

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO  
ESCOLA DE QUÍMICA

**Lorena Rodrigues Campos**



PANORAMA DOS MARCOS REGULATÓRIOS DO ETANOL NO  
BRASIL E NO MUNDO E SEUS IMPACTOS NO MERCADO

RIO DE JANEIRO

2024

Lorena Rodrigues Campos

PANORAMA DOS MARCOS REGULATÓRIOS DO ETANOL NO BRASIL E NO MUNDO  
E SEUS IMPACTOS NO MERCADO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Engenheiro de Bioprocessos.

Orientador(es): Elcio Ribeiro Borges e Maria Antonieta Peixoto Gimenes Couto.

Rio de Janeiro

2024

Gerar a página da ficha catalográfica em <http://fichacatalografica.sibi.ufrj.br/> e substituir esta página por ela, no documento final.

Se o documento vier a ser impresso, esta página deverá ser impressa no verso da anterior (folha de rosto).

Lorena Rodrigues Campos

PANORAMA DOS MARCOS REGULATÓRIOS DO ETANOL NO BRASIL E NO MUNDO  
E SEUS IMPACTOS NO MERCADO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Escola de Química da Universidade Federal do  
Rio de Janeiro, como parte dos requisitos  
necessários à obtenção do grau de Engenheiro de  
Bioprocessos.

Aprovado em 17 de Dezembro de 2024.

---

Elcio Ribeiro Borges, D.Sc., UFRJ

---

Maria Antonieta Peixoto Gimenes Couto, D.Sc., UFRJ

---

Estevão Freire, D.Sc., UFRJ

---

Daniel Tinôco Campos Neto, D.Sc., UERJ

Rio de Janeiro  
2024

*Este trabalho é dedicado à minha mãe,  
que me deu força e me incentivou a estudar em dias difíceis.*

## **AGRADECIMENTOS**

**LORENA RODRIGUES CAMPOS**

Gostaria de agradecer primeiramente a minha mãe, Angela, por todo suporte, ensinamento e exemplo. Ao meu pai, Anderson, e minhas irmãs, Jéssica e Anna Beatriz, e minha tia Juçara, por todo apoio, lealdade e cumplicidade. À toda minha família, por me apresentar o amor e o respeito. Muito obrigada pelas experiências, pela educação, pelas oportunidades, por acreditarem em mim e estarem sempre me incentivando a buscar minha felicidade. Eu amo vocês.

Também gostaria de agradecer aos meus amigos, do Santo Agostinho, da faculdade e da vida, tenho certeza que não seria quem sou sem a presença deles. Em especial gostaria de agradecer aos que estiveram sempre ao meu lado, Amanda, Eduarda, Juliana, Lucas, Maria Clara, Larissa e Gabriel. Aos amigos da faculdade, um agradecimento para os que me acompanharam nessa jornada, Luiza, João Pedro, Leticia e Gabriel.

Por fim, agradeço a UFRJ, a todos os meus professores pela jornada, pelo conhecimento, por me ensinar a ser resiliente, e pela oportunidade de uma educação pública de qualidade. Em especial, gostaria de agradecer ao professor Elcio e a professora Maria Antonieta, pela orientação, paciência, incentivo e por acreditar no trabalho.

## RESUMO

CAMPOS, Lorena Rodrigues. **Panorama dos marcos regulatórios do etanol no Brasil e no mundo e seus impactos no mercado.** Rio de Janeiro, 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Bioprocessos) - Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2024.

A energia é um recurso essencial, no entanto, a dependência de uma matriz energética pouco diversificada causa impactos ambientais. Portanto, a transição para fontes de energia mais sustentáveis, como o etanol combustível, tornou-se urgente para a sociedade. Sendo o segundo maior produtor de etanol combustível no mundo (33,5 milhões de m<sup>3</sup> na safra 2023/2024), o Brasil possui uma cadeia de produção de etanol e uma estrutura de mercado estabilizada, assim como um arcabouço regulatório que permitiu alcançar essa liderança. Nesse sentido, o presente estudo propõe mapear os marcos regulatórios do etanol combustível no Brasil e em outros países como Estados Unidos, China, Canadá, Alemanha e Reino Unido, obtidos a partir de relatórios organizacionais, trabalhos e artigos, e analisar como esses marcos influenciam os dados de produção, exportação, importação e consumo disponibilizados nos Anuários estatísticos da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). Os resultados encontrados mostram 4 grandes marcos regulatórios no Brasil: a adição obrigatória de etanol à gasolina; o Proálcool, a tecnologia *Flex Fuel* e o RenovaBio. O marco RenovaBio foi o que mais apresentou impacto na produção de etanol, impactos ambientais e econômicos. O marco das medidas emergências temporárias de 2011 também controlaram a produção, exportação, importação e consumo do etanol. Em comparação com outros países, o Brasil é o país com mais números de marcos regulatórios relevantes, contudo os Estados Unidos é o país com maior produção e consumo do etanol combustível.

Palavras-chave: Regulamentação; Biocombustíveis, RenovaBio, Energia.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Distribuição da matriz energética brasileira.....	12
Figura 2 - Rotas tecnológicas para produção de etanol.....	15
Figura 3 - Sequência de reações metabólicas enzimáticas pela fermentação alcoólica de carboidratos por <i>Saccharomyces cerevisiae</i> .....	17
Figura 4 - Estágios de produção de etanol de milho.....	19
Figura 5 - Diversificação da matéria-prima para a produção de etanol no Brasil.....	19
Figura 6 - Fluxograma integrado da produção de etanol 1G e 2G.....	20
Figura 7 - Principais órgãos reguladores no Brasil.....	23
Figura 8 - Linha do tempo com as principais políticas mundiais do uso de biocombustíveis..	27
Figura 9 - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).....	28
Figura 10 - Países e estados inseridos no Painel de Mandatos de Misturas de Biocombustíveis.....	31
Figura 11 - Consumo de Etanol e MTBE durante os anos nos Estados Unidos.....	33
Figura 12 - Produção de etanol por ano no Brasil.....	40
Figura 13 - Importação de etanol por ano do Brasil.....	40
Figura 14 - Exportação de etanol por ano do Brasil.....	41
Figura 15 - Venda de etanol hidratado pelas distribuidoras por ano do Brasil.....	42
Figura 16 - Preço médio do litro de etanol hidratado por ano do Brasil.....	43
Figura 17 - Principais países de quem o Brasil importa etanol.....	44
Figura 18 - Principais países que o Brasil exporta etanol.....	45
Figura 19 - Licenciamento de automóveis novos por combustível por ano no Brasil.....	46

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Mandato de porcentagem de etanol inseridos no Painel de Mandatos de Misturas de Biocombustíveis .....	30
Quadro 2 - Distribuição dos principais marcos regulatórios por ano no Brasil .....	38
Quadro 3 - Distribuição dos principais marcos regulatórios por ano em diferentes países.....	39
Quadro 4 - Motivos e impactos ao ambiente do mercado de etanol no Brasil.....	53

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ONU	Organização Mundial da Saúde
EUA	Estados Unidos da América
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
ANP	Agência Nacional de Petróleo
TRR	Transportador Revendedor Retalhista
MME	Ministério de Minas e Energia
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
CNPE	Conselho Nacional de Política Energética
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
ECO-92	Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ANFAVEA	Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores
BNDES	Banco Nacional do Desenvolvimento

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>12</b>
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA.....	12
1.2 OBJETIVOS.....	13
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	13
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>15</b>
2.1 CADEIA DE PRODUÇÃO DO ETANOL.....	15
2.2 PRODUÇÃO DE ETANOL NO BRASIL.....	21
2.3 PRODUÇÃO DE ETANOL NO MUNDO.....	21
2.4 REGULAÇÃO E ESTRUTURA DO MERCADO DE ETANOL NO BRASIL.....	22
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>26</b>
3.1 POLÍTICAS MUNDIAIS DO USO DE BIOCOMBUSTÍVEIS.....	26
3.2 EVOLUÇÃO DOS MARCOS REGULATÓRIOS DO ETANOL NO BRASIL.....	28
3.3 PRINCIPAIS MARCOS REGULATÓRIOS DO ETANOL NO MUNDO.....	31
3.4 CONSIDERAÇÕES GERAIS DA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	35
<b>4 METODOLOGIA.....</b>	<b>37</b>
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>38</b>
5.1 ANÁLISE DOS MARCOS REGULATÓRIOS.....	38
5.2 IMPACTO ECONÔMICOS DOS MARCOS REGULATÓRIOS NO MERCADO BRASILEIRO.....	47
5.3 IMPACTO AMBIENTAL ATUAL NO BRASIL.....	49
<b>6 CONCLUSÃO.....</b>	<b>52</b>
<b>7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>54</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>55</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA

A energia é um recurso imprescindível para o mundo como conhecemos. O uso de uma matriz energética pouco diversificada, baseada principalmente em matérias-primas não renováveis causa impactos ambientais e intensifica mudanças climáticas. A busca pela mudança das fontes da matriz energética se tornou relevante para a sociedade, como é possível observar nas ODS, isto é, Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, estabelecidos pela ONU (Organização das Nações Unidas). Uma alternativa para o uso de combustíveis fósseis e não renováveis para a geração de energia é o uso do etanol como combustível.

O Brasil é um líder em energia renovável, considerando que 49,1% da nossa matriz energética é renovável, diferente dos 14,7% da matriz energética mundial. Dentre as fontes de energia renovável do Brasil, 16,9% é a partir de derivados de cana, o que inclui o etanol combustível como apresentado na Figura 1(EPE, 2024).

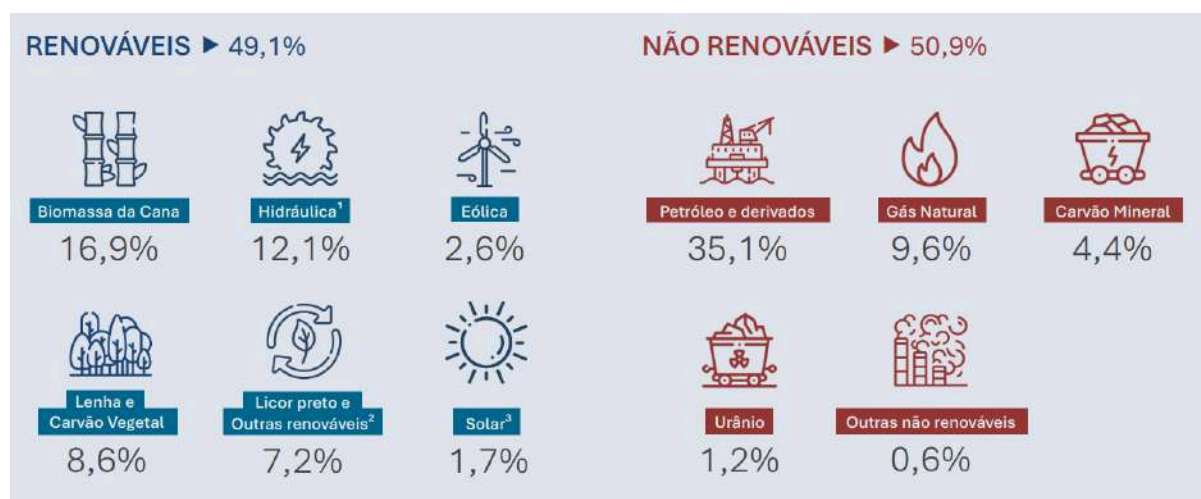


Figura 1 - Distribuição da matriz energética brasileira.

