável, podendo, conseqüentemente, serem utilizados com propósitos ambientais (GOLDEMBERG *et al.*, 2008).

**Renewable Energy Directive 2009/28/EC:** Devido a pressões de grupos

ambientalistas e de produtores europeus de biocombustíveis, receosos de sua baixa competitividade, a UE incluiu, no texto da Diretiva 2009/28/CE, a exigência de certificação socioambiental para os biocombustíveis. A iniciativa europeia é a medida, talvez, mais conhecida e amplamente divulgada para promoção da sustentabilidade para os biocombustíveis. Possui caráter legislativo e é uma norma pública aplicável e exigível em todos os Estados Membros da EU. A diretiva reconhece pela UE como satisfatório o esquema das certificações entre eles: Bonsucro EU, Internacional Sustainability and Carbon Certification (ISCC), Netherlands Technical Agreement 8080 (NTA 8080), Round Table on Responsible Soy EU RED (RTBS – EU RED), Roundtable on Sustainable Biofuels EU RED (RSB – EU RED) (EC, 2014).

A certificação do etanol é exigida pelas usinas que pretendem exportar o seu produto. Diante da crise do petróleo e dos preços praticados no mercado internacional e de uma demanda crescente pelo “novo petróleo brasileiro etanol” que vem sendo adicionado na gasolina em vários continentes, as usinas brasileiras vêm buscando a certificação. Desse modo, sistemas de certificação pretendem atestar a adoção de prática de critérios técnicos, a viabilidade econômica e a responsabilidade socioambiental dentro da cadeia de produção dos biocombustíveis.

Países da União Europeia possuem legislação própria para a utilização dos biocombustíveis em suas matrizes energéticas; apesar disso, existe um impasse para encontrar uma certificação única de concordância entre os países.

Neste sentido, algumas iniciativas apresentaram-se, entre elas a *Global Bioenergy Partnership* (GBEP), *Greenenergy*, *Better Sugar Cane Initiative Ltd* (BONSUCRO) e *Roundtable on Sustainable Biomaterial* (RBS).

O Brasil possui diversas empresas certificadoras de sustentabilidade para os processos de etanol, entre elas podemos citar BONSUCRO e RBS.

- **Better Sugar Cane Initiative Ltd (BONSUCRO - BSI)** De acordo com Ferracioli *et al.* (2013), o certificado BONSUCRO faz parte dos poucos que são aceitos pela Diretiva Europeia para os biocombustíveis, regulando emissões de GEE, questões trabalhistas, uso da água, do solo entre outros. Este padrão é de adesão voluntária e certifica a produção sucroalcooleira, desde o plantio, a logística e a distribuição até os produtos finais. A iniciativa provém de uma organização sem fins lucrativos global em que participam diversas partes interessadas com o objetivo de reduzir os impactos econômicos, sociais e

ambientais da produção e do processamento da cana-de-açúcar. Ainda, coloca como objetivo o desenvolvimento de um sistema de certificação que permite aos produtores, compradores e demais envolvidos nos negócios de açúcar e etanol a obtenção de produtos derivados da cana, produzidos conforme critérios críveis, transparentes e mensuráveis (BONSUCRO, 2013).

- A versão final da norma para produção – Bonsucro EU Production Standard – foi lançada em dezembro de 2010. Os critérios e indicadores da norma foram desenvolvidos com base em cinco princípios: (i) obediência à legislação; (ii) respeito aos direitos humanos e normas trabalhistas; (iii) gerenciamento eficiência de insumos, produção e processamento, eficiência para aumentar a sustentabilidade; (iv) gerenciamento ativo da biodiversidade e serviços do ecossistema; e (v) melhora continuamente das áreas-chave do negócio.
- **Rondtable on Sustainable Biomaterial (RBS)**. De acordo com documentos da organização RS (2018a; 2018b), os princípios e critérios por essa certificadora são simples e usados em diversos países desenvolvidos, nas diversas indústrias que compartilham dos princípios da organização. Trata-se de uma iniciativa internacional, com a participação de diversas partes interessadas. Foi iniciada, em 2006, com o propósito de “obter um consenso global a um conjunto de princípios e critérios para a sustentabilidade na produção, processamento e distribuição da matéria prima para biocombustíveis” (ISMAIL *et. al.*, 2011, p. 1).
- **Global Bioenergy Partnership (GBEP)**. O GBEP (2011) se denomina um fórum em que a cooperação voluntária desenvolve consensos entre governos e organizações intergovernamentais e outros parceiros nas áreas de sustentabilidade da bioenergia e sua contribuição para mitigar as alterações climáticas, bem como provê uma plataforma para compartilhar informações e exemplos de bons procedimentos, realizando parcerias para o desenvolvimento sustentável da atividade. GBEP atua em três áreas estratégicas: desenvolvimento sustentável, alterações climáticas e segurança alimentar e energética. Para isso, reúne parceiros interessados em criar e modificar políticas que identifiquem formas de facilitar investimentos e compartilhar as boas práticas do setor, com vista a aperfeiçoar a contribuição da bioenergia no desenvolvimento sustentável, sendo guiado pelos fatores ambientais, sociais e econômicos (GBEP, 2011).

Rodrigues *et al.* (2014) conceituam-nas da seguinte forma: - Greenergy Bioethanol

Sustainability Programme: atesta a produção de etanol anidro de forma mais sustentável e maximiza a redução de emissão de gases de efeito estufa; Protocolo Agroambiental: estimula ações de sustentabilidade no processo de produção do açúcar e bioenergia; - Certificação de Projetos de MDL: comprova redução da emissão de gases do efeito estufa; - Environmental Protection Agency (EPA): autoriza a exportação do Etanol para países norte-americanos; - International Sustainability and Carbon Certification (ISCC): cita parâmetros de biomassa e bioenergia dentro dos países membros da União-Europeia; - Roundtable on Sustainable Biofuels (RSB): garante a sustentabilidade dos biocombustíveis; - Global Reporting Initiative (GRI): realiza relatórios internacionais de sustentabilidade, visa a indicadores das práticas, gestão e desempenho econômico, social e ambiental.

Os esforços para o estabelecimento de critérios de sustentabilidade para biocombustíveis objetivam assegurar a sustentabilidade, a maior eficiência na produção e o consumo e, aspecto básico, é garantir efetivamente a redução de emissões. Organizações, como International Standardization Organization (ISO), Roundtable on Sustainable Biofuels (RSB) e governos de países e blocos, como os EUA e da UE, trabalham para desenvolver e incorporar tais critérios em suas iniciativas (J. POPP, et. al., 2014, p. 573).

### **3.8 Síntese de Revisão de Literatura**

De forma a dar maior clareza à análise deste estudo, apresenta-se no Quadro 6 um resumo da revisão da literatura, contemplando os conceitos, os autores, os principais tópicos abordados e relação destes conceitos com objetivo da pesquisa.

**Quadro 06** – Síntese de revisão de literatura.

CONCEITOS	PRINCIPAIS AUTORES	PRINCIPAIS TÓPICOS ABORDADOS	OBJETIVOS DA PESQUISA
Desenvolvimento do setor de Biocombustíveis	Saravanan <i>et al.</i> (2020 ) Manochio <i>et al.</i> (2017) Chiochetta Junior, (2020) Miranda <i>et al.</i> (2014) Milanez <i>et al.</i> (2014).	- Biocombustíveis e a produção de etanol de milho no Brasil, - A produção de etanol de milho e seus subprodutos, - A cadeia de etanol de milho.	Verificar os procedimentos sustentáveis aplicados pelas usinas produtoras de etanol de milho.
A cadeia de etanol de milho	Pero <i>et al.</i> (2017) Rajala; Westerlund; Lampikoski (2016) Callotta, <i>et al.</i> (2019) Severo; de Guimarães; Morais, (2020) Santos <i>et al.</i> (2019) Kopnina; Blewitt (2015) Ghisellini; Cialani; Ulgiati (2016) Moraes; Zaiat; Bonomi (2015) Udop (2022) Azevedo (2015)	- Classificação do tipo de usinas, - Comparativo entre matérias-primas na produção de etanol, - O processo de Produção de Etanol de Milho, - Os participantes da cadeia de etanol de milho.	Verificar os procedimentos sustentáveis aplicados pelas usinas produtoras de etanol de milho.
Sustentabilidade	Sarkar <i>et al.</i> (2011) Huang <i>et al.</i> (2011) Ahmed <i>et al.</i> (2021) Singh, (2017) Ullah <i>et al.</i> ( 2021)	- Conceito de Sustentabilidade, - Conceitos de Economia Circular, - Produção inteligente, pegada de carbono e efeito social, - Sustentabilidade na cadeia do etanol.	Verificar os procedimentos sustentáveis aplicados pelas usinas produtoras de etanol de milho. Analisar as práticas de sustentabilidade aplicadas por usinas de etanol de milho.
Política dos Biocombustíveis	FGV (2017) Melo (2018) Noh; Benito; Alonso (2016) European Council (2018) Pereira e Paula (2017) Novaes (2021) Khatiwada <i>et al.</i> (2012) MME, 2017 Moreira <i>et al.</i> (2018) Grassi e Pereira (2019)	-Políticas dos biocombustíveis na União Europeia, - Políticas dos biocombustíveis nos Estados Unidos da América, - No Brasil o Programa Nacional do Álcool – Pro-álcool; - RenovaBio.	Analisar as práticas de sustentabilidade aplicadas por usinas de etanol de milho.  Propor um framework teórico alusivo à sustentabilidade na produção de etanol de milho.
Certificação das usinas produtoras de etanol de milho	Goldemberg <i>et al.</i> (2008) Ferracioli <i>et al.</i> (2013) Bonsucro (2013) RS (2018a; 2018b) Rodrigues <i>et al.</i> (2014) J. Popp, et. al. (2014)	- Better Sugar Cane Initiative Ltd (BONSUCRO - BSI), - Rondtable on Sustainable Biomaterial (RBS), - Global Bioenergy Partnership (GBEP).	Propor um framework teórico alusivo à sustentabilidade na produção de etanol de milho.

**Fonte:** Elaborada pela autora, 2023.

#### 4 FRAMEWORK – PILARES DA SUSTENTABILIDADE

Com relação aos elementos da sustentabilidade, a literatura traz diversas referências à importância dos pilares da sustentabilidade nas organizações. Os pontos destacados como pilares no referencial teórico devem-se a achados literários.

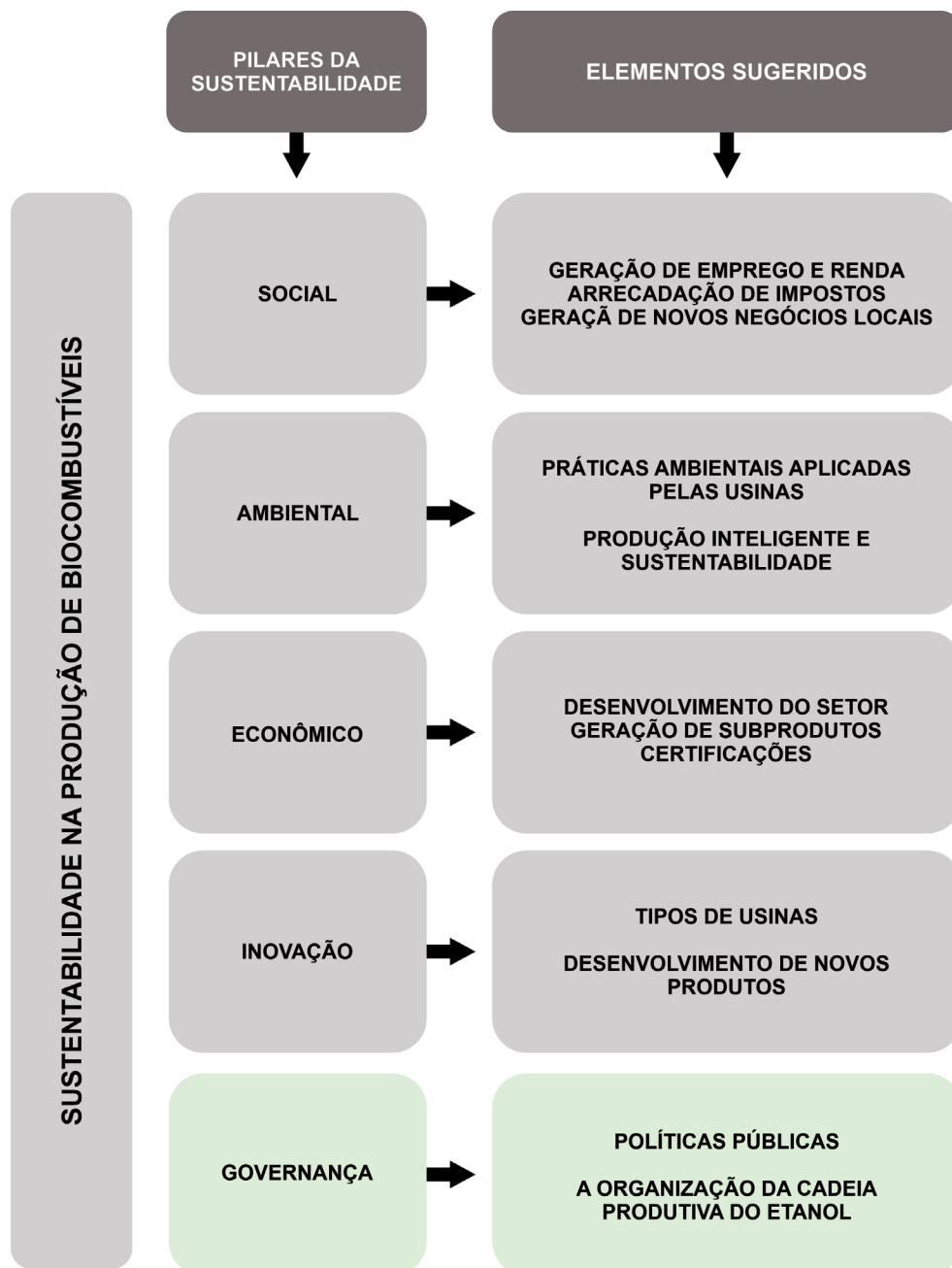
No pilar Econômico, Buzatto *et al.* (2013, p. 63) “[...] envolve a produção de bens como fonte de renda para empregados formais e informais, empresários e investidores aliada à alocação eficiente dos fatores de produção, como capital, trabalho, recursos naturais e conhecimento”. É a dimensão que se ocupa da eficiência dos processos produtivos e das alterações nas estruturas de consumo orientadas a uma reprodução econômica sustentável de longo prazo (IBGE, 2017). Na sustentabilidade discutida no sentido social, o enfoque é dado à presença do ser humano na ecosfera. Os meios usados com a finalidade de melhorar a qualidade de vida, o bem estar do ser humano e, também, a condição humana são fatores de extrema importância e causam grande preocupação. Deve-se conservar o capital social e humano e que o crescimento desse montante de capital deve resultar em dividendos. Entretanto, o conceito de bem-estar está longe de ser medido. A ideia de resultado financeiro é de extrema importância para as empresas, mas é apenas um pequeno fragmento no radar da sustentabilidade (BELLEN, 2016). Buzatto *et al.* (2013, p. 63) “[...] consiste no aspecto social relacionado às qualidades dos seres humanos (tanto no ambiente interno da empresa quanto o ambiente externo)” Para Stefano e Alberton (2018), o pilar ambiental encontra-se propenso a atrair maior atenção devido às agendas entre os países. Sendo assim, inúmeras organizações buscam a ecoeficiência visando à eficácia nas obrigações ambientais geração de valor aos acionistas, economia, contabilidade ambiental e a reforma tributária ecológica (Stefano & Alberton, 2018, p.120). Faria; Kniess; Maccari (2012, p. 229) “As organizações devem considerar o seu impacto no meio ambiente. [...]. Avaliação do uso de recursos renováveis e não renováveis, das emissões de gases, do uso de água e de terra, da geração de rejeitos”. Sachs (1993) apresenta o pilar ecológico, ou seja, ambiental e diz que se deve levar em consideração o uso racional dos recursos naturais ;o consumo de combustíveis fósseis, de recursos renováveis e não renováveis; reduzir o volume de resíduos e de poluição por meio da política 3R (reduzir, reutilizar, reciclar); intensificar a pesquisa para a obtenção de tecnologias de baixo teor de resíduos e eficientes no uso de recursos para o desenvolvimento urbano, rural e industrial; definir normas para uma adequada proteção ambiental.

Para que uma usina de etanol de milho seja considerada sustentável, é fundamental



que os pilares mencionados citados anteriormente estejam em equilíbrio e não apenas um ou outro. Espera-se que as mesmas apresentem também atitudes que relacionem a questão social e a proteção ao meio ambiente.

Com base na literatura, é proposto um framework que apresenta os pilares da sustentabilidade no que diz a respeito à gestão de práticas sustentáveis adotadas pelas usinas produtoras de etanol de milho no Brasil. Alcançam-se, assim, a descrição e a explicação do *framework*, considerada ainda em construção, conforme verificado na figura 10.



**Figura 10:** Os pilares da Sustentabilidade do Etanol de Milho Brasileiro

**Fonte:** Elaborado pela autora, 2023.

## **5 RESULTADO DA PESQUISA**

Neste capítulo são apresentados os resultados da aplicação do estudo de caso múltiplos. A investigação em diferentes usinas amplia as oportunidades de evidenciar práticas sustentáveis aplicadas pelas indústrias de etanol de milho full. Os dados levantados em cada caso são descritos. No final, a última seção traz a organização lógica e articulada do conjunto de informações, resultando em um framework teórico.

### **5.1 Apresentação dos Resultados de Casos**

Nesta seção serão apresentados os dados levantados em cada usina full de etanol de milho. O roteiro utilizado para as entrevistas, presente no Apêndice B e o Quadro 3 (matriz de consolidação do protocolo de pesquisa) serviram de orientação para conduta dos entrevistados, organização e apresentação dos resultados.

Antes de apresentar os resultados encontrados nesta pesquisa, é importante salientar que as empresas participantes são de pequeno, médio e grande porte, sendo que as de grande porte possuem mais de uma planta industrial no Brasil, atuam no mercado interno e exportam para diversos países da Europa. Estas indústrias /empresas recebem uma “certa pressão”, nos aspectos legais e mercadológicos para a utilização de rotinas que contemplem os pilares da sustentabilidade nos aspectos: ambiental, econômico, produção inteligente, desenvolvimento /governança e social; sendo que, por meio das certificações, determinam regras mais sustentáveis de produção. É importante destacar que estas certificações proporcionam um diferencial competitivo e abertura de novos mercados. As usinas trabalham com gestão integrada e atendem a legislação do setor entre outras legislações ambientais.

Em relação às práticas e estratégias identificadas no processo produtivo das usinas de etanol de milho full, a pesquisa evidenciou a adoção de uma série de estratégias e práticas sustentáveis como forma de minimizar os impactos de suas operações. As usinas possuem SGA consolidados, portanto, adotam práticas industriais como uma abordagem preventiva, conciliando os interesses produtivos, econômicos, ambientais e sociais.

No Quadro 07 são apresentadas as principais estratégias e práticas ambientais aplicadas nas 8 usinas do estudo de caso.

**Quadro 07** – Estratégias e Práticas ambientais aplicadas nos estudos de caso.

DIMENSÕES	Principais estratégias e práticas identificadas nos casos
Ambiental	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. A indústria utiliza a geração de energia limpa, por meio de recursos renováveis como, biomassa e o milho, para produção de etanol.</li> <li>2. Realiza redução de recursos hídricos, reutilizando a água no processo produtivo (sistema de circuito fechado, onde ela volta para o processo).</li> <li>3. Adota gestão atmosférica e qualidade do ar: controle de gases lançados pelas pontes fixas que são as caldeiras e na fermentação a produção de Co<sub>2</sub> que é monitorada pelos padrões de emissões atmosféricas CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente).</li> <li>4. Realiza programa de monitoramento de ruídos.</li> <li>5. Realiza programa de monitoramento de qualidade de águas superficiais, é feito análise laboratorial externa que deve ser apresentada ao órgão ambiental do estado.</li> <li>6. Adota sistema de contenções em toda área industrial.</li> <li>7. Toda área industrial é impermeabilizada.</li> <li>8. Utiliza prevenção com anéis de segurança para derrames e vazamento.</li> <li>9. Possui sistema de um programa de treinamento de ação rápida em caso de vazamentos PDCA.</li> <li>10. Os colaboradores recebem kit de emergência ambiental.</li> <li>11. Resíduos gerados pelas caldeiras, ou seja, as Cinzas, são utilizadas como biofertilizante.</li> <li>12. Seleção de fornecedores de matéria-prima, é realizado um cadastro para se tornar fornecedores/parceiro, em que são solicitados alguns documentos: inscrição estadual, Declaração do Funrural (Fundo de assistência ao trabalhador rural) do ano corrente com a devida opção de recolhimento e certidões negativas do IBAMA (Instituto Brasileiro do meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis).</li> <li>13. Adota <i>checklist</i> para cadastro de fornecedor de biomassa em que são solicitados documentos atualizados como: certidões negativas municipais, estaduais e federais, certificado de regularidade IBAMA; certidão negativa de embargo, certificado de cadastro de atividade florestal – CAF, entre outros</li> <li>14. O setor de meio ambiente está inserido em todos os processos, por meio do sistema de gestão ambiental, realizando diversos monitoramentos (água, ar e solo).</li> <li>15. Integração das questões ambientais e processos.</li> <li>16. Possui plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS).</li> <li>17. Utilizam os dispositivos ambientais para prevenir e mitigar os impactos que atividade gerada;( impactos ambientais são monitorados.</li> <li>18. Redução de níveis de emissões Co<sub>2</sub>.</li> <li>19. Atende a legislação municipal, estadual e federal.</li> </ol>
Inovação /Produção Inteligente	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. A empresa utiliza <i>Machine Learning</i>, ou seja, tudo é monitorado na produção por meio de computadores 24 horas.</li> <li>2. A produção não tem interferência humana.</li> <li>3. 3.Centro operacional Integrado (COI), local físico onde estão reunidas as equipes operacionais de uma usina de extração, tratamento de caldo, fábrica de etanol, fábrica de óleo, fábrica de ração, tratamento de água, geração de energia e equipamentos (onde tem painel de controle, acompanhamento instantâneo, em tempo real).</li> <li>4. A enzima tem grande importância na redução de custos de produção e maior eficiência e sustentabilidade do negócio.</li> <li>5. Os parceiros internacionais juntamente com as usinas que desenvolvem as enzimas, estão em constantes buscas por novas tecnologias.</li> </ol>

Econômica	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Na indústria de milho tudo se aproveita, gerando assim novos subprodutos, colocando em prática o conceito de economia circular.</li> <li>2. Utilização de biomassa para geração de calor.</li> <li>3. Resíduos de outras atividades que eram considerados passivos ambientais, são aproveitados como fontes renováveis. (exemplo: bagaço de cana, casca de arroz etc.).</li> <li>4. Desafio que a indústria encontra nas instalações de novas plantas industriais é a Biomassa.</li> <li>5. Em relação à ameaça que a indústria enfrenta está a compra antecipada de matéria-prima e o armazenamento.</li> </ol>
Políticas relacionadas ao desenvolvimento/Governança	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. A alta administração investe nas certificações, garantindo a qualidade dos processos.</li> <li>2. As certificações são vistas como uma oportunidade de novos mercados e um diferencial.</li> <li>3. As especificações para exportar de etanol são específicas, ou seja, um etanol hidratado especial “mais puro”, denominada padrão Coreia, também conhecido como H1, H2.</li> <li>4. Políticas de redução de impostos enfrentadas no Brasil recentemente, faz com que o mercado internacional seja mais atrativo</li> </ol>
Social	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Magnitude do investimento da indústria de etanol de milho, gera impacto gigantesco na cadeia.</li> <li>2. Geração de emprego direto e indireto.</li> <li>3. Fomento da economia local /desenvolvimento local</li> <li>4. Impostos são revertidos para a educação, saúde e qualidade de vida.</li> <li>5. Parcerias institucionais para formação da força de trabalho (ajuda de custo para graduação, pós-graduação e cursos de idiomas).</li> <li>6. Alianças estratégicas para a formação da força de trabalho.</li> <li>7. Projetos de ações sociais no município.</li> <li>8. Venda de etanol a preços acessíveis para a comunidade abastecer seus veículos na rede de postos do grupo.</li> </ol>

**Fonte:** Dados da pesquisa realizada pela autora (2023).

Após apresentar o conjunto das estratégias e práticas ambientais presentes nas usinas full de etanol de milho deste estudo, na sequência são analisados e discutidos os resultados encontrados, confrontando com a literatura pesquisada, com fins de obter subsídios para propor um *framework* teórico. Por fim, implicações acadêmicas e gerenciais são sugeridas.

## 5.2 Pilar Ambiental

Um conjunto de 19 práticas estão identificadas nas entrevistas, conforme quadro 07. Estas estratégias e práticas fazem parte das orientações para uma indústria mais limpa e ecoeficiente, De acordo com o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (Pnuma), as empresas devem adotar práticas industriais que mantenham a lucratividade do empreendimento sem perder de vista os cuidados com a sociedade e o meio ambiente, conforme práticas identificadas em nossa pesquisa.

Na dimensão ambiental, destacam como resposta das entrevistas realizadas com diretores, gerentes e encarregados que em primeiro lugar, as usinas produtoras de etanol de

milho, utilizam-se de energia limpa por meio de recursos renováveis como biomassa de bagaço de cana, cavaco de eucaliptos e caroço de algodão, materiais disponíveis na região.

O etanol é um combustível ecologicamente correto e energeticamente eficiente (GANGADHARA *et al.*,2016). Segundo o estudo de Omido *et al.*, (2015, p. 122), o etanol é considerado um ótimo biocombustível por ser biodegradável e renovável, podendo ser produzido vantajosamente a partir de biomassa.