Fonte: EPE, 2024.

O Brasil é o segundo maior produtor de etanol no mundo e pioneiro no consumo do etanol como combustível, além de ser o líder no uso da cana de açúcar como matéria-prima para a produção de etanol (SOARES; JUNIOR, 2021). Algumas vantagens fizeram com que o país tomasse esse lugar, além de ser o maior produtor de cana de açúcar, e possuir um clima propício para o plantio e vasta área cultivável para plantação, o país também teve diversos marcos regulatórios que foram responsáveis por tornar o país referência nessa tecnologia. A utilização do etanol como biocombustível foi iniciada em 1970 com o programa Proálcool

(Programa Nacional do Álcool), uma política pública, que tinha como objetivo incentivar a produção de etanol para substituir os combustíveis derivados do petróleo.

O Brasil é um dos líderes no mercado de etanol e possui diversos marcos regulatórios para esse setor. Compreender a trajetória brasileira dos marcos regulatórios para o uso do etanol como substituto de fontes renováveis e identificar os marcos regulatórios de outros países que estão buscando usar o etanol combustível é importante para verificar as oportunidades e os desafios desse mercado. Dessa forma, é possível entender a importância de mapear e analisar os marcos regulatórios e suas implicações para o mercado interno e externo.

## 1.2 OBJETIVOS

O objetivo do presente trabalho é analisar os marcos regulatórios e suas implicações para a produção, comercialização e sustentabilidade do etanol combustível no Brasil e em outros países.

A partir do objetivo geral foram propostos os seguintes objetivos específicos:

- Analisar a relação entre os marcos regulatórios e os volumes de produção, exportação, importação e consumo de etanol no Brasil ao longo do tempo;
- Avaliar como os marcos regulatórios no Brasil e no exterior influenciaram a dinâmica da importação e exportação do etanol;
- Analisar os impactos econômicos no mercado dos marcos regulatórios sobre o setor de etanol no Brasil e identificar os principais agentes econômicos envolvidos;
- Examinar os impactos ambientais dos marcos regulatórios sobre a produção e o uso do etanol no Brasil.

## 1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho está estruturado em 7 capítulos. No capítulo 1, são abordados a contextualização e os objetivos. O capítulo 2 traz a fundamentação teórica, que teve como objetivo compreender melhor a cadeia de produção de etanol, a estrutura atual desse mercado no Brasil. No capítulo 3 da revisão bibliográfica, foi investigado o histórico dos marcos regulatórios do etanol no mundo e no Brasil. No capítulo 4, foram abordadas as metodologias utilizadas no trabalho. A partir da revisão bibliográfica, no capítulo 5 foram analisados como a sequência temporal de eventos e os principais marcos regulatórios geram impactos

econômicos, ambientais e como impactam na produção, exportação, importação, consumo e o mercado do biocombustível. No capítulo 6, foram destacadas as principais conclusões encontradas no trabalho, e no capítulo 7 as considerações finais em relação ao estudo.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 CADEIA DE PRODUÇÃO DO ETANOL

A cadeia produtiva do etanol se inicia na escolha da matéria-prima utilizada nas usinas. A matéria-prima utilizada no processo pode ser de qualquer biomassa que tenha quantidades expressivas de amido ou açúcar, como a cana de açúcar, o milho, trigo, beterraba e etc. (BNDES, 2008). No caso brasileiro, a cana de açúcar é a principal matéria-prima escolhida para a fabricação do etanol, considerando a estimativa que um hectare plantado de cana de açúcar pode produzir até 7.500 L de etanol (SUPER INTERESSANTE 2018), e que a cana de açúcar possui açúcares diretamente fermentáveis, o que contribui para a simplificação do processo de produção do etanol diminuindo seu custo e aumentando a sua eficiência energética (FILLIPE, 2011). Portanto, para diferentes biomassas há diferentes rotas tecnológicas para a obtenção do etanol. A Figura 2 apresenta três rotas com etapas de pré-fermentação distintas compatíveis com suas respectivas biomassas (BNDES, 2008).

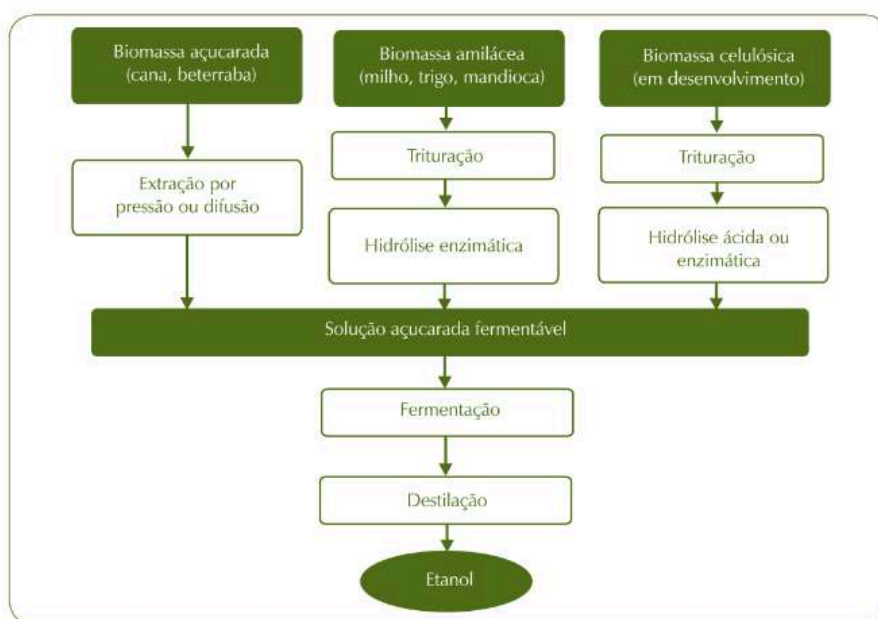


Figura 2 - Rotas tecnológicas para produção de etanol.

Fonte: BNDES, 2008.

Para a produção industrial de etanol as principais matérias-primas são a cana de açúcar e o milho. Além das matérias-primas com alto teor de açúcar e amido, há também a produção do etanol de segunda geração por biomassa celulósica, o qual o etanol é obtido a

partir da celulose encontrado na matéria-prima, como por exemplo o bagaço da cana de açúcar (OLIVEIRA, 2013).

### **2.1.1 Etanol de cana-de açúcar**

Para a produção da principal matéria-prima do etanol no Brasil, a cana de açúcar, é necessário um clima com estações distintas, isto é, uma estação quente e úmida para a germinação e desenvolvimento vegetativo, e outra estação mais fria e seca para promover a maturação e o acúmulo de sacarose. Além disso, no Brasil o ciclo da cana de açúcar costuma ser de seis anos, com primeiro realizado de 12 a 18 meses do plantio, seguido de um corte por ano, com a redução gradual da sua produtividade (BNDES, 2008). Um aspecto importante durante a plantação da cana de açúcar é sua colheita. Esta pode ser realizada de forma manual, que consiste na queima do canavial e o corte manual da cana inteira, a colheita mecanizada, e a colheita semi-mecanizada, que não possuem a etapa de queima.

A cana de açúcar colhida deve ser levada para a usina para a produção do etanol em até 24 horas. Na usina, a cana de açúcar passa por diferentes etapas pré-fermentação, como é apresentado na Figura 2. Na primeira etapa, de lavagem, a cana de açúcar é depositada em esteiras rolantes onde são lavadas para retirar resíduos mais grossos como terra, poeira e areia. Nessa mesma etapa a cana ainda é cortada e levada à um eletroímã que remove resíduos metálicos que possam estar no produto. Depois da etapa de lavagem inicial, na etapa de moagem, a cana de açúcar é moída por rolos trituradores que separa o melado (70% do produto) do bagaço (30% do produto). O bagaço pode ser utilizado para a produção de energia elétrica por meio da queima da biomassa ou também pode ser usado para a produção de etanol de segunda geração. Já o melado segue para a etapa de filtração, no qual passa por uma peneira para retirar os resíduos como resto de bagaço ou areia. Após a filtração o melado fica em repouso no tanque de decantação, as impurezas são depositadas no fundo do tanque e o sobrenadante, caldo clarificado, segue para a etapa de esterilização no qual é fervido para que seja eliminado qualquer micro-organismo (LOPES et al., 2011).

O produto das etapas preliminares, caldo purificado, é então direcionado para as dornas, tanques, onde ocorre a fermentação (NOVACANA, 2017). Para isso são adicionadas as leveduras, normalmente é usada a levedura *Saccharomyces cerevisiae*, que metaboliza o açúcar do caldo, em uma série de reações enzimáticas consecutivas, transformando as moléculas de açúcares redutores (glicose e frutose) em gás carbônico e etanol, conforme esquematizado na Figura 3 (LIMA, BASSO e AMORIM, 2001).