Em relação ao processo industrial, busca-se aproveitar integralmente os grãos de milho, sendo que, além do etanol anidro e hidratado, produz o DDGS - fonte de energia e proteína de alto valor agregado para nutrição animal e o óleo de milho, ou seja, tudo se aproveita do grão de milho, criando novos subprodutos, destacando então a importância da economia circular.

Verificou-se na presente pesquisa que as usinas são autossuficientes na geração de energia elétrica, cujo excedente é destinado à rede. A economia circular utiliza o funcionamento dos ecossistemas como um exemplo para processos industriais, enfatizando a mudança para produtos ecologicamente saudáveis e energias renováveis (KOPNINA e BLEWITT, 2015). Quando se considera a relação entre o uso de recursos e resíduos de tal forma que o sistema circular passa a ser visto como um pré-requisito para a manutenção da sustentabilidade no planeta (GHISELLINI; CIALANI; ULGIATI,2016). Resíduos de milho utilizados para produção de etanol se transforma em insumos para alimentação animal (UDOP, 2022). A economia circular é a interligação da rede de negócios na transformação desses materiais e novos fluxos de receitas (AZEVEDO, 2015).

Observou-se que a área industrial das usinas de etanol de milho full, adotam controle de emissões atmosféricas das fontes fixas - chaminés das caldeiras, monitoramento periódico e sistemático das chaminés, visando reduzir as emissões de CO<sub>2</sub>. Esses controles são determinados em lei e são monitorados pelos padrões de emissões atmosféricas de acordo com CONAMA 382/2006 (Conselho Nacional do Meio Ambiente).

Identificou-se na pesquisa que em relação a águas e efluentes que as usinas procuram reduzir ao máximo o consumo de água em suas plantas industriais, bem como nos escritórios, utilizando efluentes para fertirrigação em jardins e consumo interno, sendo que a captação de água e o controle de efluentes são monitorados (Monitoramento da Qualidade das Águas Superficiais). As empresas utilizam água proveniente de poços artesianos, concedidos pela SEMA (Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Naturais do Mato Grosso) e IMASUL (Secretaria do Estado do Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul), monitorados por medidores de vazão. Todo o efluente gerado é encaminhado para um sistema de tratamento equipado

com medidores de vazão permitindo o total monitoramento. Análises mensais são realizadas em todas as etapas do sistema de tratamento, considerando diversos parâmetros, como Fósforo Total, Nitrogênio Total, Sólidos Totais, PH, DBO, Turbidez, entre outros. Além disso, anualmente, é realizado o monitoramento da qualidade do efluente final, seguindo os parâmetros estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 430.

Desta forma, verificou-se que na utilização dos recursos hídricos, a água é reaproveitada no processo industrial, ou seja, o sistema é fechado, as instalações industriais operam com tecnologia avançada de recirculação da água, o que resulta em um baixo consumo.

Existe uma preocupação por parte das usinas pesquisadas com o solo em caso de contaminação por produtos químicos, sendo que todas as áreas são impermeabilizadas. Há um procedimento de verificação diária nas indústrias, por meio de planilha de rotas ambientais que visam manter a qualidade do solo.

Destaca-se que a indústria utiliza de um sistema de contenções em todas as áreas industriais, com bombas que fazem a sucção, caso ocorra um vazamento ou derrame e anéis de segurança são utilizados.

Os colaboradores são treinados pelo PDCA, que é um procedimento de rapidez na ação. O PDCA é uma ferramenta de gestão de processos de melhoria contínua. Para as usinas pesquisadas é importante a utilização desta ferramenta, tornando o processo mais eficiente, fazendo de maneira simples, rápida e com menos custos, elevando a qualidade. A ferramenta de PDCA, também conhecida como ciclo de Deming ou ciclo de Shewhart, como ciclo aplicável ao processo da administração de qualidade, criado por Walter Shewhart, na década de 1930 e aperfeiçoado por Edwards Deming, na década de 1950, tem como objetivo principal controlar e melhorar os processos e produtos das empresas de forma contínua, atuando sem intervalos e sem interrupções (BEZERRA, 2014). Segundo os entrevistados, as usinas disponibilizam para as áreas o kit ambiental que contém em sua configuração absorventes no formato de mantas, cordões, travesseiros e turfa orgânica, capazes de efetuarem uma primeira resposta no local do acidente e possibilitar a contenção e absorção do líquido derramado, evitando que a contaminação do meio ambiente se espalhe. A utilização do kit de proteção ambiental é importante, pois ele diminuirá a incidência do produto derramado entrar em contato e poluir o solo e corpos d'água, preservando, assim, o meio ambiente.

Identificou-se que as indústrias adotam um Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS) no complexo industrial. A gestão ambiental está inserida em todos os

processos e estes são monitorados. Um exemplo prático é o armazenamento e a coleta de resíduos recicláveis por empresas licenciadas, assegurando o tratamento adequado e a redução do impacto ambiental.

Já os resíduos não recicláveis (resíduos sanitários, alimentos, madeira etc.), são encaminhados para aterros licenciados. Resíduos gerados pelas cinzas das caldeiras de biomassa são doados pelas usinas C, D, E e F, aos produtores locais. Estes as utilizam nas lavouras, porque melhoram a fertilidade do solo, favorecem o crescimento das plantas e aumentam a disponibilidade de nutriente.

Já as usinas A, B e H, no ano de 2023, implantaram uma nova tecnologia em que as cinzas são reaproveitadas em uma nova caldeira para cogeração de energia. Esta implantação se deve a preocupação do proprietário com a grande quantidade de resíduos de cinzas e a falta de agilidade nas doações. Para resolver tais problemas investiu-se em uma nova tecnologia que vem gerando lucro e pondo fim a este resíduo ambiental.

Em relação aos resíduos perigosos, são armazenados em baias específicas com acesso restrito e medidas de contenção, garantindo uma manipulação segura.

É importante ressaltar que todas as etapas do processo de gerenciamento de resíduos são acompanhadas por meio de emissão de nota fiscal e manifestos de transporte de resíduos (MTR), emitidos pela plataforma das unidades. A gestão é submetida ao Sistema Nacional de Informações, sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (SINIR) que, mensalmente, emite os certificados de destinação de resíduos, de acordo com a sua característica e destino.

Os achados da pesquisa corroboram quanto as exigências ambientais, tenta minimizar os impactos negativos gerados pelos resíduos decorrentes de processos industriais e se torna uma obrigação social e ambiental (ABREU, 2014). Evidenciou que as usinas buscam melhorias em seus processos e práticas ambientais, tanto para atender a legislação, quanto no aspecto social e econômico.

Em relação ao credenciamento de fornecedores de matéria-prima (milho e biomassa), os entrevistados responderam que os fornecedores devem atender os aspectos ambientais exigidos pelas usinas, sempre tendo o cuidado para não originar matéria-prima do campo de áreas oriundas que estejam dentro de regiões protegidas como: terras indígenas, unidades de conservação e quilombos ou áreas com embargos por desmatamento.

Os achados da pesquisa apontam que, para ser credenciado como fornecedor de matéria prima são solicitados alguns documentos como inscrição estadual atualizada (<http://www.sintegra.gov.br/>). Alguns casos, o cadastro poderá solicitar certidão genérica da inscrição estadual; declaração do Funrural do ano corrente, com a devida opção de

recolhimento. Exigível quando o recolhimento for em folha. (Se houver enviar assinada, se não houver, apresentar a posterior que será no ato da comercialização).

A matéria prima milho tem seu cultivo variado em função da época de chuva, produzindo, portanto, por um tempo menor. A safra principal ocorre durante o verão e a chamada safrinha, após o verão. A vantagem é que ele pode ser estocado em silos. (IMEA, 2019).

Na questão fornecimento de biomassa que é utilizado nas caldeiras, os entrevistados responderam que existem um *checklist*/documentos, que devem ser entregues pela empresa que pretende ser fornecedora de Biomassa. Entre eles: opção de recolhimento previdenciário (Funrursal/Senar); inscrição estadual certificados de débitos municipais; estaduais e federais; certidão de débitos do IBAMA; certidão negativa de embargo – IBAMA; certidão negativa de débitos no estado; certidão negativa de débitos trabalhistas-poder judiciário; certidão de regularidade IBAMA; certidão de cadastro de atividade florestal - CAF; autorização de supressão vegetal; corte e ou aproveitamento; Informativo de corte (reflorestamento); licença do picador florestal; cadastro ambiental rural (CAR); certificado de cadastro de imóvel rural - CCIR; certidão negativa de débitos de imposto sobre propriedade rural ; contrato de compra e venda de floresta, comodato e alvará de funcionamento-exercício do ano.

Neste sentido, informações obtidas junto aos pesquisados, apontam que as usinas de etanol de milho, atendem as leis ambientais estaduais, federais e municipais. Do mesmo modo, às licenças ambientais para operação de produção de etanol de milho e além da licença ambiental para transmissora de energia elétrica. Tornando-se evidente que possuem uma responsabilidade ambiental com seus parceiros, fornecedores de matéria-prima, devido todas estas exigências de aspectos ambientais que devem ser apresentadas á usina.

A presente pesquisa analisou o procedimento de cadastro de análise socioambiental de fornecedores de milho e de biomassa, sempre tendo o cuidado para não originar matéria-prima do campo (milho e biomassa), oriundas de áreas que estejam dentro de áreas que estejam protegidas como: terras indígenas, unidades de conservação e quilombos ou áreas com embargos por desmatamento.

Outras pesquisas até então realizadas, não abordam especificamente os procedimentos de análise de credenciamento de fornecedores de matéria-prima, com verificações de aspectos ambientais.

### **5.3 Pilar Inovação/Produção Inteligente**

No eixo da inovação e produção inteligente, foram identificadas 5 práticas que estão



presentes nas entrevistas, conforme quadro 07. Estas estratégias e práticas fazem parte das orientações para uma indústria mais eficiente e produtiva.

A adoção no novas tecnologias e inovação é apontada pelos entrevistados como um fator de sobrevivência do negócio, o investimento em novas tecnologias faz com que os processos sejam mais eficientes nas plantas industriais das usinas A, B, C, D, E, F, H sendo que todo o processo produtivo da indústria é automatizado, não tendo interferência humana. A tecnologia utilizada é a *Machine Learning*, que é uma área da inteligência artificial constituída por algoritmos que fornece aos computadores a capacidade de identificar padrões em dados massivos e fazer previsões, proporcionando resultados extremamente eficientes.

Os achados da pesquisa identificam que as usinas utilizam o monitoramento em todo o processo por meio do Centro Operacional Integrado (COI), local físico onde estão reunidas as equipes operacionais de uma usina. Exemplo: produção, caldeira, tratamento de água e geração de energia. Neste centro é onde encontram-se câmeras de controle de monitoramento 24 horas, em que todo o processo é registrado e relatórios são disponibilizados instantaneamente. Além disso, cada área possui monitores/ tela de computador para o operador acompanhar em tempo real o processo no local.

Segundo os entrevistados, as inovações tecnológicas, produtividade e enzimas são relevantes para a sustentabilidade, pois adicionam novas rotas metabólicas. Os desafios apontados segundo os respondentes, são os custos das enzimas, impactando no processo produtivo e enfatizam que as usinas e fornecedores estão em constante busca de novas tecnologias para que o negócio se sustente.

Em relação aos fornecedores de enzimas, é importante destacar que, são empresas estrangeira e que devido a importância do crescimento do setor de biocombustíveis de etanol de milho no Brasil, uma indústria de grande<sup>1</sup> porte é instalada para atender o mercado.

As enzimas são organismos unicelulares microscópicos utilizados para converter em álcool os açúcares produzidos no processo de produção do etanol. Elas ajudam a aumentar a produtividade e a extração de óleo de milho e elevar a eficiência da operação industrial (UDOP, 2022).

Identificou-se que no estudo de caso da unidade D, localizada no estado do Mato Grosso, encontra-se em processo de desenvolvimento de projeto de investimos em nova

---

<sup>1</sup> Instalou-se a primeira planta de leveduras no país, a Dinamarquesa Novozymes em Araucária (PR), a fim de atender à demanda crescente da indústria de **etanol** de milho da América do Sul, onde a empresa já tem uma fábrica de enzimas para nutrição animal, etanol e limpeza doméstica, a empresa produzirá levedura em forma de creme, que traz às usinas de etanol de milho vantagens em comparação às leveduras granulares. Informações obtidas no site disponibilizado em: <https://www.udop.com.br/noticia/2022/08/09/milho-etanol-novozymes-tera-sua-primeira-planta-de-leveduras-no-brasil-em-araucaria-pr.html>. Acessada em 01 de outubro de 2023.

tecnologias de descarbonização, com o projeto de captura e armazenagem de CO<sub>2</sub><sup>2</sup> - Bioenergia com Captura e Armazenamento de Carbono (BECCS) e Captura e Armazenamento e Utilização de Carbono (CCUS).<sup>3</sup>

#### 5.4 Pilar Econômico

No eixo do pilar econômico foram identificadas 5 práticas que estão descritas nas entrevistas, conforme quadro 07. Estas estratégicas e práticas fazem parte de uma indústria mais sustentável economicamente e ambientalmente. Segundo os entrevistados, o processo de transformação do grão do milho é 100% aproveitado, nada se perde, colocando em prática o conceito de economia circular. O processo de produção do etanol de milho integra uma cadeia econômica circular, onde todo o potencial do grão é transformado em bioenergia e alimento (UDOP, 2023).

Quando questionados em relação aos produtos, os respondentes afirmaram que o carro chefe é o etanol e em relação aos subprodutos têm os DDG, DDGS, óleo de milho e energia, ou seja, na indústria de milho nada se perde, tudo se aproveita criando novos subprodutos que são tão importantes quanto o etanol, gerando renda para a empresa e agregando valor aos produtos.

Os entrevistados destacaram que, para a produção do biocombustível é utilizado apenas o amido, assim, ao fim do ciclo industrial, proteínas e fibras são transformados em DDG (destinado à nutrição animal) e óleo, desta forma fomentando o desenvolvimento de outras atividades rurais, por exemplo, na indústria de aves.

Em relação aos desafios apresentados pelas indústrias de milho, os respondentes apontaram que, é a biomassa utilizada para geração de calor nas caldeiras, que muitas vezes a região não possui, impactando na abertura de novas indústrias em determinada região. A biomassa é uma fonte de energia renovável que utiliza meios orgânicos, como vegetais diversos, para a produção energética, por meio da queima.

Identificou-se na pesquisa a importância dos resíduos de outras atividades que

---

<sup>2</sup> As biorrefinarias de etanol com CCS (BECCS) produzem energia enquanto fazem a remoção de CO<sub>2</sub> da atmosfera, retirando permanentemente o CO<sub>2</sub> que foi previamente capturado pela matéria-prima do processo fermentativo (Informações obtidas no relatório de sustentabilidade 2022/2023 em <https://www.fs.agr.br/> acessado em 05 de setembro de 2023.

<sup>3</sup> O conceito BECCS reúne uma série de tecnologias consolidadas, desenvolvidas pela indústria do petróleo, da hidrogeologia e da geoquímica, para capturar, comprimir, desidratar e transportar o CO<sub>2</sub> gerado no processo de fermentação do milho, durante a produção do etanol, até um ponto de injeção no subsolo, onde o CO<sub>2</sub> vai ficar armazenado em segurança, em vez de ser liberado na atmosfera. Estas ações reduzem gastos ou perdas nos processos. Disponível em <https://www.fs.agr.br/> acessado em 05 de setembro de 2023.

poderiam ser considerados passivos ambientais e são aproveitados como fonte renovável para produção da energia nas caldeiras das usinas. É o caso do cavaco de eucalipto, bagaço de cana de açúcar, serragem de madeira, carroço de algodão entre outros.

Segue abaixo a imagem de biomassa de cavaco de eucalipto e bagaço de cana de açúcar em uma das usinas estudadas.



**Figura 11** - Biomassa de cavaco de eucalipto.

**Fonte:** Autora (2023), em uma das usinas estudadas.



**Figura 12** – Biomassa de bagaço de cana de açúcar.

**Foto:** Autora (2023) em uma das unidades estudadas.

## 5.5 Políticas Relacionadas ao Desenvolvimento/Governança

No que se refere-se ao eixo desenvolvimento e governança, um conjunto de 05

práticas está identificado nas entrevistas, conforme quadro 07. Estas estratégias e práticas fazem parte de uma indústria mais arrojada e preparada para o mercado internacional.

A presente pesquisa identifica que as políticas nacionais e internacionais contribuem para abertura de novos negócios, pois fazem com que tenham equipes qualificadas, preparadas para buscar novas oportunidades.

Os entrevistados apontam que as certificações são bem vistas aos olhos da empresa para diferenciação no mercado, sendo um investimento que abre portas para o mercado nacional e internacional.

Quando questionados sobre barreiras para ingressar no mercado internacional, os respondentes afirmam que o processo foi tranquilo, porque estavam com uma equipe de colaboradores especialistas dando suporte necessário nesta empreitada de ingresso ao mercado internacional e que aguardavam por esta oportunidade no mercado.

Atualmente as usinas pesquisadas possuem as seguintes certificações: SGI (sistema de gestão integrada;); ISO:9000:2015; Halal (leva em conta a origem da matéria-prima e insumos usados na fabricação e todo o processo industrial); Kosher, BEA – Bem estar animal; Câmara Árabe e RenovaBio.

Quanto à questão ambiental é possível identificar um posicionamento dos grandes grupos que buscam exportar os seus produtos. Neste aspecto, busca-se compreender a vertente da amplitude de certificações dos grupos pesquisados. Para isso, foi realizado um levantamento, verificando aquelas que contribuem e os específicos de cada usina, sendo importante destacar que identificamos usinas que não têm certificações ou não divulgaram em seus sites, sendo seus dados apresentados no quadro 08.

**Quadro 08:** Certificações apresentadas pelos grupos de usinas full de etanol de milho no Brasil pesquisadas em 2023.

Certificações	Caso A	Caso B	Caso C	Caso D	Caso E	Caso F	Caso G	Caso H
ISO:9001:2015	X	X	-	-	-	-	-	X
RenovaBio	X	X	X	X	-	-	-	X
Halal	X	X	X	X	-	-	-	X
Kosher	X	X	X	X	-	-	-	X
BEA – Bem-Estar Animal	X	X	-	-	-	-	-	X
Member ArabeBrazilian Chamber of Commerce	X	X	-	-	-	-	-	X
Climate Bonds Initiative (CBI)	-	-	X	X	-	-	-	-
I-REC Standard	-	-	X	X	-	-	-	-
GMP+	-	-	X	X	-	-	-	-

**Fonte:** Elaborada pela autora com base no site das usinas, 2023.

A Nota de Eficiência Econômica Ambiental (NEEA) refere-se a cada usina, à economia de emissão de GEE (carbono equivalente) de etanol anidro ou hidratado em relação à emissão de gasolina, e o volume elegível refere-se ao percentual de biomassa processada passível para certificação nas condições do programa (ANP, 2020e).

Em relação às políticas públicas, os entrevistados comentaram que com o caso da redução de impostos dos combustíveis que enfrentaram recentemente, o mercado externo de etanol ficou mais atrativo, porém para exportar o álcool /etanol tem que ser um álcool mais puro denominado “Korea B”, também conhecido como H1, H2, ou seja, com características específicas e que o mercado internacional é uma boa possibilidade de mercado para não ficar muito preso ao mercado interno. No momento estão trabalhando nesta perspectiva destes mercados, mas ressalta que tem muito campo no mercado interno.

Identificou-se na pesquisa, que no estudo de caso da usina E, que é uma empresa de médio porte, não tem interesse no mercado externo neste momento, devido à burocracia e além de altos investimentos com as certificações, segundo os relatos, o mercado interno tem muitas oportunidades e a prioridade é abastecer a região Centro Oeste e Norte do país, consolidando-se no mercado.

Os achados da pesquisa identificam que os grandes grupos e que possuem equipes qualificadas com expertise no mercado internacional, dando suporte para obtenção das certificações e conseqüentemente abrindo novos mercados entre eles para o mercado internacional.

## **5.6 Pilar Social**

No que se refere-se ao tema um conjunto de 08 práticas está identificado nas entrevistas, conforme quadro 07. Estas estratégias e práticas fazem parte de uma indústria que investe em pessoas e na sociedade.

Os respondentes da pesquisa afirmaram que, em relação à questão social, que quando uma indústria de tal porte é instalada no município o impacto é “gigante” na cadeia, uma vez que impostos são investidos na região nas áreas de educação e saúde. Sendo que milhões são investido no local, gerando emprego e renda diretos e indiretos. Por exemplo, abertura de novos restaurantes, aluguéis de imóveis, criação de emprego, fazendo com que a renda gire no município, ou seja, os impostos podem promover o desenvolvimento social, do empreendedorismo, distribuição de renda e melhoras na inserção social das cidades onde a planta industrial da usina é instalada.

Quando questionados sobre o que as usinas proporcionam para a população, os respondentes das usinas A, B e H informaram que comercializam o etanol de milho que produzem em seus postos de combustível da própria rede, com preços mais acessíveis no município.

As demais usinas, inclusive A, B e H, oferecem incentivo na área de educação para os colaboradores em Universidades e escolas de idiomas, qualificação interna para os colaboradores, projetos de voluntariado, fazem ações sociais (patrocínios de eventos), reformando escolas e bibliotecas no município e parcerias com Senai, qualificando as pessoas da comunidade.

Evidenciou-se que a prioridade é desenvolver a mão de obra local, com cursos de capacitação, proporcionando oportunidade de emprego para as pessoas que residem na região das usinas, conseqüentemente, gerando emprego e renda para a população e desta forma o município se desenvolve.

## **5.7 Desafios Encontrados nas Práticas de Sustentabilidade**

Durante as entrevistas, aos serem questionados sobre os desafios e ameaças que a usina tem enfrentado em relação à gestão ambiental, os entrevistados construíram narrativas que apontam para a falta de biomassa na região para instalação de novas plantas industriais de usinas. E também apontam a disponibilidade de silos para armazenar o milho, uma vez que as usinas necessitam de uma grande quantidade de estoque para manterem-se ao longo da entre safra, uma vez que esta indústria irá produzir 360 dias do ano.

Os entrevistados apontaram no pilar econômico, que armazenamento e compra antecipada de milho e biomassa é visto como grandes desafios.

Os grupos de maior porte das usinas do estudo de caso, vem atuando com transporte multimodal que são elas, A, B, C, D, e H - investindo em vagões e locomotivas para distribuição do etanol pelo modal ferroviário, reduzindo a emissão de CO<sub>2</sub>. Milhões de litros de etanol são exportados para países da União Europeia e Japão com a certificação EU RED, buscando um transporte mais eficiente, seguro e econômico, afirmam os entrevistados.

Outro ponto que destacaram, é a falta de mão de obra especializada, motivo que procuram capacitar as pessoas da região, mas mesmo assim ainda vem mão de obra de várias regiões do país. Os desafios causados por fatores internos, podem ser solucionados com esforço da alta administração, dependendo do esforço para alcançar uma gestão eficiente de práticas sustentável nas usinas full de etanol de milho. Já os fatores externos, independem das

ações empresariais, estão sujeitas às ações governamentais relacionadas às questões regulatórias e burocrática; questões comportamentais dos consumidores, barreiras de mercado, questões de distância geográficas. O quadro 09 a seguir, apresenta o agrupamento das ameaças identificadas.

**Quadro 09** - Agrupamento das ameaças identificadas na pesquisa.

Fatores Externos – Ameaças	Fatores Internos
Questões regulatórias (impostos; nova legislação)	Silos para armazenagem de matéria-prima
Mercado (preço e disponibilidade)	Custos com enzimas
Biomassa (escassez, busca constante de fornecedores)	Inovação (busca constante)
Matéria-prima (busca de novos fornecedores, ameaças climáticas)	Tecnologia
Mão de obra (escassez de mão de obra qualificada)	
Fornecedores de enzimas (dependência de poucos fornecedores estrangeiros)	

**Fonte:** Elaborado pela autora (2023).

Apesar das ameaças identificadas nas entrevistas, os respondentes ressaltam benefícios econômicos, ambientais, sociais e criação de valor na cadeia.