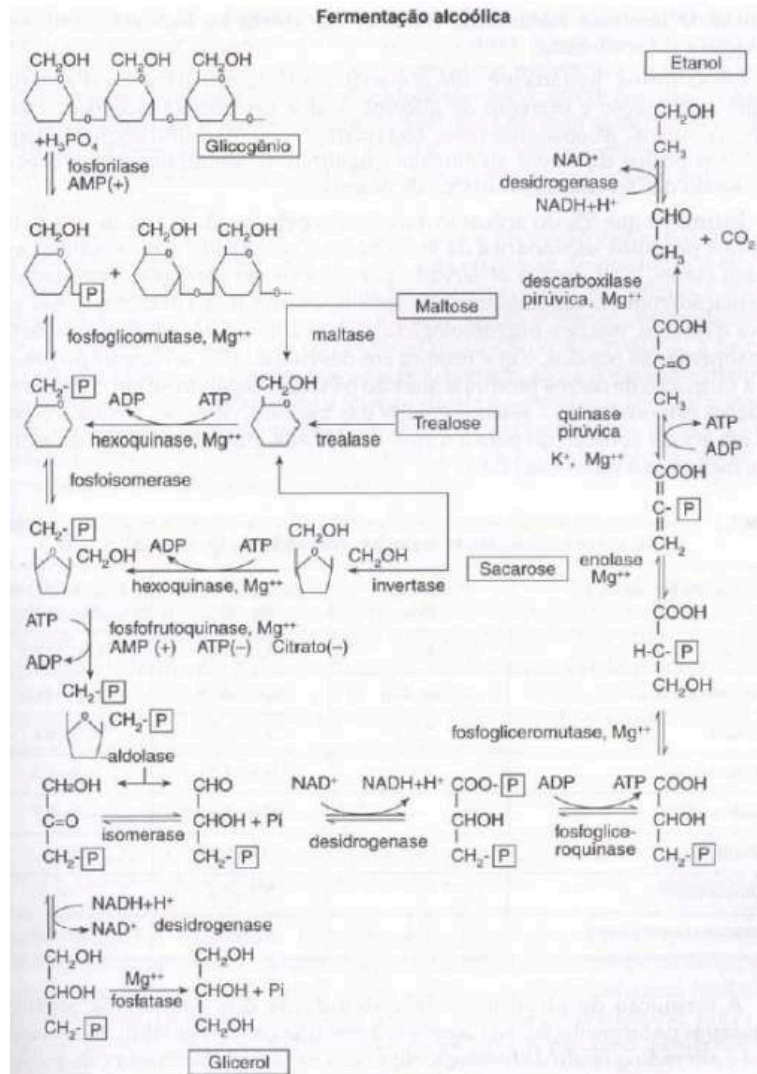


Figura 3 - Sequência de reações metabólicas enzimáticas pela fermentação alcoólica de carboidratos por *Saccharomyces cerevisiae*.

Fonte: LIMA, BASSO e AMORIM, 2001.

Após a fermentação, que pode durar de 8 a 12 horas, o mosto fermentado que possui uma concentração de etanol de 7 a 10%, açúcar não fermentado e a leveduras, é centrifugado. O processo Melle-Boinoit é o mais utilizado no Brasil, para recuperação das leveduras (BNDES, 2008). Nesse processo, após a centrifugação, as células sofrem um tratamento com ácido sulfúrico, para reutilização em uma nova batelada.

Para separar o etanol do vinho fermentado, a mistura segue para a seção de destilação, que, geralmente, opera em duas etapas: destilação, com a obtenção de um destilado com cerca de 55% de concentração volumétrica de etanol, e retificação com a recuperação do em sua forma hidratada, isto é, com grau alcoólico de 96%. Apenas essas etapas não permitem a recuperação do etanol no seu formato mais puro por conta da formação do azeótropo de

etanol-água. Essa mistura com aproximadamente 95,6% de etanol e 4,4% de água em massa, com temperatura de ebulição cerca de 78,1°C, impede uma maior concentração de etanol ao destilar uma solução de etanol fermentado (EFFGEN, 2023).

O etanol recuperado na destilação pode ser armazenado como produto final, ou pode ser levado para a etapa de desidratação. Para purificar mais o etanol e retirar o restante da água remanescente existem algumas técnicas como a peneira molecular e adição de solvente, que é mais utilizado no Brasil. O solvente adicionado, normalmente o ciclohexano, se mistura apenas com a água na coluna de desidratação, que sofrem o processo de evaporação saindo no topo da coluna e sendo direcionado à etapa de recuperação, enquanto o álcool anidro é retirado no fundo com 0,4% de água (BNDES, 2008).

O uso do etanol como combustível pode ser encontrado em todos os postos de gasolina do Brasil em duas formas: como gasolina regular e etanol combustível. Na gasolina é misturado etanol anidro em uma proporção de 27% conforme é decidido pelo governo federal, já o etanol combustível, é utilizado etanol hidratado puro (BNDES, 2008). Além de combustível, o etanol hidratado é utilizado de diversas formas, como na indústria farmacêutica, alcoolquímica e de bebidas, e o etanol anidro é utilizado como matéria-prima na indústria de tintas, solventes e vernizes (NOVACANA, 2017).

### **2.1.2 Etanol de milho**

Além da produção a partir da cana de açúcar, a produção de etanol a partir do milho também é consolidada em diversos países. O processo de produção é realizado em 6 etapas: Preparação da matéria-prima, liquefação, saccharificação, fermentação, destilação e separação. A Figura 4 ilustra de forma esquemática o processo.

Durante o processo da preparação da matéria-prima podem ser realizados dois processos de moagem: a moagem seca e a moagem úmida. Na moagem seca todo o grão é processado e os resíduos são separados ao final, sem adição de solução aquosa. Já na moagem úmida, os grãos são macerados junto a uma solução de dióxido de enxofre e de ácido láctico, a uma temperatura de 52°C e o pH baixo para promover uma melhor separação do amido e das proteínas do milho (MUSSOLINI, 2009). Os co-produtos possuem alto valor agregado: xarope de milho com alto teor de frutose, ácido cítrico, goma xantana, dextrinas, óleo refinado, fibras, farinha de glúten de milho (alta proteína), CSL (licor de maceração do milho), ração de glúten de milho (baixa proteína) e óleo de milho (MOSIER; KLEIN, 2020). Após a maceração, há a separação dos co-produtos sólidos e segue o processo de liquefação.

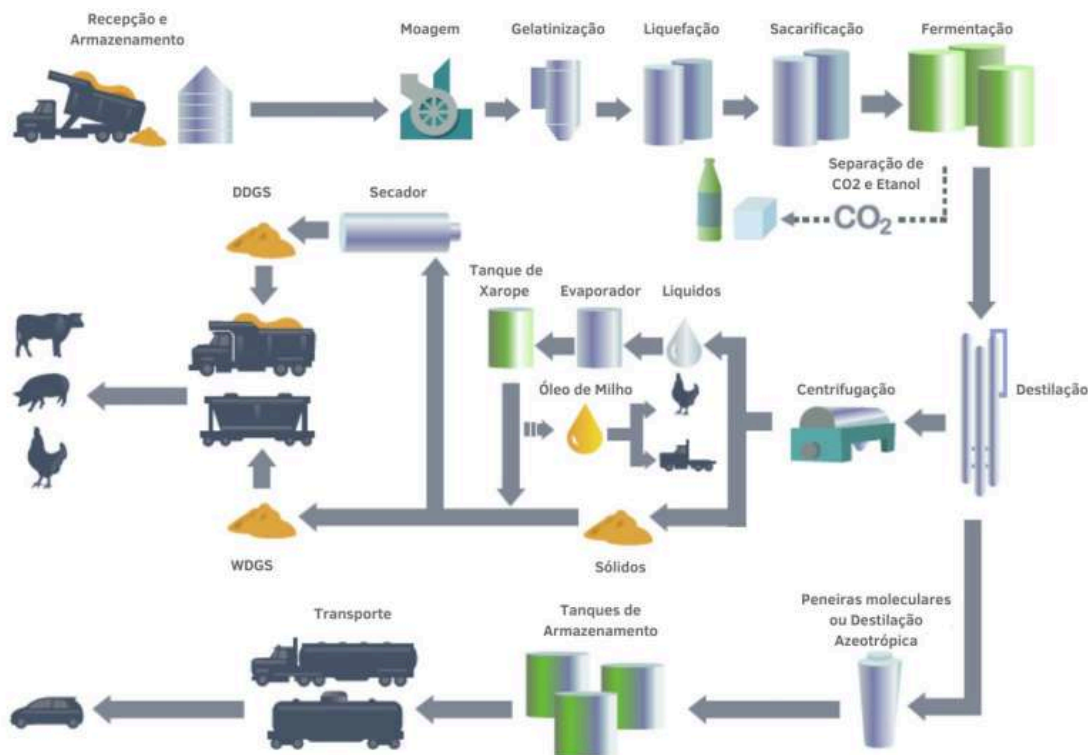


Figura 4 - Estágios de produção de etanol de milho.

Fonte: RFA, 2021.

Diferente da cana, os componentes amiláceos precisam passar pelo processo de hidrólise em que o amido é transformado em açúcares fermentáveis. É no processo de liquefação que começa a hidrólise enzimática por meio da adição da alfa-amilase transformando as moléculas de amilose e amilopectina em dextrinas e oligossacarídeos (BOTHAST; SCHLICHER, 2005). Após a liquefação, a solução liquefeita contendo dextrinas e oligossacarídeos é resfriada e seu pH é ajustado para o processo de sacarificação a partir da enzima glucoamilase seja realizado, transformando as dextrinas em glicose possibilitando o processo de fermentação com as leveduras (MOSIER; KLEIN, 2020). A partir dessa etapa o processo é semelhante à produção de etanol a partir da cana de açúcar, com a fermentação normalmente com *Saccharomyces cerevisiae*, destilação, e separação.

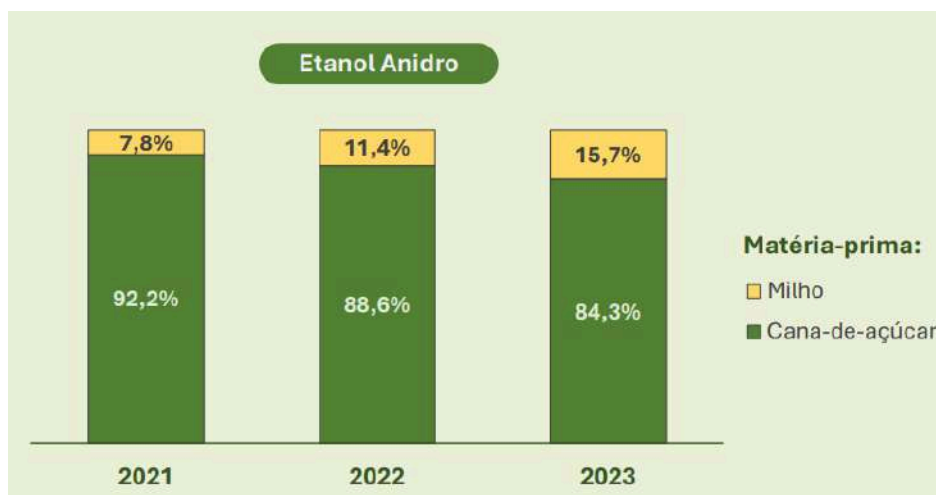


Figura 5 - Diversificação da matéria-prima para a produção de etanol no Brasil.

Fonte: EPE, 2024.

O milho é a matéria-prima utilizada principalmente nos Estados Unidos, contudo no Brasil, também está diversificando sua produção de etanol como mostra a Figura 5.

Essa indústria está concentrada na região Centro-Oeste do país, e apesar dos custos serem mais onerosos que da indústria da cana de açúcar, possuem vantagens como a diversificação da matéria-prima, reduzindo a dependência com a cana de açúcar e a geração de valor com os co-produtos (RIBEIRO, 2023).

### 2.1.3 Etanol de segunda geração

Além da matéria-prima à base de amido, é possível diversificar a produção de etanol a partir de biomassa lignocelulósicas, como como resíduos agrícolas, florestais e outras matérias-primas não alimentares, por meio de processos bioquímicos ou termoquímicos. Enquanto o etanol de primeira geração está baseado na fermentação alcoólica de alguns polissacarídeos, o etanol de segunda geração consiste na produção a partir da quebra dos polissacarídeos presentes na parede celular vegetal dos resíduos lignocelulósicos, com etapas de pré-tratamento e hidrólise antes da fermentação, como é apresentado na Figura 6 (PITARELO et al., 2012).

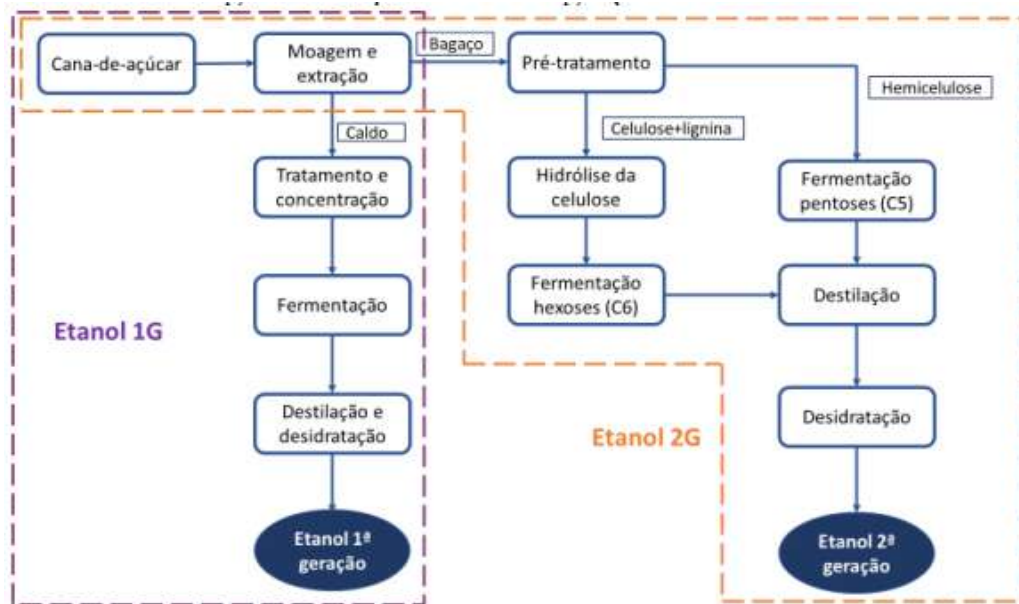


Figura 6 - Fluxograma integrado da produção de etanol 1G e 2G.

Fonte: MELO, 2020.

O pré-tratamento da biomassa é uma das etapas mais desafiadoras desse processo. O objetivo dessa etapa é separar um ou mais componentes da biomassa, aumentando a área de superfície da biomassa sem desnaturar a celulose e a lignina, e evitar a produção de

compostos inibidores. Existem diversas possibilidades de pré-tratamento disponíveis, que estão classificados em quatro grupos: físicos, químicos, biológicos ou de fracionamento por solvente. A segunda etapa desse processo é a hidrólise da celulose a partir do processo enzimático (MELO, 2020). A partir dessa etapa é seguido o processo de fermentação, destilação similarmente ao etanol de primeira geração.

## 2.2 PRODUÇÃO DE ETANOL NO BRASIL

### 2.2.1 Dados da produção de etanol no Brasil

Para melhor compreender a dimensão da produção de etanol no Brasil, é possível observar os dados da última safra de 2023/2024. A produção de etanol na última safra foi de 33.593.124 m<sup>3</sup>, sendo 41% produzidos no estado de São Paulo, quase 17% no Mato Grosso e 16,5% no estado de Goiás. Foram consumidos em todo Brasil, até o mês de outubro de 2024, 49 milhões de m<sup>3</sup> de etanol hidratado, além do consumo do etanol anidro na mistura com a gasolina. Nessa safra, o Brasil exportou mais de 2,5 milhões de metros cúbicos principalmente para a Coreia do Sul, Estados Unidos e Países Baixos. Como o estado de maior produção do país, São Paulo também foi o maior exportador da safra de 2023/2024, seguido de Minas Gerais e do Paraná (UNICADATA, 2024).

Segundo o Painel Dinâmico de Produtores de Etanol no Brasil, no ano de 2023, existiam 357 instalações produtoras de etanol no país, sendo o estado de São Paulo com o maior número, 149 instalações (ANP, 2023). Esse número representa, além das usinas produtoras, as cooperativas, isto é, a reunião de vários produtores que aumenta o poder de negociação para crédito e venda dos produtos (EMBRAPA, 2005). Para que o etanol combustível chegue em todo Brasil, as distribuidoras recolhem o produto das usinas produtoras, armazenam e transportam por meio de caminhões-tanque para o consumidor final e postos de gasolina (CBIE, 2019).

## 2.3 PRODUÇÃO DE ETANOL NO MUNDO

Além do Brasil, outros países também são produtores de etanol. Em primeiro lugar, o país com maior expressividade são os Estados Unidos, que no ano de 2023 produziu 15580 milhões de galões americanos. Seguido do Brasil, a região da União Europeia produziu 1440 milhões de galões, seguida pela Índia com 1430 milhões de galões, China com 980 milhões e Canadá com 460 milhões de galões (RFA, 2024).

Ao compararmos a cadeia produtiva brasileira de etanol com a cadeia produtiva do maior produtor do mundo, isto é, os Estados Unidos (EUA), podemos observar que sua principal diferença é a matéria-prima utilizada na produção, culturas à base de amido, principalmente o milho. Suas usinas são divididas no tipo de processamento, que pode ser seco ou úmido. Quase 90% das usinas utilizam o processamento seco, devido ao menor custo, que transforma o milho em farinha para que este seja fermentado em etanol. O processo úmido possui um maior custo pois separa diferentes componentes da matéria-prima, como o amido, a proteína e a fibra antes da fermentação, podendo processar esses componentes em diferentes produtos além do etanol (U.S. DEPARTMENT OF ENERGY).

Com a produção concentrada no meio-oeste dos EUA, onde são localizadas as plantações de milho, quase 90% do etanol produzido é transportado por trem ou caminho para a costa leste e oeste, onde ocorre o maior consumo de gasolina no país. O restante da produção é escoada por barcaças e por dutos. O uso do etanol como combustível é exclusivo para misturas podendo ter diferentes porcentagens de etanol, de 10% a 83%, dependendo da geografia e da estação que se qualifica como um combustível alternativo (U.S. DEPARTMENT OF ENERGY).

Na região da União Europeia a produção de etanol, diferente do Brasil e dos Estados Unidos, baseia-se principalmente em matérias-primas como beterraba e grãos. Os países com maior capacidade instalada para a produção são a França, a Alemanha e a Hungria. Do volume de etanol produzido em 2023 mais de 85% foi destinado ao uso de etanol como combustível (BIOENERGIA NEWS, 2024).

Na Índia a produção de etanol baseava-se principalmente no melaço, que é um subproduto da cana de açúcar, para não impactar a disponibilidade para exportação e consumo no país. Em 2024, políticas expandiram as matérias-primas para a produção de etanol, permitindo o uso do caldo da cana de açúcar, arroz e milho (FORBES, 2024). Ao contrário da Índia, a China iniciou sua produção a partir do milho, e com o aumento da preocupação com alimentação e o desenvolvimento da tecnologia da produção de etanol de segunda geração a partir de resíduos agrícolas (FRANCO; FRANCO; 2021).

## 2.4 REGULAÇÃO E ESTRUTURA DO MERCADO DE ETANOL NO BRASIL

Diversos órgãos governamentais desempenham papéis complementares na supervisão e regulamentação do setor, resumidos na Figura 7. A Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) é a principal agência reguladora do mercado de

combustíveis no Brasil e tem como missão regulamentar, fiscalizar e supervisionar as atividades relacionadas à indústria do petróleo, gás natural e biocombustíveis, incluindo o etanol. A regulamentação é realizada por meio do estabelecimento de normas técnicas e operacionais para a produção, distribuição e comercialização de etanol, da fiscalização da qualidade dos combustíveis, do monitoramento e divulgação de preços e estoques de combustíveis, e da promoção de leilões e outros mecanismos de comercialização de etanol (ANP, 2021).



Figura 7 - Principais órgãos reguladores no Brasil.

Fonte: Elaboração própria, 2024.

Outro órgão de grande relevância é o Ministério de Minas e Energia (MME), que é responsável pela formulação das políticas energéticas no Brasil, incluindo biocombustíveis. O MME, em colaboração com a ANP, assegura a efetivação de políticas que incentivem a produção e o uso sustentável de etanol. Um dos programas mais importantes promovidos pelo MME é o RenovaBio (MME, 2021).

O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) atua principalmente no início da cadeia de produção do etanol. Supervisionando a produção agrícola no Brasil, o MAPA é responsável por definir políticas e regulamentos que impactam diretamente a produção de cana-de-açúcar e, conseqüentemente, a produção de etanol (MAPA, 2021).

Outros órgãos com papéis mais complementares são o Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), e o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). O CNPE é um órgão de aconselhamento do Presidente da República e é responsável por propor políticas e diretrizes para o setor energético, incluindo biocombustíveis, garantindo a segurança do abastecimento de combustíveis no país e alinhando as políticas energéticas com os objetivos de desenvolvimento sustentável (CNPE, 2021).

Embora a ANEEL regule principalmente o setor elétrico, ela também desempenha um papel indireto no mercado de etanol, regulamentando usinas de cogeração que utilizam o bagaço de cana-de-açúcar, um subproduto da produção de etanol, para gerar energia elétrica (ANEEL, 2021). Já o IBAMA é responsável pela fiscalização ambiental das atividades de produção de etanol. O IBAMA garante que as usinas de etanol cumpram as normas ambientais, ajudando a minimizar os impactos ambientais da produção e promovendo práticas sustentáveis no setor (IBAMA, 2021).

Além da estrutura regulatória, também é importante entender a estrutura comercial desse mercado. Considerando que o abastecimento nacional abrange as atividades de comercialização, distribuição, revenda e controle de qualidade do etanol combustível, a resolução da ANP N° 907 de 2022 dispõe sobre as especificações do etanol combustível e suas regras de comercialização no território nacional (ANP, 2022).

O fornecimento de etanol combustível pode ser realizado pelo produtor de etanol com unidade fabril instalada no território nacional, por cooperativa de produtores de etanol, empresa comercializadora de etanol, agente operador de etanol, ou importador de etanol. O grupo de fornecedores de etanol combustível não pode exercer as atividades de distribuição e revenda varejista.