## 5.8 Framework - Diretrizes para Aprimoramento de Práticas Ambientais Sustentáveis

A figura 13 descreve os norteadores para aprimoramento de práticas ambientais sustentáveis e seus pilares em usinas produtoras de etanol de milho é alavancada por um conjunto de práticas que foram identificadas na literatura e confirmados nos estudos de casos, tais como: a produção do etanol de milho se diferencia dos demais países pela utilização do milho de segunda safra (o grão é cultivado após a produção, principalmente, de soja) e "Não há qualquer tipo de competição entre biocombustíveis e alimentos"; economia circular é adotada pelas usinas gerando novos subprodutos utilização de biomassa na geração de energia; parceria entre empresas estrangeiras desenvolvedoras de enzimas; colaboração com instituições de ensino e SENAI para capacitar a mão de obra do local onde as usinas são implantadas fomentando a economia local; uso de novas tecnologias como *Machine Learning* e indústria 4.0. As usinas focam na questão de sustentabilidade, por exemplo, credenciando fornecedores de matéria-prima (milho e biomassa). Os fornecedores devem atender aos aspectos ambientais exigidos pelas usinas, tendo o cuidado para não originar matéria-prima de áreas oriundas de áreas protegidas como terras indígenas, unidades de conservação e quilombos

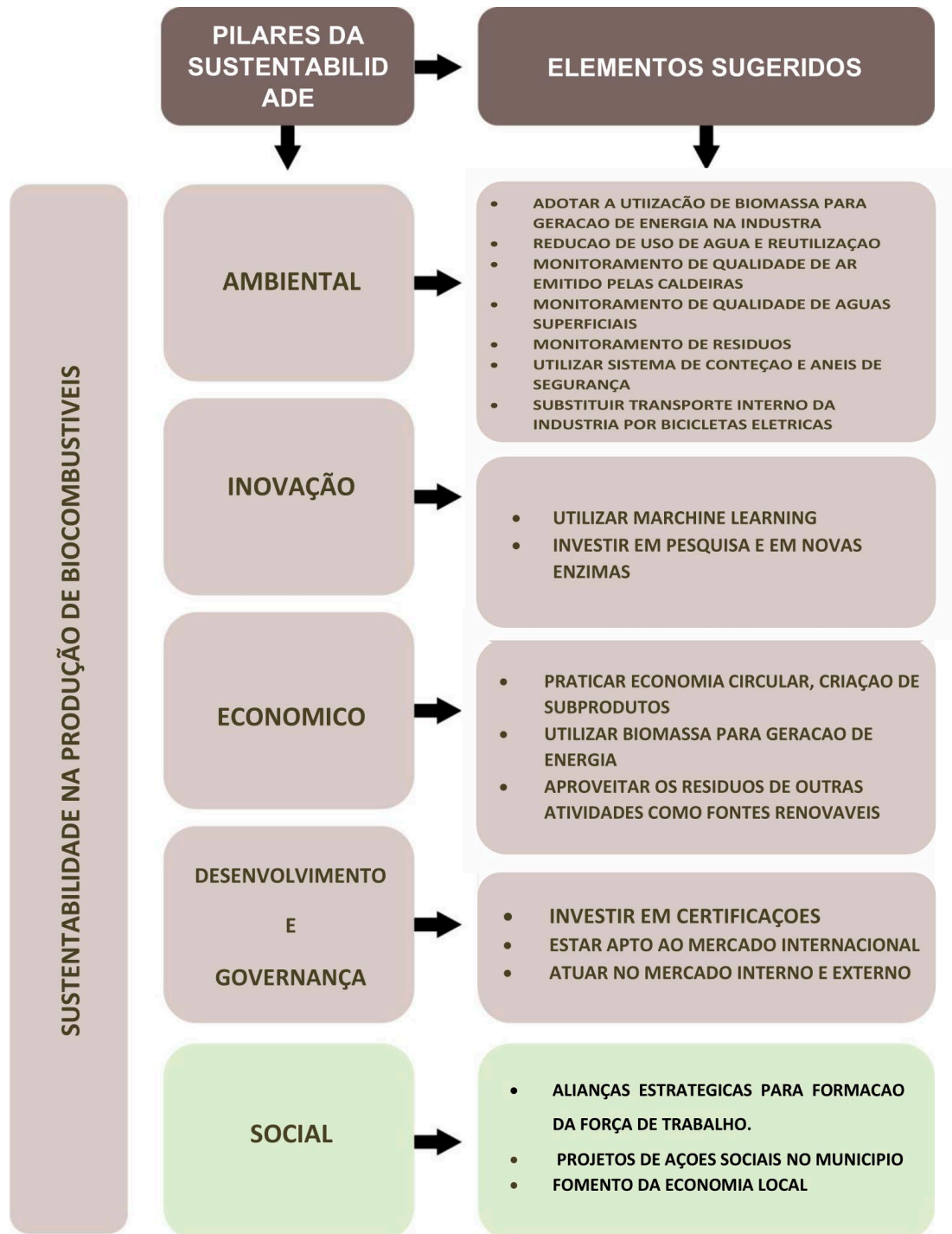
ou áreas com embargos por desmatamento.

A inovação nos processos está adotada ao modelo de negócio circular praticado pelas usinas. As estratégias para aprimoramento de práticas sustentáveis como a economia circular na criação de novos produtos, redução de água e reaproveitamento de água nos processos, minimização na geração de resíduos, foco no uso de energias renováveis, sempre integrando as questões de sustentabilidade nos processos, bem como a preocupação em reduzir as emissões de CO<sub>2</sub>.

O *framework* da figura 13, em conjunto com as diretrizes propostas, poderá auxiliar as usinas produtoras de etanol de milho full no processo de aprimoramento de práticas ambientais dentro dos pilares da sustentabilidade, gerando melhores resultados para as usinas que investem em economia circular, biomassa, tecnologia, certificações e desenvolvimento social, sendo uma estratégia empresarial para problemas ambientais, sociais e econômicos. Segue abaixo figura 13, *framework* – diretrizes para aprimoramento de práticas ambientais em usinas Full de etanol de milho.



Framework – Diretrizes para aprimoramento de práticas ambientais em usinas Full de etanol de milho.



**Figura 13:** Os pilares da Sustentabilidade e diretrizes de práticas ambientais para usinas full de etanol de milho brasileiro. Fonte: elaborado pela autora (2023).

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo possibilitou a elaboração de um conjunto de diretrizes, com objetivo de orientar as usinas full de etanol de milho brasileiras, para uma gestão de aprimoramento de práticas sustentáveis. São diretrizes para o fortalecimento do ecossistema, economia circular, gerenciamento de resíduos, tecnologia e inovação e políticas de desenvolvimento social. Sendo essa contribuição originada de lacunas identificadas na literatura que apontaram haver poucas evidências empíricas sobre quais as estratégias, práticas e elementos como os que estão sendo utilizados no contexto brasileiro.

O referencial teórico desta tese serviu para fundamentar o entendimento amplo do tema e a análise de gestão de aprimoramento de aplicação de práticas sustentáveis em usinas de etanol de milho full, apoiando os procedimentos de campo e o exame dos achados de pesquisa. Este capítulo do trabalho oferece uma visão de desdobramento do que está sendo praticado na área de estudo, enriquecendo o conhecimento sobre práticas ambientais realizada pelas usinas de etanol de milho.

Com estudos de caso múltiplo, explorando 8 organizações de amostra específica de usinas instaladas na região centro oeste do Brasil, foi possível identificar pontos convergentes e desafios na gestão de práticas ambientais sustentáveis, aplicadas pelas usinas de etanol de milho. O fato permitiu atingir os objetivos intermediários da pesquisa, verificar e analisar os procedimentos aplicados pelas usinas produtoras de etanol de milho no Brasil. Este é um resultados expressivo do trabalho ilustrando desafios gerenciais de práticas ambientais aplicadas pelas usinas.

O estudo ainda entregou um framework teórico alusivo à sustentabilidade na produção de etanol de milho para a gestão de práticas sustentáveis, cumprindo o terceiro objetivo específico da tese. A estrutura avança sobre aprimoramento de aplicação de práticas sustentáveis nas usinas produtoras de etanol de milho no Brasil, colabora com a geração de *insights* em acadêmicos e gerenciais.

Conclui-se que, apesar dos progressos da pesquisa é importante expressar o quanto o assunto não foi esgotado e que alguns caminhos podem ser reconsiderados em outros estudos. Na próxima seção são colocadas as limitações inerentes ao trabalho e os norteadores para futuras pesquisas.

## 6.1 Contribuições Acadêmicas

Este estudo avançou no conhecimento com contribuições acadêmicas para a literatura de aprimoramento de práticas ambientais em usinas de etanol de milho full, a partir de levantamentos de revisão de literatura, os procedimentos internos de gestão de práticas ambientais adotadas em usinas do contexto brasileiro. Contribui-se desta maneira, para suprir a carência de informações empíricas de como está acontecendo as práticas ambientais adotadas pelas usinas. Neste contexto, este estudo busca contribuir com a teoria a partir dos seguintes tópicos:

a) **Pilar Ambiental:** A pesquisa confirmou que as usinas de etanol de milho full estão internalizando os princípios economia de práticas ambientais sustentáveis nos processos internos de forma a torna-los mais ecoeficientes. A indústria utiliza a geração de energia limpa, através de recursos renováveis como biomassa e o milho para produção de etanol, sendo que o grão de milho é totalmente aproveitado gerando produtos e subprodutos de valor agregado. A pesquisa aponta sobre economia circular as usinas de etanol de milho full estão tendo resultados positivos e vantagem competitiva, devido aos ganhos ambientais e ganho financeiro com a adoção de tais práticas.

b) **Pilar Inovação:** As usinas utilizam-se de *Machine Learning*, ou seja, tudo é monitorado na produção através de computadores 24 horas, melhorando resultados econômicos e ambientais, reduzindo desperdícios nos processos. Simon afirmou que os processamentos de aprendizado de máquina tinham como objetivo gerar modelos preditivos a partir de dados históricos, ou seja, criar modelos treinados através de algoritmos com grandes conjuntos de dados alcançando assim resultados extremamente eficientes (SIMON, 2013 *apud* GAMA, *et al*, 2017). Em relação às enzimas, que são organismos unicelulares microscópicos utilizados para converter em álcool os açúcares produzidos no processo de produção do etanol. Elas ajudam a aumentar a produtividade e a extração de óleo de milho e elevar a eficiência da operação industrial (UDOP, 2022).

A pesquisa empírica conformou que a inovação, adoção em novas tecnologias a colaboração com redes colaborativas, universidades, parceiros, fornecedores e stakeholders são elementos chaves para a inovação.

c) **Pilar Econômico:** O estudo confirma que na indústria de milho tudo se aproveita, gerando assim novos subprodutos, colocando em prática conceito de economia circular. Além da utilização de biomassa para geração de calor das caldeiras, gerando energia que é utilizado pelas usinas e o excedente é vendido na rede. Atividades que eram

considerados passivos ambientais, são aproveitados como fontes renováveis, exemplo, (bagaço de cana de açúcar, casa de arroz, caroço de algodão entre outros),

d) **Pilar Desenvolvimento e Governança:** As usinas investem nas certificações, garantindo a qualidade dos processos, bem como melhorar o resultado financeiro, conquistando novos mercado internacionais.

e) **Pilar social:** o estudo confirmou que as usinas pesquisadas investem em pessoas e no desenvolvimento local, capacitando as pessoas por meio de cursos com parcerias entre SENAI e universidades. A prioridade é contratar a mão de obra da região, fomentando a economia local.

## 6.2 Contribuições Gerenciais

Gestores de usinas de etanol de milho full, podem fazer uso das recomendações enunciadas no trabalho. Este conjunto de orientações e diretrizes contribuem para aprimorar práticas gerenciais sustentáveis. O entendimento deste tema tem sido muito debatido na academia, mas ainda é complexo na prática e no cotidiano das usinas. Desta maneira, as usinas que querem prosseguir aprimorando aplicação de práticas sustentáveis, precisam investir e implementar uma série de práticas sustentáveis em seus processos produtivos como forma de minimizar o impacto de suas operações, como: economia circular, minimizar a geração de resíduos, controle e monitoramento das emissões atmosféricas das fontes fixas das chaminés das caldeiras, reduzir o consumo de água e reaproveita-la, utilizar energias renováveis, busca de novas tecnologias, investimentos em novas enzimas.

Quanto a inovação, as usinas devem criar valor a partir de resíduos, subprodutos da matéria-prima do milho, investindo em tecnologia e em novas enzimas. O biocombustível de segunda geração tem custo mais barato com utilização de tecnologias (BHUIYA, *et al.* 2016). As novas tecnologias de informação permitem que as empresas obtenham vantagem competitiva com iniciativas e práticas de economia circular (AGYEMANG *et al.*, 2019).

Outra contribuição gerencial é adoção de práticas de estratégias de economia circular, são capazes de viabilizar alcance dos objetivos da agenda 2030 da ONU, objetivos para o desenvolvimento sustentável (ODS), cooperando para um desenvolvimento sustentável onde a usina opera, assegurando os padrões sustentáveis de produção e consumo, mitigando os impactos.

Destaca-se que as usinas de etanol de milho de grande porte, possuem mais recursos financeiros para reestruturar os modais de transporte na logística de distribuição e que as

usinas de pequeno e de médio porte ainda não têm, por isso que há maiores desafios nesta questão. Grandes grupos investem na compra de vagões e locomotivas em projeto multimodal. As usinas fazem parcerias com as malhas ferroviárias, no caso a Rumo logística, para escoamento de etanol de milho, ampliando a distribuição por trilhos reduzindo assim as emissões de CO<sub>2</sub>. O etanol de milho percorre de trem os trechos entre Rondonópolis (MT) à Paulinea (SP), uma distância de aproximadamente 1,2 mil km rumo as distribuidoras.

Nota-se que neste contexto adoção de práticas sustentáveis é algo cada vez mais estratégico no mundo corporativo, o transporte ferroviário ganha espaço entre empresas com objetivos de reduzir seu impacto ambiental, otimizando os custos logísticos, proporcionando maior segurança ao transporte e na entrega aos clientes com modais mais eficientes e ecológicos.

Evidenciou-se que o mercado de etanol de milho é mais arrojado que as tradicionais usinas de cana de açúcar, trazendo ideias, projetos inovadores e disruptivos, criando novos produtos, agregando valor e otimizando ainda mais a indústria.