A cooperativa de produtores de etanol é a união de produtores voluntariamente com o objetivo de satisfazer as necessidades econômicas e sociais por meio de uma empresa de propriedade coletiva e administrada democraticamente (SEBRAE, 2009). Empresa comercializadora de etanol, é segundo a resolução n° 43 da ANP de 2009, empresa controlada diretamente ou indiretamente por dois ou mais produtores e cooperativas. O agente operador de etanol comercializa o etanol atuando na bolsa de mercados. E o importador de etanol adquire o etanol combustível exclusivamente do mercado externo para comercialização no mercado interno.

Além da produção e fornecimento, a estrutura legal do mercado de etanol também se expande para a figura do distribuidor, que segundo a resolução da ANP N° 907 de 2022, exerce a função de distribuição de combustíveis líquidos derivados do petróleo e biocombustíveis, isto é, armazenam grandes volumes e realizam o transporte logístico do combustível para os postos de abastecimento, e também tem a obrigação de garantir a qualidade do etanol hidratado combustível a ser comercializado (ANP, 2022).

A figura do Transportador Revendedor Retalhista (TRR) também é responsável pelas atividades de armazenamento, transporte, controle de qualidade e assistência técnica ao consumidor quando da comercialização de combustíveis. Diferente do distribuidor, essa

função compra o combustível em grande quantidade a granel e revende em retalhos (ANP, 2020).

A revenda varejista, isto é, a comercialização de combustível automotivo em estabelecimento denominado posto revendedor do etanol diretamente para o cliente final, é realizada pelo revendedor (ANP, 2022).

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 POLÍTICAS MUNDIAIS DO USO DE BIOCOMBUSTÍVEIS

Foi na década de 60 que se iniciou o trabalho de promoção de uma consciência ecológica que promovesse uma legislação rígida e focada na proteção ambiental a partir da publicação do livro *Primavera Silenciosa*, de Rachel Louise Carson, cientista norte-americana, e declarações do Secretário Geral da Organização das Nações Unidas (ONU). Contudo, foi apenas em 1972 que a ONU organizou a Conferência das Nações Unidas sobre o meio ambiente humano, que foi realizada em Estocolmo, na capital da Suécia, e reuniu representantes de 113 países (PASSOS, 2009).

A partir da preocupação ambiental e social da época, o evento culminou na assinatura da Declaração de Estocolmo pelos países, incluindo o Brasil, com diversas metas e princípios que foram a base para uma nova agenda ambiental no Sistema das Nações Unidas. É possível ressaltar alguns princípios estabelecidos que impactaram a agenda regulatória brasileira, como a preservação dos recursos naturais em benefício das gerações presentes e futuras, e o desenvolvimento econômico e social, para assegurar aos seres humanos um ambiente de vida e trabalho favorável e para criar na Terra as condições necessárias de melhoria da qualidade de vida (CRBIO-07, 2022).

A conferência de Estocolmo representou o início das políticas mundiais de proteção ao meio ambiente, que teve sequência 20 anos depois na Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (ECO-92) realizada no Rio de Janeiro em 1992. Durante a ECO-92, que reuniu representantes de 175 países e tinha como objetivo discutir problemas urgentes referentes à proteção ambiental e ao desenvolvimento socioeconômico, com base nas premissas da declaração de Estocolmo, surgiu o conceito de desenvolvimento sustentável, que foi reforçado com a criação de um plano de ação, a Agenda 21, além de tornar o Brasil um protagonista internacional em questões ambientais (CASTRO, 2017).

Mas foi a partir do Protocolo de Kyoto em 1997, que o uso de biocombustíveis se tornou uma pauta importante internacionalmente. Esse Protocolo foi o primeiro tratado assinado internacionalmente com o controle de emissão de gases do efeito estufa na atmosfera, impondo os países industrializados a diminuírem a dependência do petróleo como combustível (SOARES; JUNIOR, 2021). Para atingir os objetivos do Protocolo era necessária a substituição de fontes de energias fósseis por renováveis, e os biocombustíveis,

principalmente o etanol, foi um importante aliado para atender esse compromisso de redução de emissão de gases do efeito estufa (EPE, 2004).

Após 20 anos da ECO-92, a Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável, Rio+20, volta ao Rio de Janeiro com o objetivo de renovar os compromissos políticos estabelecidos em acordos anteriores e tratar de novos temas, principalmente associados ao desenvolvimento sustentável, como o uso da economia verde e a erradicação da pobreza (CRBIO-07, 2022). Durante a conferência os biocombustíveis tiveram um grande destaque para a promoção do seu uso internacionalmente. Foi utilizado etanol de segunda geração para o abastecimento dos transportes de comitivas do evento, além da testagem do pela companhia aérea Azul do biocombustível renovável para aviação (EBC, 2012). Também foi mencionada a transferência das tecnologias de biocombustíveis para países em desenvolvimento para que estes sejam menos dependentes de combustíveis fósseis (LIMA, 2012).

Uma das políticas mundiais mais recentes e de grande impacto é o Acordo de Paris, assinado por 195 países durante a Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas de 2015. Com o objetivo de reduzir o aquecimento global, o Brasil celebrou metas de redução de 37% de suas emissões até 2025 em suas NDC (Nationally Determined Contributions) (ALMEIDA 2020). Outro compromisso realizado pelo país no Acordo de Paris foi ter 18% da matriz energética do país baseada em biocombustíveis, com foco no etanol, biodiesel e bioquerosene até 2030 (CHIES, 2017). Uma resposta do país para os compromissos acordados foi o programa RenovaBio lançado em 2016 (ALMEIDA 2020). A Figura 8 apresenta a linha do tempo das principais mundiais do uso de biocombustíveis.

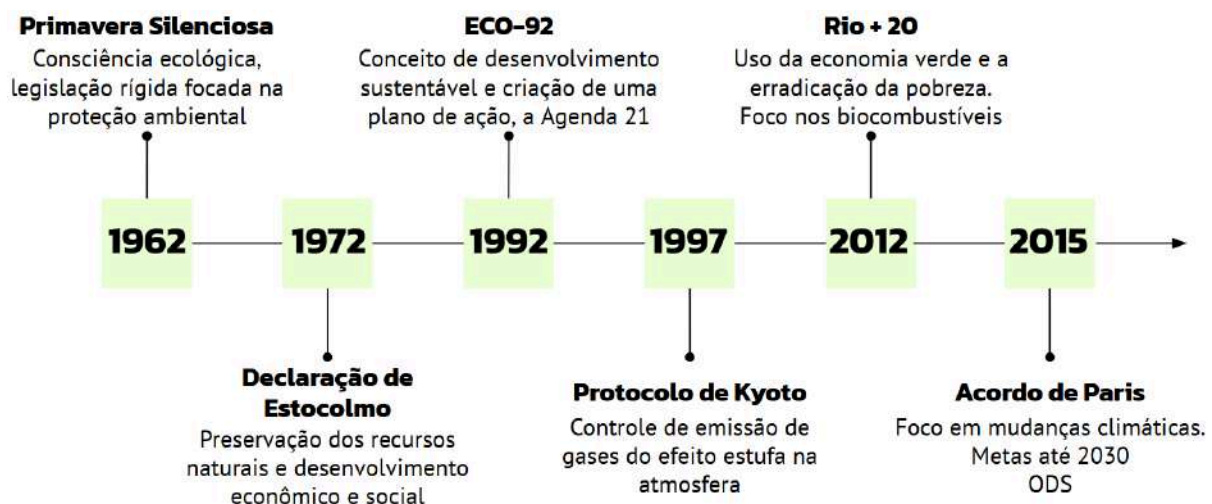


Figura 8 - Linha do tempo com as principais políticas mundiais do uso de biocombustíveis.

Fonte: Elaboração própria, 2024.

Além do Acordo de Paris, em 2015 a ONU também estabeleceu os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) que representam um apelo para a agenda mundial voltada à efetivação de políticas públicas e marcos regulatórios até 2030. As ODS envolvem diferentes temáticas como a erradicação da pobreza, proteção ao meio ambiente, saúde, educação e direitos básicos para o ser humano, como mostra a Figura 9. Visando garantir acesso à energia limpa, da ODS 7, e agir contra a mudança global do clima, projetada na ODS 13, é possível contemplar o uso de biocombustíveis para alcançar tais metas (ROMEIRO et al., 2021).



Figura 9 - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).

Fonte: ONU, 2015.

### 3.2 EVOLUÇÃO DOS MARCOS REGULATÓRIOS DO ETANOL NO BRASIL

Para tornar possível o estudo sobre os impactos dos marcos regulatórios brasileiros atuais no mercado, é necessário entender o contexto histórico para a decisão dos marcos. Portanto, esse capítulo aborda as políticas públicas e as leis relacionadas ao etanol no contexto brasileiro.

O primeiro marco histórico para uso do álcool como combustível no Brasil é motivado pela crise econômica internacional de 1929, que elevou o preço do petróleo, a gasolina era até então usada como o principal combustível (MACHADO; ABREU, 2006). Este foi o primeiro período em que foi concedido aos usineiros financiamento benéfico para expandir a produção do álcool (RAMOS, 2016). Além do financiamento, o governo também

estabeleceu em 1931 a adição obrigatória de 5% de álcool à gasolina por meio do Decreto nº 19.717 (BRASIL, 1931) para diminuir o custo do combustível importado. Tal medida também foi observada em diversos outros países como a Alemanha, França e Estados Unidos (MACHADO; ABREU, 2006).

Foi em 1975, também motivado pela alta dos preços do petróleo mundial, que surgiu o segundo marco regulatório do etanol com o lançamento do programa Proálcool. Com o objetivo inicial de diminuir as importações de petróleo e apoiar a indústria açucareira na diversificação da produção, além de objetivos sociais de redução de disparidades individuais e crescimento de renda, o programa financiou a expansão da produção de álcool anidro e hidratado. Em um segundo momento, 1979, o programa expandiu seus objetivos estimulando a produção de automóveis adaptados ao uso de etanol (MACHADO; ABREU, 2006).

Contudo, na década de 80 os preços do petróleo internacional despencam, chegando a US \$7/barril em 1986, além da limitação ao financiamento e as renúncias fiscais desfavorecer o mercado de produção de álcool combustível no Brasil (RAMOS, 2016). A partir desses fatores, a queda da demanda a porcentagem de veículos movidos a etanol caiu de 75,5% em 1985 para 0,06% em 1997 (GUEVARA, 2016) e o programa perdeu força. Também durante essa década outros marcos regulatórios também foram registrados com a constituição de 1988 que incentiva a livre concorrência, a partir da iniciativa privada para a produção de etanol, o não monopólio do transporte dutoviário de etanol e a regulação da distribuição e revenda.