No Brasil, a produção do etanol de milho se diferencia dos demais países pela utilização do milho de segunda safra. O grão é cultivado após a produção, principalmente, de soja. "Não há qualquer tipo de competição entre biocombustíveis e alimentos e, sim, um processo de soma", afirmou o vice-presidente executivo de Sustentabilidade & Novos Negócios da FS, Daniel Lopes (ÚNICA, 2023).

### **6.3 Limitações e Sugestões de Pesquisas Futuras**

Este estudo apresenta algumas limitações. A primeira refere-se ao número de entrevistados por usina (entre 2 ou 3), cargo de diretor, gerente e encarregado da área de produção e área ambiental. Embora algumas conclusões valiosas tenham sido extraídas, há limitações na abrangência das discussões e opiniões de aspectos relevantes nas práticas ambientais das usinas de etanol de milho full.

A maior dificuldade foi conseguir agendar entrevistas com diretores e gerentes. No entendimento deles, as práticas sustentáveis adotadas pelas usinas são estratégicas e o que pode ser divulgado encontra-se no relatório de sustentabilidade das usinas, disponível para consulta pública.

Para condução de trabalhos futuros, sugere-se o uso do *framework* e aplicação das diretrizes para usinas que almejem adotar práticas sustentáveis.

Outra sugestão para futuros trabalhos, é replicação desta investigação em usinas de

outros países, os quais informem seus relatórios de sustentabilidade e quais práticas são adotadas por elas, fazendo um comparativo com as usinas brasileiras.

## REFERÊNCIAS

- ABNT, NBR ISO 14040: gestão ambiental: **avaliação do ciclo de vida princípios e estrutura**. Rio de Janeiro, 2001.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Compêndio de Estudos Conab. v. 1**. Brasília, 2016.
- ABREU, F. V. **Avaliação do gerenciamento de resíduos sólidos na agroindústria do algodão branco**: o caso de uma indústria têxtil de cajazeiras – PB. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Campina Grande. Pombal, PB, 2014.
- AGYEMANG, M. *et al.* **Drivers and barriers to circular economy implementation: an explorative study in Parkistan’s automotive industry**. *Management Decision*, [s..I],v.57.n.4,p.971-994. Disponível em: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/MD-11-2018-1178/full/html> Acesso em 17 de setembro de 2023.
- AHMED, W. *et al.* Synergic effect of reworking for imperfect quality items with the integration of multi-period delay-in-payment and partial backordering in global supply chains. **Engineering** 7 (2), 260–271. 2021.
- ALHADDI, H. Triple bottom line and sustainability: a literature review. **Business and Management Studies**. v. 1, n. 2; Sept. 2015.
- ALVES-MAZZOTTI, A. J. Usos e abusos dos estudos de caso. **Cadernos de Pesquisa**, v. 36, n. 129, p. 637–651, 2006.
- ANFAVEA. Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos. **Anuário da Indústria Automobilística Brasileira 2017**. São Paulo: ANFAVEA, 2017.
- ANP. **Levantamento de preços**. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, Rio de Janeiro. Acesso em 23 jan. 2021, disponível em <https://www.gov.br/anp/ptbr>. 2021b
- \_\_\_\_\_. Agência Nacional do Petróleo, Gás e Biocombustíveis (2020e). **Certificações**. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/renovabio/certificacoes-em-andamento>. Acesso Set. 2022.
- \_\_\_\_\_. Agência Nacional do Petróleo, Gás e Biocombustíveis. **Boletim do Etanol n 09/2017**. Fev. Superintendência de Refino, Processamento de Gás Natural e Produção de Biocombustíveis, SRP. 2017<sup>a</sup>.
- ANTUNES, S. L. **Inclusão de novos coprodutos derivados do processo de produção de etanol de milho em dietas de terminação de bovinos**. Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba. 2020.
- ARSHAD, M; ABBAS, M; IQBAL, Munawar. Ethanol production from molasses: Environmental and socioeconomic prospects in Pakistan: Feasibility and economic analysis.

**Environmental Technology & Innovation**, v. 14, p. 100317, 2019.

ASSUMPCÃO, A. L. *et al.* Indicadores de sustentabilidade, definidos no padrão de produção bônucro de usinas sucroenergéticas do estado de São Paulo visando o mercado Europeu/Indicators of sustainability, defined in the standard of production bônucro of sugarcane plants of the state of São Paulo aiming at the European market. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 8, p. 11634-11654, 2019.

AZEVEDO, J. L. A Economia Circular aplicada no Brasil: uma análise a partir dos instrumentos legais existentes para a logística reversa. In: **Congresso Nacional de Excelência em Gestão**. 2015. Disponível em: [http://www.inovarse.org/sites/default/files/T\\_15\\_036M.pdf](http://www.inovarse.org/sites/default/files/T_15_036M.pdf). Acesso em: 12 jun. 2022.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (BRASIL). CE DE GESTÃO E ESOS ESTRATÉGICOS. **Bioetanol de cana-de-açúcar**: energia para o desenvolvimento sustentável. 1 ed. Rio de Janeiro: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2008. 314 p. ISBN 9788587545244 Renewable Fuels Association (2020). Focus forward: 2020 ethanol industry outlook. Ellisville: RFA.

BARDIN, L. **2Análise de conteúdo**. São Paulo: Edições 70. 2011.

BELLEN, H. M. **Indicadores de sustentabilidade**: Uma análise comparativa. 2. Ed. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2016.

BELLOTE, A. F. J. **Energia limpa e acessível. Biomassa e sua participação na matriz energética brasileira**, Brasil, p. 1-11, 10 jul. 2019. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1103388/1/5008.pdf>. Acesso em: 28 setembro. 2023.

BEZERRA, F. **Ciclo PDCA**: Conceito e aplicação. 2014. Disponível em: <http://www.portal-administracao.com/2014/08/ciclo-pdca-conceito-e-aplicacao.html>. Acesso em novembro de 2022.

BHUIYA, M. M. K. *et al.* Prospects of 2nd generation biodiesel as a sustainable fuel—Part: 1 selection of feedstocks, oil extraction techniques and conversion technologies. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 55, p. 1109-1128, 2016.

BIESENTHAL, C; WILDEN, R. Multi-level project governance: Trends and opportunities. **International Journal of Project Management**, v. 32, n. 8, p. 1291– 1308, 2014.

BIOFUELS DIGEST. **The Digest's Biofuels Mandates Around the World**. 2019.

BNDES - BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. **Bioetanol de cana-de-açúcar**: energia para o desenvolvimento Sustentável. Rio de Janeiro: BNDES; CGEE, 2008. 316 p.

BONASSA, G. *et al.* Subprodutos gerados na produção de bioetanol: bagaço, torta de filtro, água de lavagem e palhagem. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, 4 (3), 144-166. 2015.



BONSUCRO. Disponível em <<http://cert-id.com.br/certification/bsi-better-sugar-cane-initiative/>>. Acessado em: 6 nov. 2022a

\_\_\_\_\_. **Padrão de Produção Bonsucro**, Bonsucro EU – Versão3.0, março de 2011. Disponível em <[www.bonsucro.com](http://www.bonsucro.com)>. Acessado em 06 novembro.2022b.

BUZATTO, T. R. B. *et al.* Responsabilidade socioambiental empresarial (RSE): um estudo de caso de uma microempresa do segmento têxtil/confecção. **Revista Metropolitana de Sustentabilidade – RMS**, v. 3, n. 2, p. 59-77, 2013.

BRASIL. **Lei N. 13.576, de dezembro de 2017**. Política Nacional de Biocombustíveis. Brasília, DF, dez. 2017.

\_\_\_\_\_. **Lei nº 13.033 de 24 de setembro de 2014**. Adição obrigatória ao óleo ao diesel. Disponível em: Base Legislação da Presidência da República - Lei nº 13.033 de 24 de setembro de 2014) L13033 ([planalto.gov.br](http://planalto.gov.br)). Acesso Maio de 2022.

\_\_\_\_\_. **Lei nº 13.576, de 26 de dezembro de 2017**. Dispõe sobre a Política Nacional de Biocombustíveis. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2015-2018/2017/Lei/L13576.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2017/Lei/L13576.htm). Acesso Maio de 2022.

BRYMAN, A. Of methods and methodology qualitative research in organizations and management. **An International Journal**, v.3, n. 2, p.159-168, 2008.

CLUSTERS DE ETANOL DE MILHO EM MATO GROSSO (Instituto Mato-grossense de Economia Agropecuária - IMEA, 2017).

COSTA FILHO, D. V. *et al.* Aproveitamento de resíduos agroindustriais na elaboração de subprodutos. In: **II Congresso Internacional das Ciências Agrárias COINTER-PDV Agro 2017**. ISSN: 2526-7701. Oral. João Pessoa: Pernambuco, 2017, p. 1–8, 2017.

COLLIS, J; HUSSEY, R. **Pesquisa em Administração**. 2ª. Ed. Ed. Bookman, São Paulo, 2005.

COLLOTTA, M. *et al.* Critical indicators of sustainability for biofuels: An analysis through a life cycle sustainability assessment perspective. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 115, n. October 2018, p. 109358, 2019.

COMMISSION REGULATION (EU) No 1307/2014 on defining the criteria and geographic ranges of highly biodiverse grassland for the purposes of Article 7b(3)(c) of Directive 98/70/EC of the European Parliament and of the Council relating to the quality of petrol and diesel fuels and Article 17(3)(c) of Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council on the promotion of the use of energy from renewable sources. 8 December 2014a.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Séries Históricas**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/serie-historica-dassafras?start=20>. Acesso em: 26 de novembro de 2022.

\_\_\_\_\_. Companhia Nacional de Abastecimento. **Séries históricas de área plantada**,

**produtividade e produção.** Disponível em: de <http://www.CONAB.gov.br/conteudos.php?t2&a=1252&filtrar=1&f=1&p=111165&e=0&d=0&m=0&s=0&ac=0&tps=0&lvs=0&l=0&ed=0&i=>. Acesso em: 26 de novembro de 2022.

\_\_\_\_\_. Tabela de Levantamento - **Boletim de Grãos de 10/09/20**. 2020b. Disponível em: Acesso em: 7 maio. 2022.

CR OMIDO, SL. *et al.* **Teor de água em etanol hidratado combustível medido por uma câmara fototérmica com transdutor transparente Combustível**, 157, pp. 122-125. 2015.

DAIOGLOU, V. *et al.* Integrated assessment of biomass supply and demand in climate change mitigation scenarios. **Global Environ. Change** 54, 88e101. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2018.11.012>.

DE MASSISI, A; KOTLHAR, J. The case study method in Family business research: Guidelines for qualitative scholarship. **Jornal of Family Business Strategy**, v. 5, n. 1, p. 15-29, 2014.

DE SOUZA, V. C. *et al.* **Utilização das tecnologias da indústria 4.0 na manutenção preditiva através do monitoramento de equipamentos e instalações / Use of industry 4.0 technologies in predictive maintenance through monitoring equipment and facilities.** Brazilian Journal of Development, [S. l.], v. 8, n. 1, p. 7063–7083, 2022. DOI: 10.34117/bjdv8n1-478. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/43302>. Acesso em: 1 oct. 2023. Disponível em: <https://somensmilhoes.com/cadeia-do-etanol-de-milho/>. Acessado em 05 dezembro de 2022.

DISPONÍVEL EM: <[https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Publicacoesarquivos/publicacao-489/Analise\\_de\\_Conjuntura\\_Ano\\_2019.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Publicacoesarquivos/publicacao-489/Analise_de_Conjuntura_Ano_2019.pdf)>. Acessado em março de 2022.

DISPONÍVEL EM: <<https://www.raizen.com.br/etanol>>. Acessado em 13/11/2022.

DISPONÍVEL EM: <<https://www.udop.com.br/noticia/2022/05/30/a-expansao-do-etanol-de-milho-deve-chegar-a-10-bilhoes-de-l-no-brasil.html>>. Acessado em 05 de dezembro de 2022.

DISPONÍVEL EM: <https://unica.com.br/noticias/etanol-de-milho-amplia-competitividade-do-biocombustivel/> Acessado em 10 outubro de 2023.

DONKE, A. C. G. *et al.* Environmental and energy performance of ethanol production from the integration of sugarcane, corn, and grain sorghum in a multipurpose plant. **Resources**, v.6, 2017

ECKERT, C. T. *et al.* Maize ethanol production in Brazil: characteristics and perspectives. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. 82, 3907-3912. 10.1016/j.rser.2017.10.082. 2018.

EIA. **International Energy Outlook 2019 with projections to 2050**. 2019. Disponível em: International Energy Outlook 2019 (eia.gov). Acesso em març. de 2022.

EISENHARDT, K. M; GRAEBNER, M. E. Theory building from cases: Opportunities and challenges. **Academy of Management Journal**, v. 50, n. 1, p. 25– 32, 2007.

EISENHARDT, K.M. Building theories from case study research. **Academy of Management Review**, v.14, n.4, p.532-550, 1989.

ELLRAM, L. M. The use of the case study method in logistics research. **Journal of Business Logistics**, v. 17, n. 2, p. 93–138, 1996.