Segundo Machado & Abreu (2006), a primeira fase do Proálcool não tinha nenhum objetivo ambiental de combate ao uso de combustíveis fósseis. Esse tópico se tornou mais relevante a partir de 1990, e em 1993 foi estabelecida a Lei 8.723/1993 de Redução de Emissões Veiculares que aumentou o percentual de mistura de etanol anidro à gasolina para 18 a 25% (BARAN E ESTEVES, 2011).

Foi na década de 1990 que essas mudanças estruturais, que tinham como objetivo diminuir a presença do estado nesse segmento, começaram a ser viabilizadas, com a criação da ANP em 1997 para regular, contratar e fiscalizar as atividades da indústria, e consentindo a regulação dos preços dos biocombustíveis, e a regulação da cadeia do etanol a partir da etapa de distribuição do produto. Foi apenas em 2011, a partir da Lei 12.490 (BRASIL, 2011) de ano que a mudança no arcabouço regulatório foi consolidada com a ANP como reguladora de toda cadeia do etanol (BARAN E ESTEVES, 2011).

O terceiro grande marco regulatório foi o desenvolvimento da tecnologia *flex fuel*, que possibilitou a competitividade do etanol frente à gasolina a partir de 2003, já que permitia o consumo da mistura dos combustíveis, gasolina-etanol hidratado em qualquer proporção

(RAMOS, 2016). Os veículos *flex* se tornaram os responsáveis pela demanda de etanol combustível no país considerando que representam 90% da frota brasileira em 2020 (ANFESA, 2020).

Com o crescente aumento da frota *flex*, o preço do etanol impacta o mercado de revenda da gasolina e vice-versa, já que os consumidores finais podem escolher com base no preço qual combustível utilizar. Para conter o impacto sentido pela elevação do preço do etanol em 2011, devido a alta demanda de exportação do açúcar e, portanto, a menor produção de etanol, o governo adotou medidas emergenciais temporárias com o objetivo de conter os preços dos combustíveis e evitar o desabastecimento de etanol. Tais medidas reduziram temporariamente o percentual obrigatório da mistura de etanol anidro - gasolina de 25 para 20%, e permitiram a importação de etanol com especificação diferenciada (BARAN E ESTEVES, 2011). Em contrapartida a essas medidas em 2015, a partir de um decreto presidencial, oficializado pela Portaria MAPA N°75 de 05/03/2015, mistura de etanol anidro - gasolina passa ao seu maior patamar chegando a 27,5% (BRASIL, 2015) com o objetivo de fortalecer o setor de etanol e diminuir a dependência da importação da gasolina (NOVACANA, 2015).

O quarto marco regulatório de relevância foi a iniciativa lançada no final de 2016 com o objetivo de garantir previsibilidade dos mercados de combustíveis a partir dos biocombustíveis, promover a expansão desses combustíveis na matriz energética e cumprir os compromissos determinados pelo Acordo de Paris. A política nacional de biocombustíveis, *RenovaBio*, instituída pela Lei n° 13.576 (BRASIL, 2017) estabeleceu metas anuais de descarbonização para o setor de combustíveis e incentivou o aumento da produção de diversos biocombustíveis, inclusive o etanol, a partir de diferentes matérias-primas (ANP, 2020) por meio da emissão ativos ambientais por parte dos produtores de CBIO, isto é, Créditos de Descarbonização, que são comercializados como título em bolsa de valores para o mercado de combustíveis fósseis (SOARES; JUNIOR, 2021).

Já em 2018 a ANP publicou a Resolução ANP 719 (ANP, 2018), alterando a ANP 67/2011, que determina que os agentes da indústria de etanol tenham um estoque mínimo de etanol anidro para garantir a mistura no período da entressafra e outros biocombustíveis para o aprimoramento da qualidade regulatória. Um marco regulatório mais recente é a assinatura da medida provisória de n° 1.063 que flexibiliza a comercialização de combustíveis permitindo aos fornecedores, isto é, o produtor ou importador, realizarem a venda direta para revendedores sem o distribuidor como intermediário (VIDAL, 2022).

### 3.3 PRINCIPAIS MARCOS REGULATÓRIOS DO ETANOL NO MUNDO

O consumo de etanol como combustível é estimulado e regulado em diversos países. Segundo a agência governamental dos Estados Unidos *Energy Information Administration* (EIA), os países que mais consomem o etanol como combustível são, em primeiro lugar os Estados Unidos com 838 milhões de barris por dia, em segundo lugar o Brasil com 359 milhões de barris por dia, seguido da China (43 milhões), Canadá (41 milhões), Alemanha (27 milhões) e Reino Unido com 17 milhões de barris por dia (EIA, 2024).

Um dos principais marcos regulatórios para entender a relevância do etanol como combustível no mundo é a porcentagem de mistura de etanol em gasolina, considerando que é o formato mais dominante de consumo de etanol como combustível. O Painel de Mistura de Biocombustíveis do EPE (Empresa de Pesquisa Energética) resume de forma visual o mandado de porcentagem de biocombustíveis de 51 países / estados no mundo como apresentado na Figura 10.



Figura 10 - Países e estados inseridos no Painel de Mandatos de Misturas de Biocombustíveis.

Fonte: EPE, 2022.

Considerando o interesse do estudo do etanol em diversos países, o Painel resume a porcentagem de mistura de 35 países / estados resumidos no Quadro 1 que mostram a relevância do etanol como combustível no cenário mundial.

Abrangência	País / Estado ou Província	Região	Mandato de Etanol em %
Nacioanal	Canadá	América do Norte	5% v/v
Subnacional ou Estadual	Minnesota	América do Norte	10% v/v
Subnacional ou Estadual	Luisiana	América do Norte	2% v/v
Subnacional ou Estadual	Missouri	América do Norte	10% v/v
Subnacional ou Estadual	Oregon	América do Norte	10% v/v
Subnacional ou Estadual	British Columbia	América do Norte	5% v/v
Subnacional ou Estadual	Alberta	América do Norte	5% v/v

Subnacional ou Estadual	Saskatchewan	América do Norte	7,5% v/v
Subnacional ou Estadual	Ontário	América do Norte	15% v/v
Subnacional ou Estadual	Manitoba	América do Norte	10% v/v
Nacional	Brasil	América do Sul	27% v/v
Nacional	Argentina	América do Sul	12% v/v
Nacional	Colômbia	América do Sul	6% v/v
Nacional	Uruguai	América do Sul	5% v/v
Nacional	Equador	América do Sul	10% v/v
Nacional	Peru	América do Sul	10% v/v
Nacional	Áustria	Europa	3,4% teor energ
Nacional	Bélgica	Europa	6,5% teor energ
Nacional	França	Europa	9,2% teor energ
Nacional	Polônia	Europa	3,2% teor energ
Nacional	Bulgária	Europa	9% v/v
Nacional	Chéquia	Europa	4,1% v/v
Nacional	Croácia	Europa	0,01% teor energ
Nacional	Grécia	Europa	3,3% v/v
Nacional	Romênia	Europa	8% v/v
Nacional	Hungria	Europa	6,1% teor energ
Nacional	Eslováquia	Europa	9% v/v
Nacional	Irlanda	Europa	15% v/v
Nacional	Lituânia	Europa	10% teor energ
Subnacional ou Estadual	New South Wales	Oceania	2,6% v/v
Subnacional ou Estadual	Queensland	Oceania	3% v/v
Nacional	África do Sul	África	2% v/v
Nacional	Índia	Ásia	2% v/v
Nacional	Indonésia	Ásia	5% v/v
Nacional	China	Ásia	10% v/v

Quadro 1 - Mandato de porcentagem de etanol inseridos no Painel de Mandatos de Misturas de Biocombustíveis.

Fonte: EPE, 2022.

Seguindo o mesmo contexto histórico do Brasil, os Estados Unidos, maior produtor de etanol do mundo, registrou os primeiros marcos regulatórios do uso do etanol como combustível na década de 1970 devido ao declínio da produção de petróleo e a alta dos preços mundiais (JOHNSON et al., 2021). Durante a década de 70 houve diversas iniciativas financeiras para consolidar a mistura de gasolina e etanol e reduzir a dependência da gasolina

nos Estados Unidos. Em 1978 o congresso americano aprovou a isenção do imposto federal sobre o combustível misturado com 10% de etanol (E10).

Já em 1979 aconteceu a segunda alta do preço do petróleo que assegurou legislações pró-etanol como resposta às companhias de petróleo que faziam resistência à mistura do etanol à gasolina. O decreto *Gasohol Competition Act* de 1980 triplicou a compensação recebida pelas companhias de etanol que fossem discriminadas. O decreto do *Crude Oil Windfall Profits Tax* de 1980 ampliou a isenção do imposto de consumo para misturas com baixo teor de álcool. A regulação de *Energy Security Act* de 1980 forneceu cerca de 1 bilhão de dólares para a construção de usinas de etanol (JOHNSON et al., 2021).

Durante os anos de 1980 a 1990 o uso do etanol teve como principal objetivo substituir o TEL (*Tetraetilchumbo*) como intensificador de octanagem na gasolina, competindo com o metanol, éter metil terc-butílico (MTBE) e aromáticos. Apesar do preço mais baixo que os outros ativos e das propriedades de alta octanagem, o uso do etanol permaneceu estagnado entre 1985 e 1990, como é possível ver na Figura 11. Os principais motivos para esse comportamento foram os boicotes realizados pelos próprios motoristas que acreditavam que o etanol era o causador dos problemas de entupimento no motor, o aumento da volatilidade da gasolina misturada com etanol, e a queda dos valores da gasolina, fazendo o etanol mais competitivo (JOHNSON et al., 2021).

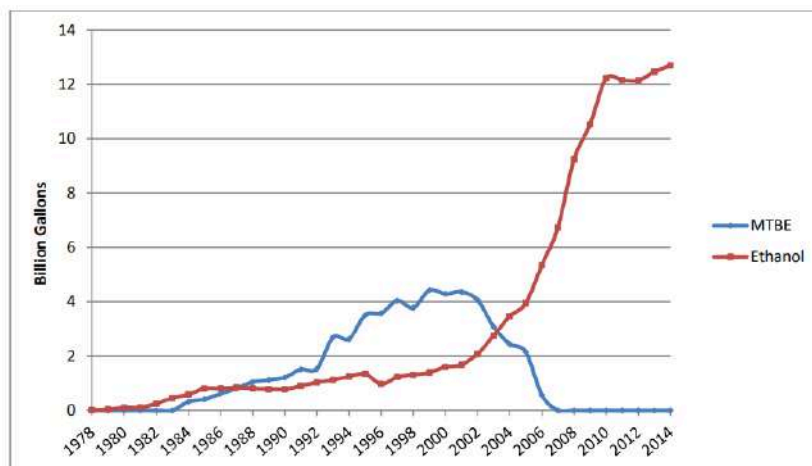


Figura 11 - Consumo de Etanol e MTBE durante os anos nos Estados Unidos.