EPE - Energy Research Company (Empresa de Pesquisa Energética), 2018. **Plano decenal de Expansão de Energia 2026**. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoesdados-abertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-pde> acessado em: 12 junho de 2022.

\_\_\_\_\_. **Cenários de Oferta de Etanol e Demanda do Ciclo Otto: 2020-2030**. 2019b.

EU. COUNCIL- COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION. Proposal for a directive of the european parliament and of the council on the promotion of the use of energy from renewable sources (recast). **Brussels**, 21 June 2018.

FARIA, R. C; KNISS, C. T; MACCARI, E. A. Sustentabilidade em grandes usinas hidrelétricas. **Revista de Gestão e Projetos – GeP**, v. 3, n. 1, p. 225-251, 2012.

FAO - **Food and Agriculture Organization data: production: crops**. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Acesso. junho de 2022.

FERRACIOLI, K. G. **O papel das certificações ambientais no setor sucroalcooleiro do Estado de São Paulo**. Dissertação de Mestrado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – USP. Piracicaba, SP, 2013.

FERRACIOLI, P. **Do GATT à OMC: a Regulação do Comércio Internacional**. 2011. Disponível em: <http://www.cepal.org/dmaah/noticias/paginas/9/28579/OMCna.pdf>. Acesso em dezembro de 2022.

FGV. Biocombustíveis. **FGV Energia**, relatório de sustentabilidade. agosto 2017.ano 4. n 8. ISSN 2358-5277. Disponível em: <https://www.fs.agr.br/>. Acesso em: 10 de out. 2023.

GANGADHARA, R. PRASAD, N. Estudos de Otimização da transesterificação de certos óleos para produção de biodiesel. **Química Indt.2** (2016), págs.59-69.

GAMA, ANA L. F. **O uso de Machine Learning na implementação de manutenção preditiva em usinas termelétricas**. Rio de Janeiro, 2017.

GHISELLINI, P; CIALANI, C; ULGIATI, S. A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. **Journal of Cleaner Production**. 2016.

GNANSOUNOU, E.*et al.* Life cycle assessment of biofuels: energy and greenhouse gas balances. **Bioresource Technology**, New York, v. 100, p. 4919–4930, 2009.

GULISANO, G. *et al.* Evaluating the environmental, economic, and social sustainability of agro-food systems through life cycle approaches. In: **Sustainable Food Systems from Agriculture to Industry**. Academic Press, 2018.

GOLDEMBERG, J. **Ethanol for a sustainable energy future**. Science, New York, v.315, n..5813. p.808-810, fev. 2007.

GRASSI, M. C. B., & PEREIRA, G. A. G. Energy-cane and RenovaBio: Brazilian vectors to boost the development of Biofuels. **Industrial crops and products**, 129, 201-205. 2019.

GRIPPA, MARIO J. C. **Planta Flex no Mato Grosso**. Orientador: Prof. Dr. João Padilha Júnior. 2012. 63 p. Trabalho de Conclusão Curso (Pós-Graduação MBA - Gestão do Agronegócio) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/44422/R%20-%20E%20-%20MARIO%20JOSE%20CACHO%20GRIPPA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 12 set. 2019.

HAPUTTA, PIYANON *et al.* Sustainability analysis of bioethanol promotion in Thailand using a cost-benefit approach. **Journal of Cleaner Production**, v. 251, p. 119756, 2020.

HINGSAMER, M.; JUNGMEIER, G. **Biorefineries, the Role of Bioener B gy in the Emerging Bioeconomy: Resources, Technologies, Sustainability and Policy**. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813056-8.00005-4>. 2018.

HUANG, C.-K., *et al.* An integrated inventory model involving manufacturing setup cost reduction in compound Poisson process. **Int. J. Prod. Res.** 49 (4), 1219–1228. <http://dx.doi.org/10.1080/00207541003610270>. 2011.

IBGE. **Indicadores de desenvolvimento sustentável – IDS. 2017**. Disponível em: Acesso em 01 de março de 2023.

IMEA. **Clusters de Etanol de Milho em Mato Grosso**. IMEA - Instituto Mato-grossense de Economia Agropecuária. 2017

\_\_\_\_\_. **Indicadores do Milho**. 2020. Disponível em: <https://www.imea.com.br/imea-site/indicador-milho>. Acesso em:07 maio de 2022.

IPCC. **Global Warming of 1.5°C**. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels. In Press, 2018.

ISMAIL, M; ROSSI, A; GEIGER, N. **A Compilation of Bioenergy Sustainability Initiatives: Update**. Rome: Food and Agriculture Organization of the UN (FAO). 2011a. Disponível em: <http://www.fao.org/energy/befs/compilation/en/>. Acesso em dezembro de 2022.

J. POPP, Z. *et al.* “The effect of bioenergy expansion: Food, energy, and environment”. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** 32, p. 559–578. 2014.

JARDINE, J. G; PERES, M; DISPATO I. Indicações de aspecto tecnológico sobre o bioetanol de matéria-prima amilácea. In. **Documento 94**. Campinas, SP :Embrapa Informática

Agropecuária, 2009, 23 p.

KHATIWADA, D. *et al.* **Accounting greenhouse gas emissions in the lifecycle of Brazilian sugarcane bioethanol: methodological references in European and American regulations.** *Energy Policy*, 47, 384-397, 2012. (doi 10.1016/j.enpol.2012.05.005)

KLOSS, E.C. **Transformação do etanol em commodity: perspectivas para uma ação diplomática brasileira.** Brasília: Fundação Alexandre de Gusmão, 2012.

KOHLHEPP, G. Análise da situação da produção de etanol e biodiesel no Brasil. **Estudos Avançados**, v.24, p.223-253, 2010.

KOPNINA, H; BLEWITT, J. *Sustainable business: key issues.* Routledge, Oxon. KORHONEN, J.; NUUR, C.; FELDMANN, A.; BIRKIE, S.E. Circular economy as an essentially contested concept. **Journal of Cleaner Production**. 175 (2018) 544 e 552.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Metodologia do trabalho científico: projetos de pesquisa, pesquisa bibliográfica, teses de doutorado, dissertações de mestrado, trabalhos de conclusão de curso.** 8. ed. – São Paulo: Atlas, 2017.

\_\_\_\_\_. **Lei n. 12.305, de 12 de agosto de 2010:** Que estabelece a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Disponível em: 17 de fevereiro de 2023.

LEITE, R. C. C; LEAL, M. R. L. V. **O biocombustível no Brasil.** CEBRAP, 2007.

LEWIS, M. W. Iterative triangulation: a theory development process using existing case studies. **Journal of Operations Management**, v. 16, n. 4, p. 455–469, 1998.

MANOCHIO, C. *et al.* Ethanol from biomass: A comparative overview. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 80, p. 743-755, 2017.

MACEDO, I. C. **Geração de energia elétrica a partir de biomassa no Brasil: situação atual, oportunidades e desenvolvimento** Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. Disponível em: . Acesso em: 17 de fevereiro de 2023.

MARTINS, G. A. Estudo De Caso: Uma Reflexão Sobre a Aplicabilidade Em Pesquisas No Brasil. RCO – **Revista de Contabilidade e Organizações - FEARP/USP**, v.2, n. 2, p. 8-18, 2008.

MELO, J. A.S. **Inovação tecnológica de óleos vegetais como vetor energético no Brasil.** Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável) – Universidade de Brasília, Brasília, DF. 2019.

MILANEZ, A. T. *et al.* Produção de etanol pela integração do milho-safrinha às usinas de cana-de-açúcar: avaliação ambiental, econômica e sugestões de política. **Rev. do BNDES**, v. 41, p. 147-208, 2014.

MING, W. *et al.* Green machining: a framework for optimization of cutting parameters to minimize energy consumption and exhaust emissions during electrical discharge machining of Al 6061 and SKD 11. **J. Clean. Prod.** 285, 124889.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124889>

MMA. Ministério Meio Ambiente (BR) (2015). **Acordo de Paris** – iNDC brasileira. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/acordo-de-paris>. Acesso em 10 junho 2022.

MME, A. Nota Explicativa sobre a Proposta de Criação da Política Nacional de Biocombustíveis. **Minister of Mining and Energy**, 2017.

\_\_\_\_\_. Ministério de Minas e Energia. **RenovaBio**. Disponível em:<http://www.mme.gov.br/web/guest/secretarias/petroleo-gas-natural-e-combustiveis-renovaveis/programas/renovabio/principal>>>. Acesso em: 12 de maio de 2022. 2018b.

MORAES, B. S; ZAIAT, M; BONOMI, A. Anaerobic digestion of vinasse from sugarcane ethanol production in Brazil: Challenges and perspectives. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 2.v. 44, p. 888–903, 2015. Disponível em: Acesso em: 05 dezembro 2020

MOREIRA, M. R. *et al.* Socio-environmental and land-use impacts of double-cropped maize ethanol in Brazil. **Nature Sustainability**, v.8, 2020.

MUMTAZ, M. W. *et al.* Transesterificação biocatalítica do óleo de Euruca sativa para produção de biodiesel. **Biocatal. Agrícola. Biotecnologia.**, 5 , págs.162-167. 2016.

NEVES, M. F. *et al.* **Etanol de Milho**: Cenário atual e perspectivas para a cadeia no Brasil. Ribeirão Preto SP: UNEM, 2021.

NOGUEIRA, C. E. C. *et al.* Exploring possibilities of energy insertion from vinasse biogas in the energy matrix of Paraná State, Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 48, p. 300–305, 2015. Disponível em: . Acesso em: 05 dezembro. 2022.

NOH, H. M; BENITO, A; ALONSO, G. **Study of the Current Incentive Rules and Mechanisms to Promote Biofuel use in the EU and their Possible Application to the Civil Aviation Sector**. Transportation Research Part D: Transport and Environment, v. 46, p. 298-316, 2016.

NOVAES, E. N. **Responsabilidade Social e abertura de capitais**: uma descrição dentro do complexo agroindustrial canavieiro do Brasil. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Programa de Engenharia de Produção da Universidade Federal de São Carlos, São Carlos. 2009.

NOVATO, M; LACERDA, M. I. RenovaBio—towards a new national biofuel policy and a truly sustainable world. **Innov Energy Res**, v. 6, n. 2, p. 164, 2017.

PALACIO, J.C.E. *et al.* Exergy and environmental analysis of a polygeneration system of alcohol industry. **Waste Biomass Valoriz.** 16. <https://doi.org/10.1007/s12649-018-0509-1>. 2018.

PEREIRA, W; de PAULA, N. As Políticas Públicas Federais de Fomento ao Etanol de Segunda Geração no Brasil e Estados Unidos: Uma Análise Comparativa. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, v. 13, n. 3, p. 140-163, 2017.

PERO, M; MORETTO, A., BOTTANI, E. & BIGLIARDI, B. **Environmental collaboration for sustainability in the construction industry**: an exploratory study in: Italy, Sustainability, 9 (1), p. 1-25. 2017.

RAJALA, R.; WESTERLUND, M; LAMPIKOSKI, T. Environmental sustainability in industrial manufacturing: Re-examining the greening of Interface's business model. **Journal of Cleaner Production**, v. 115, p. 52–61, 2016.

REN21, 2018. **Renewables 2018**: global status report, 978-3-9818107-0-7. Renewable Fuels Association (2020). Focus forward: 2020 ethanol industry outlook. Ellisville: RFA

RFA. RENEWABLE FUELS ASSOCIATION. 2019 **Ethanol Industry Outlook**. Disponível em: <<https://ethanolrfa.org/wp-content/uploads/2019/02/RFA2019Outlook.pdf>>. Acessado em março de 2022.

\_\_\_\_\_. Renewable Fuels Association. **Ethanol industry outlook**. 2020b. Disponível em: <<https://ethanolrfa.org/wp-content/uploads/2020/02/2020-Outlook-Final-Website.pdf>>. Acessado em: 10 março de 2022.

RIGO, D. *et al.* GT Produção Microbiológica de Enzimas: uma Revisão/Produção Microbiológica de Enzimas: uma Revisão. **Revista Brasileira de Desenvolvimento**, [S. l.] , v. 1, pág. 9232–9254, 2021. DOI: 10.34117/bjdv7n1-624. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/23661>. Acesso em: 1 out. 2023.

RODRIGUES, A. M. *et al.* Gestão ambiental no setor sucroenergético: uma análise comparativa. **Revista Produção Online**, v.14, n. 4, p. 1481-1510, out./dez. 2014. Disponível em: <https://producaoonline.org.br/rpo/article/view/1717>. Acessado em 11 dezembro.2022.

RODRIGUES, L. S. *et al.* Gerenciamento de resíduos sólidos agrossilvipastoris e agroindustriais. **Cadernos Técnicos de Veterinária e Zootecnia** (Cadernos Técnicos da Escola de Veterinária da UFMG), n. 68, 2013.

ROSSETO, *et al.* **Panorama do etanol do Brasil**. II Seminário de Engenharia de Energia na Agricultura, v.6, n 5, p. 13-22, 2017.

SACHS, I. **Estratégias de transição para o século XXI**: desenvolvimento e meio ambiente. São Paulo: Studio Nobel e Fundação de Desenvolvimento Administrativo (Fundap). 1993.