Fonte: JOHNSON et al., 2021.

Foi a partir de 1997 que o uso do etanol como mistura (E10) começou a superar o uso do MTBE, quando foram encontrados vestígios de MTBE em locais de abastecimento de água subterrânea contaminando o consumo de água. Para consolidar as regulações dos combustíveis no país, o congresso americano estabeleceu o *Renewable Fuel Standard* em

2005, que se tornou a principal força motriz para o aumento do uso de etanol. Além de introduzir a E10 como a mistura correta para o mercado, também introduziu no mercado, posteriormente, veículos que pudessem usar uma maior porcentagem de etanol na mistura (veículos *flex fuel*) (JOHNSON et al., 2021).

Diferentemente do Brasil, os Estados Unidos não utilizam o etanol hidratado, isto é, puro, sem mistura, como combustível. O motivo são os custos mais altos para a produção de etanol nos EUA comparado ao Brasil, tornando o etanol hidratado um combustível menos vantajoso para o consumo (JOHNSON et al., 2021). O mais próximo ao etanol combustível brasileiro é o E85, definido como um combustível limpo alternativo em 1990 e que contém uma porcentagem de 51% a 83% de etanol, e que devem ser usados apenas em veículos *flex fuel*. Muitas legislações foram criadas e endereçadas para os consumidores, produtores de combustível e fábricas de automóveis nos Estados Unidos com pouco sucesso no consumo que ainda é muito limitado. Apesar do incentivo para fabricação e compra de veículos *flex fuel*, a infraestrutura de postos de gasolina que oferecem E85 para o consumidor é precária. Segundo o departamento de energia dos Estados Unidos (2020), apenas 2% dos postos disponibilizam a E85, distribuídos desigualmente entre os estados. Embora o número ainda seja pequeno, algumas políticas permitem que esse número aumente a cada ano, como a “*Alternative Fuel Infrastructure Tax Credit*” que a partir de 2005, concedeu uma taxa de crédito de 30% a 50% do custo de construção de postos (JOHNSON et al., 2021).

A China é o terceiro país que mais consome etanol como combustível (EIA, 2024), além de ser o quinto país que mais exportou etanol brasileiro em 2021, segundo o observatório da cana (UNICADATA, 2024). O uso do etanol como combustível é por meio da mistura de 10% etanol com 90% de gasolina (E10). A primeira política que beneficiou os produtores de etanol na China que concedeu subsídios e redução ou isenção de taxas foi estabelecida em 2002 devido ao alto nível de estoque de milho. Além do incentivo à produção, também foram criadas políticas de incentivo ao consumo do combustível no país. Diferente do caso brasileiro, na China o E10 é distribuído aos consumidores do programa regional, que só permite a distribuição nas províncias próximas às áreas de produção. Conforme a diminuição do estoque, o governo Chines começou a não aprovar a construção de novas refinarias baseadas em milho a partir de 2007, e iniciou o incentivo ao etanol produzido a partir de mandioca e sorgo doce (LI et al, 2017).

Em 2023, a regulação de combustíveis limpos do Canadá, que estava sendo revista desde sua proposição em 2016, foi colocada em vigor ampliando para todo o país as medidas que já existiam em alguns estados. No caso do etanol combustível, a mistura com a gasolina

já era mandatória em alguns estados como na Manitoba, Sascachevão e Colúmbia Britânica (ECCC, 2022).

O quinto país com o maior consumo de etanol como combustível e o primeiro na União Europeia é a Alemanha (EIA, 2023). Como parte da União Europeia, a Alemanha seguiu as diretivas de 2003 sobre o uso de biocombustíveis que previa um acréscimo de 2% até 2005, de 5,75% até 2010 e de 10% até 2015, e que também incentivava a criação de estratégias nacionais (FERES, 2010). Uma dessas estratégias foi a isenção de taxas para biocombustíveis, pagas por outros tipos de combustíveis para aumentar o consumo e competitividade no mercado (HENKE et al., 2005). Em 2010, o governo alemão introduziu a mistura E10, aumentando a porcentagem máxima de etanol que pode ser misturado a gasolina de 5% para 10% (TOSUN, 2016).

As políticas energéticas em busca de combustíveis renováveis no Reino Unido, teve início em 2005 com o anúncio do governo sobre a efetivação da política de Obrigação de Combustível Renovável para transporte, que tinha como objetivo garantir que 5% dos combustíveis fossem de fontes renováveis até 2010. Durante os anos, essa política teve algumas mudanças e em 2017 as metas foram estabelecidas para 9,75% em 2020, subindo para 12,4% em 2032. Como umas das estratégias para alcançar essa meta, também em 2017, o governo começou a estudar a viabilidade da introdução do E10 no mercado, que até o momento utilizava E5 (HINSON et al., 2019). Mas foi só em 2021, após um extenso processo de consulta, que o Departamento de Transportes anunciou que a legislação para introduzir a gasolina E10 como gasolina padrão (GRATTON, 2021).

### 3.4 CONSIDERAÇÕES GERAIS DA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica tem como objetivo introduzir assuntos importantes como a cadeia de produção de etanol para as principais matérias-primas, apresentar os dados mais recentes de produção de etanol e as matérias-primas utilizadas no Brasil e no mundo, apresentar a estrutura do mercado brasileiro e seus órgãos reguladores, introduzir as políticas mundiais que incentivaram os marcos regulatórios mundial e apresentar os o histórico de marcos regulatórios do Brasil e do mundo.

Na revisão da cadeia produtiva de etanol foram apresentados os estágios da produção, e os processos químicos e bioquímicos para as matérias-primas de maior relevância para o mercado brasileiro e mundial, a cana de açúcar, o milho e a produção de etanol de segunda

geração. Como destaque na produção de etanol, foi possível observar que os Estados Unidos e o Brasil são os países que anualmente lideram com uma ampla margem dos demais países, e possuem matéria-prima de destaque nas suas produções distintas.

Considerando os marcos regulatórios, é possível destacar a relevância dos mandatos de etanol ao redor do mundo que mostram a atuação da regulação perante as políticas mundiais e os países com maior receptividade para o uso do etanol como combustível. Além disso, é possível destacar marcos importantes para o destaque do Brasil como consumidor de etanol combustível e com o maior arcabouço regulatório, o pioneirismo do programa Pró-álcool, o programa RenovaBio e a porcentagem de mistura de etanol.

## 4 METODOLOGIA

O presente capítulo apresenta a metodologia de estudo de caso analítico usada na pesquisa para mapear e analisar os marcos regulatórios brasileiros.

Para a fundamentação teórica e revisão bibliográfica foram utilizados relatórios e documentos recentes, de 2000 a 2024, de organizações como ANP, Novacana, Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), BNDES (Banco Nacional do Desenvolvimento) e EPE, com objetivo de ter confiabilidade nas informações. Foram utilizadas banco de dados como o *Google Scholar* e Periódicos CAPES, para identificação e seleção de artigos, livros e teses com relevância e que foram citados em outros trabalhos, publicados de 2000 a 2024, contendo as palavras-chave “etanol”, “combustível”, “produção” e “regulação”, e que pudessem abranger os temas necessários do tema abordado no estudo, de modo que a bibliografia seja capaz de responder questões de pesquisa elaboradas, como “Como é a estrutura do mercado do etanol combustível no Brasil?” e “Quais são os principais marcos regulatórios do etanol combustível no Brasil e no mundo e em que contexto eles estão inseridos?”. Além disso, também foram pesquisadas de forma complementar as legislações mencionadas, leis e decretos, nos sites oficiais do planalto e no Portal da Legislação.

Para a análise dos marcos regulatórios, foram selecionados dados abertos de etanol combustível de produção, importação, exportação, vendas, consumo, participação das distribuidoras, preço médio e emissão de CBIOS do Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis de 2018 (faixa de dados de 2008 a 2018) e 2023 (faixa de dados de 2013 a 2023), de forma complementar, que consolida os dados referentes ao desempenho da indústria do petróleo, gás natural e biocombustíveis e do sistema de abastecimento nacionais no período 2008-2022 da ANP e do Anuário da Indústria Automobilística Brasileira de 2024 da Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA) para compor a análise junto da revisão bibliográfica abordada. A ANP foi selecionada como fonte dos dados considerando que a mesma é o órgão que regula o setor, trazendo confiabilidade aos dados e informações. Foram selecionados os anuários de 2018 e 2023 por serem o mais antigo e mais recente respectivamente disponíveis, e de modo complementar para que fosse possível analisar com mais abrangência de tempo. O anuário da ANFAVEA foi selecionado por ser o mais recente disponibilizado.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 ANÁLISE DOS MARCOS REGULATÓRIOS

A partir da revisão bibliográfica, foi possível identificar 12 marcos regulatórios de relevância para o Brasil, a partir do primeiro grande marco em 1931 de adição obrigatória de 5% de álcool à gasolina. Ao observar o resumo dos principais marcos regulatórios por ano (Quadro 2), é possível verificar o aumento de marcos nos últimos anos, principalmente durante 1975 e 2016, motivados principalmente pelos 2 grandes programas de incentivo ao etanol combustível lançados no Brasil, o Proálcool e o RenovaBio, respectivamente. Ao compararmos com os países, apenas os Estados Unidos possuem um alto número de marcos regulatórios relevantes como o Brasil, com 7 grandes marcos entre 1970 e 2005, resumidos no Quadro 3. Para os demais países, os principais marcos regulatórios do etanol combustível são mais recentes, se concentrando nos anos 2000.

Ano	Marco Regulatório
1931	Decreto nº 19.717 - Adição obrigatória de 5% de álcool à gasolina
1975	Proálcool
1979	Proálcool - Produção de automóveis adaptados
1988	Constituição de 1988 - incentivo a livre concorrência
1993	Lei 8.723/1993 de Redução de Emissões Veiculares - Aumento do percentual de mistura obrigatória para 25%
1997	Lei 12.490 - Criação da ANP
2003	Desenvolvimento da tecnologia flex fuel
2011	Medidas emergências temporárias
2015	Portaria MAPA N°75 de 05/03/2015 - Aumento do percentual de mistura obrigatória para 27%
2016	Lei nº 13.576 - RenovaBio
2018	Resolução ANP 719 - Determinação de estoque mínimo
2021	Medida provisória de nº 1.063 - Flexibilização da comercialização do etanol

Quadro 2 - Distribuição dos principais marcos regulatórios por ano no Brasil.

Fonte: Elaboração própria, 2024.