SANTOS, J. G. C. *et al.* Innovation and socio-environmental sustainability: a comparative study of Brazilian and European firms. **Revista de Administração da UFSM**, v. 12, n. 5, p. 995-1012, 2019.

SARAVANAN, A.P; PUGAZHENDHI, A; MATHIMANI, T. **A comprehensive assessment of biofuel policies in the BRICS nations: implementation, blending target and gaps**. Fuel 272, 117635. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.117635>. 2020.

SARKAR, B; SANA, S.S; CHAUDHURI, K. An imperfect production process for time varying demand with inflation and time value of money—an emq model. **Expert Syst. Appl.** 38 (11), 13543–13548. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2011.04.044>. 2011.

SAVITZ, A. W; WEBER, K. **A empresa sustentável: o verdadeiro sucesso é o lucro com responsabilidade social e ambiental.** Rio de Janeiro: Elsevier. 2007.

SEVERINO. A. J. **Metodologia do Trabalho Científico.** 24. ed. São Paulo: Cortez. 2016.

SEVERO, E. A; DE GUIMARÃES, J. C. F; MORAIS, L. A sustentabilidade ambiental na perspectiva das gerações do sul do Brasil. **Revista Eletrônica de Estratégia & Negócios**, v. 12, n. 2, p. 85-112, 2020.

SIAMIG – **Associações das indústrias sucroenergéticas de Minas Gerais.** O continente do etanol. Disponível em: < <http://www.siaming.com.br/noticias/o-continente-do-etanol>> Acessado em :10 maio 2022.2018d

SINGH, J. Management of the agricultural biomass on decentralized basis for producing sustainable power in India. **J. Clean. Prod.** 142, 3985–4000. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.056>. 2017.

SNPAA. **Site Institucional.** 2020. Disponível em: < <https://www.alcool-bioethanol.net/en/>>. Acesso em: 21 jun. 2022.

SOUZA, G. M; VICTORIA, R. I; JOLY, C. A; VERDADE, L. M.(ed). **Bioenergy&Sustainability: bridging the gaps.** Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE). São Paulo, 2015.

SOUZA, J. P. E; ALVES, J. M. Lean-integrated management system: A model for sustainability improvement. **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v. 172, p. 2667-2682, 2018.

STEFANO, S. R; ALBERTON, A. Alinhamento entre Estratégia da Organização e Competências para Sustentabilidade: Proposição de um Modelo para Análise. **Revista Capital Científico**, 16(4), 117-130. 2018.

UBRABIO - União Brasileira de Biodiesel e Bioquerosene. **Nos Estados Unidos, biodiesel é utilizado em misturas que vão de 2% a 100%.** Abril de 2016. Disponível em: [http://www.ubrablo.com.br/1891/noticias/nosestadosunidosbiodieseleutilizadoemmisturasque\\_vao\\_258074/](http://www.ubrablo.com.br/1891/noticias/nosestadosunidosbiodieseleutilizadoemmisturasque_vao_258074/)> Acessado em : 7 de junho de 2022.

UDOP. União dos Produtores de Bioenergia. **Consulta de Usinas e Destilarias no Mundo.** 2020. Disponível em: <https://www.udop.com.br/index.php?item=unidades>. Acesso em: 12junho. 2020.

\_\_\_\_\_. União dos Produtores de Bioenergia. **Expansão do etanol de milho.** Disponível em: <https://www.udop.com.br/noticia/2022/05/30/a-expansao-do-etanol-de-milho-deve-chegar-a-10-bilhoes-de-l-no-brasil.html>. Acessado em 18 de setembro de 2023.

\_\_\_\_\_. União dos Produtores de Bioenergia. **Expansão do etanol de milho.** Disponível em: <https://www.udop.com.br/noticia/2023/04/24/fim-dos-combustiveis-fosseis-saiba-como-sera-a-gasolina-do-futuro.html>. Acessado em 18 de setembro de 2023.

\_\_\_\_\_. União dos Produtores de Bioenergia. **Milho/etanol: Novozymes terá sua primeira**



planta de leveduras no Brasil. Disponível em:  
<https://www.udop.com.br/noticia/2022/08/09/milho-etanol-novozymes-tera-sua-primeira-planta-de-leveduras-no-brasil-em-araucaria-pr.html>. Acessado em 01 de outubro de 2023.

\_\_\_\_\_. União dos Produtores de Bioenergia  
<https://www.udop.com.br/noticia/2023/05/22/etanol-de-milho-amplia-competitividade-do-biocombustivel.html>. Acessado em 01 de outubro de 2023.

\_\_\_\_\_. União dos Produtores de Bioenergia  
<https://www.udop.com.br/noticia/2022/08/09/milho-etanol-novozymes-tera-sua-primeira-planta-de-leveduras-no-brasil-em-araucaria-pr.h>

ULLAH, M. *et al.* Ramification of remanufacturing in a sustainable three-echelon closed-loop supply chain management for returnable products. **J. Clean. Prod.** 290, 125609.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125609>. 2021.

UNEM, União Nacional do Etanol de Milho. 2020. Disponível em:  
<http://www.etanoldemilho.com.br/catrgory/noticias>.

\_\_\_\_\_, União Nacional do Etanol de Milho. **Desafios do etanol de milho no Mato Grosso e no Brasil**. 2018. Disponível em: <https://www.novacana.com/n/eventos/ricardo-tomczyk-unem-desafios-etanolmilho-mato-grosso-brasil-030719>. Acesso em: 20 março de 2022.

\_\_\_\_\_, União Nacional do Etanol de Milho. **Cenários e perspectivas para etanol de milho**. Cuiabá, 2020

UNFCCC - United Nations Framework Convention on Climate Change. **The Paris Agreement and NDCs**. 2015. Disponível em: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/nationally-determined-contributions-ndcs>. Acesso em 15 março de 2022.

UNIÃO EUROPEIA. **Directiva 2009/28/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de abril de 2009**. Relativa à promoção da utilização de energia proveniente de fontes renováveis que altera e subsequentemente revoga as Directivas 2001/77/CE e 2003/30/CE (europa.eu). Acesso em: maio de 2022.

UNICA. União da Indústria de Cana-de-Açúcar. **Região Centro-Sul: avaliação da safra 2019/2020 e expectativas**. Disponível em: <https://unica.com.br/setor-sucroenergetico/etanol/> Acesso em: 10 junho de 2022.

\_\_\_\_\_. União Nacional dos produtores de cana (2022). Combustível etanol do presente e do futuro da mobilidade sustentável. Disponível em: <https://unica.com.br/setor-sucroenergetico/etanol/> Acesso em: 10 junho de 2022.

VON BLOTTNITZ, H; CURRAN, M. A. A review of assessments conducted on bio-ethanol as a transportation fuel from a net energy, greenhouse gas, and environmental life cycle perspective. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 15, n. 7, p. 607-619, 2007.

VOSS, C; TSIKRIKTSIS, N; FROHLICH, M. Case research in operations management. **International Journal Of Operations & Production Management**, v. 22, n. 2, 2002, p. 195-219.

YIN, R. K. **Case Study Research: Design and Methods**. 5. ed. [s.l.] SAGE Publications, 2013.

\_\_\_\_\_. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 3 ed., Porto Alegre: Bookman, 2005.

ZARRINPOOR, N; KHANI, A. Designing a sustainable biofuel supply chain by considering carbon policies: a case study in Iran. **Energy, Sustainability and Society**, v. 11, p. 1-22, 2021.

# APÊNDICE

## **APÊNDICE A - CERTIFICAÇÕES DAS USINAS PESQUISADAS DE ETANOL DE MILHO FULL**

### **Halal**

Exigida por países que seguem as leis islâmicas, possui alto nível de exigência e rastreabilidade dos insumos utilizados, a fim de evitar contaminantes no produto final. O Halal leva em conta a origem da matéria-prima e insumos usados na fabricação e todo o processo industrial. A produção precisa seguir as Boas Práticas de Fabricação (BPF) e Segurança dos Alimentos, de modo a garantir um produto de alta qualidade e seguro para consumo, de acordo com as rigorosas regras de sanidade e rastreabilidade da comunidade muçulmana.

### **BEA – Bem-Estar Animal**

Dentre os requisitos para a certificação a empresa precisa garantir que o produto tenha registro no órgão competente, neste caso o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa); possua laboratório de controle de qualidade; realize análises que garantam as especificações do produto; garanta a correta armazenagem e conservação dos produtos; padronize o trabalho da equipe de produção por meio de treinamentos em boas práticas de fabricação e garanta a rastreabilidade dos produtos desde a matéria-prima até a entrega ao canal de venda ou ao cliente; além de questões técnicas relacionadas aos produtos auditados.

### **Climate Bonds Initiative (CBI)**

O CBI é uma organização internacional sem fins lucrativos que avalia projetos e ativos sustentáveis. Neste caso, trata-se de uma certificação programática, que sinaliza que a empresa está apta a emitir títulos verdes (Green Bonds) para financiar seus projetos com o selo da CBI de forma recorrente.

### **GMP+**

Maior certificado internacional para alimentação animal, exigido por mais de 50

países, que garante a segurança alimentar dos produtos produzidos, com base no HACCP (Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle).

### **I-REC Standard**

O sistema global de rastreamento de atributos ambientais de energia criou os RECs como forma de comprovar que a energia foi gerada a partir de fontes renováveis.

### **Global Reporting Initiative**

A Global Reporting Initiative é uma organização internacional que ajuda empresas a compreender e comunicar o impacto dos negócios em questões críticas de sustentabilidade

### **Kosher**

A palavra Kosher significa adequado ou correto, de acordo com a cultura Judaica, seguindo regras descritas no Torá (o livro sagrado dos judeus). As regras foram criadas em busca de uma alimentação mais pura e que nutra o corpo e a alma.

### **Member Câmara Árabe**

Quando uma negociação é bem sucedida, o importador árabe e o exportador brasileiro precisam de segurança e garantia. A usina é certificada para exportação aos países árabes, atestando a procedência dos produtos e o cumprimento das normas de origem e as exigências do importador árabe.

### **RenovaBio**

É a nova Política Nacional de Biocombustíveis, cujo objetivo é a expansão da produção de biocombustíveis na matriz energética brasileira.

### **ISO: 9001:2015**

A sigla ISO refere-se à Internacional Organization for Standardization, que em

português significa Organização Internacional para Padronização. Trata-se de uma instituição não governamental que estabelece padrões de referências para as empresas de diversos segmentos, a fim de garantir qualidade e agilidade nos processos e, conseqüentemente, segurança e satisfação aos clientes.

**Fonte:** Dados obtidos nos sites das usinas pesquisadas

## APÊNDICE B – MATRIZ DE CONSOLIDAÇÃO DE PESQUISA, QUESTÕES ORIENTADORAS

Matriz de consolidação do protocolo de pesquisa, questões orientadoras.

<b>Dimensões</b>	<b>Questão principal</b>	<b>Questões Orientadoras</b>
<b>Ambiental</b>	Quais práticas ambientais aplicadas no setor produtivo e como ocorre o monitoramento?	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Quais as práticas ambientais sustentáveis aplicadas no processo produtivo?</li> <li>- Como ocorre o monitoramento dos procedimentos?</li> <li>- Quais são os desafios relacionados aos aspectos ambientais e como a empresa vem tratando-os?</li> <li>- Qual a sua contribuição/ impacto da operação, considerando a dimensão ambiental? (Explicar como ocorre e porquê?)</li> </ul>
<b>Produção Inteligente</b>	Quais são as inovações tecnológicas relevantes para a produtividade e sustentabilidade?	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Quais são as inovações tecnológicas relevantes para a produtividade e sustentabilidade?</li> <li>- Como impacta na operação e quais os desafios que apresentam. (Exemplo melhoria genética. Automação entre outros).</li> </ul>
<b>Econômico</b>	Como a economia circular está presente na operação e quais as ameaças e desafios para manter a operação?	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Como a economia circular está presente na operação? Há redução de insumos, o reuso de resíduos, geração de subprodutos)</li> <li>- Devido à empresa necessitar de grandes volumes para sua operação, quais as ameaças e desafios para manter esta operação?</li> </ul>
<b>Políticas Relacionadas ao desenvolvimento sustentável</b>	Como as políticas nacionais e internacionais relacionadas ao desenvolvimento sustentável afetam o desenvolvimento do negócio?	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Como as políticas nacionais e internacionais relacionadas ao desenvolvimento sustentável afetam o desenvolvimento do negócio (certificações). Ex.: países árabes (selos)</li> <li>- Quais são as barreiras enfrentadas?</li> </ul>
<b>Social</b>	Quais são as estratégias e práticas que promovem impacto social?	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Quais são as estratégias e práticas que promovem impacto social? (Ex.: impostos, geração de emprego, capacitação de pessoal).</li> <li>- Quais são os desafios sociais decorrentes das novas tecnologias e de modo de operação e como veem sendo trabalhados?</li> </ul>

Fonte: Elaborada pela autora