Ano	Marco Regulatório	País
1978	Isenção do imposto federal sobre o combustível misturado com 10% de etanol (E10)	EUA
1980	Decreto Gasohol Competition Act - Triplicou a compensação as empresas de etanol que fossem discriminadas	EUA
1980	Decreto do Crude Oil Windfall Profits Tax - Isenção do imposto de consumo para misturas	EUA
1980	Regulação de Energy Security Act - 1 bilhão de dólares para a construção de usinas de etanol	EUA
1990	Definição do E85	EUA
2003	Lei sobre o controle da qualidade da gasolina e de outros combustíveis - Permite a mistura de etanol até 3% em volume a gasolina	Japão
2005	Alternative Fuel Infrastructure Tax Credit - Concedeu uma taxa de crédito de 30% a 50% do custo de construção de postos	EUA
2005	<i>Renewable Fuel Standard</i>	EUA
2005	Lei de promoção aos biocombustíveis 2748 - Estabelece os biocombustíveis como interesse nacional	Paraguai

Quadro 3 - Distribuição dos principais marcos regulatórios por ano em diferentes países.

Fonte: Elaboração própria, 2024.

Com o objetivo de analisar como a regulação afetou historicamente o mercado do etanol no Brasil, foi realizado levantamento de dados da produção, exportação, importação e consumo do etanol, e o licenciamento de automóveis.

Para o levantamento da produção de etanol no Brasil, foram usados os dados de produção de etanol anidro e hidratado por ano, apresentados na Figura 12. Analisando os principais marcos regulatórios dos últimos anos podemos observar o impacto do marco regulatório realizado em 2011 para reduzir os preços do etanol, devido a alta demanda de exportação do açúcar e menor produção de etanol. A redução temporária do percentual obrigatório da mistura e importação com especificação diferenciada permitiu que nos anos seguintes houvesse um aumento controlado da produção até 2015.

Também é possível observar outro pico na produção de etanol no ano de 2019, aumento liderado pela iniciativa lançada em 2016, o RenovaBio, e o decaimento a partir de 2020 pela pandemia da COVID-19. A partir da estabilização dos mercados após pandemia e marcos regulatórios que flexibilizam a comercialização de combustíveis, permitindo aos produtores realizarem a venda direta para revendedores, é possível observar novamente o aumento da produção a partir de 2022.

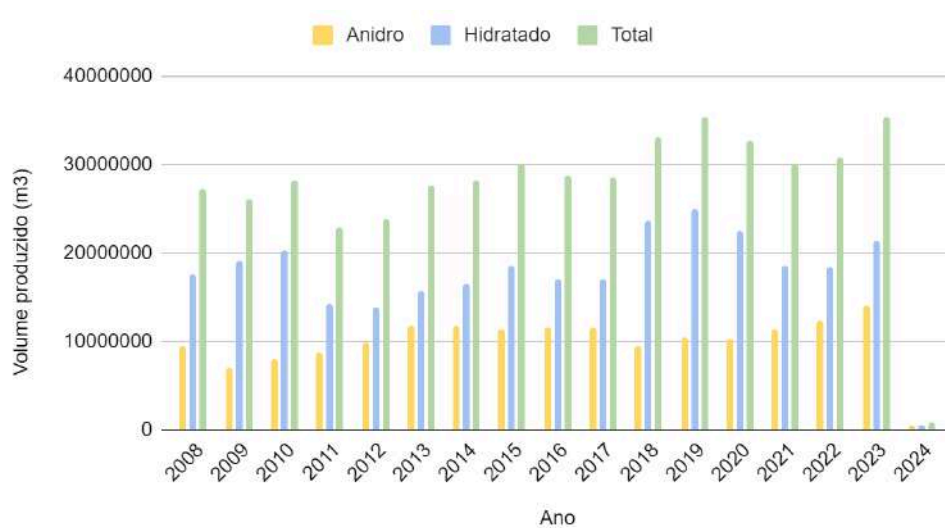


Figura 12 - Produção de etanol por ano no Brasil.

Fonte: ANP (2018), ANP (2023).

Além da produção é importante analisar como a exportação e importação do etanol pelo Brasil são influenciadas pelos marcos regulatórios nacionais e pelas políticas mundiais. Portanto, foram analisados os dados de importação e exportação disponibilizados pela ANP e pela Secretaria de Comércio Exterior que apresenta o volume em m<sup>3</sup> de etanol anidro e hidratado por ano de 2012 a 2023, respectivamente apresentados nas Figuras 13 e 14, e dados de volume de importação e exportação de etanol segundo regiões geográficas e países do anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis de 2023 da ANP, apresentados nas Figuras 17 e 18.

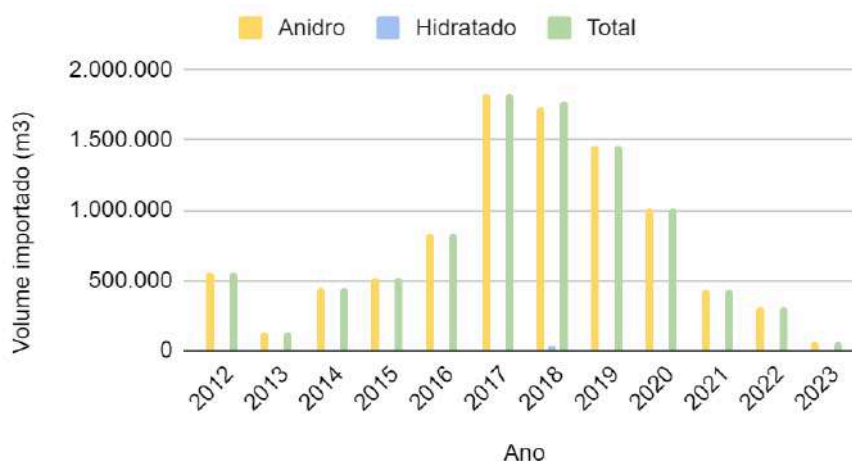


Figura 13 - Importação de etanol por ano do Brasil.

Fonte: ANP (2024).

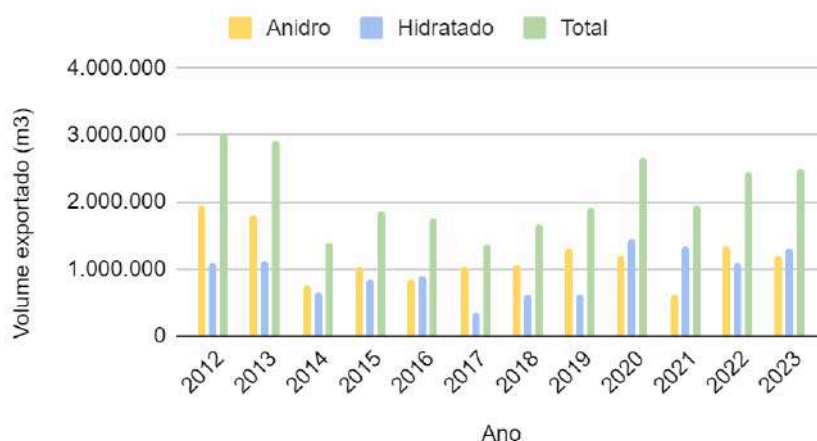


Figura 14 - Exportação de etanol por ano do Brasil.

Fonte: ANP (2024).

Nas Figuras 13 e 14 é possível observar que a exportação do etanol tem valores maiores que a importação, principalmente quando observamos o etanol hidratado, isto é, o etanol usado no Brasil como combustível puro e em diversas outras indústrias. Ao relacionarmos os gráficos de produção, importação e exportação de etanol, observamos que a produção de etanol hidratado é maior que a do etanol anidro, contudo a importação do mesmo é consideravelmente menor que a do etanol anidro, portanto o Brasil consome majoritariamente o etanol hidratado brasileiro, considerando que é o único país que consome etanol combustível.

Analisando os marcos regulatórios, é possível perceber que as medidas emergenciais temporárias de redução temporária do percentual obrigatório da mistura para 20%, e importação do etanol com especificação diferenciada, com o objetivo de conter os preços dos combustíveis e evitar o desabastecimento de etanol (BARAN E ESTEVES, 2011) também geraram efeitos na importação, exportação e consumo. Com o aumento controlado da produção até 2015 é possível verificar uma diminuição da importação nos anos de 2012 e 2013 e o declínio gradual da exportação do etanol hidratado até 2014. O efeito também pode ser percebido ao analisar o gráfico da Figura 15 de venda de etanol hidratado por ano, consumido como etanol combustível, que também apresenta uma diminuição do consumo entre os anos de 2011 a 2014 em comparação com os outros anos.

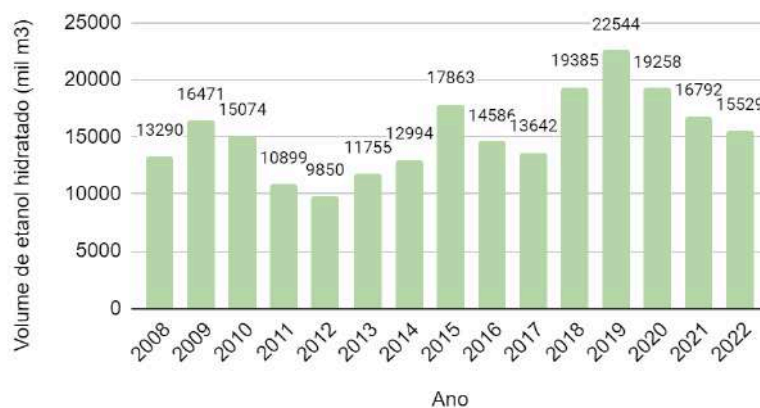


Figura 15 - Venda de etanol hidratado pelas distribuidoras por ano do Brasil.

Fonte: ANP (2018), ANP (2023).

Em contrapartida, o marco regulatório de 2015 com o objetivo de fortalecer o setor (NOVACANA, 2015) regula o mercado e aumenta a importação, exportação e consumo de etanol em 2015.

Apesar do quarto marco regulatório de relevância, o RenovaBio, lançado no final de 2016 (SOARES; JUNIOR, 2021), ter sido relevante e ter gerado impacto na produção do etanol hidratado, não é possível observar os impactos na exportação, que se manteve baixa entre os anos de 2016 e 2019, e no consumo do etanol combustível / venda pelas distribuidoras nos anos de 2016 e 2017. Isso acontece porque existem vários fatores além das regulações que podem impactar a exportação, importação, produção e consumo do etanol, como por exemplo a oferta e a demanda global, que também é impactada por outras alternativas energéticas, como o petróleo, ou as taxas de câmbio que afetam a importação e exportação, já que com a valorização ou desvalorização do real o etanol brasileiro se torna mais competitivo ou menos acessível (KOHLHEPP, 2010). Além disso, fatores sociais também podem influenciar, como por a pandemia da COVID-19 que impactou a demanda global de etanol combustível, reduziu o uso de veículos, dessa forma é possível observar que o consumo de etanol hidratado diminuiu a partir de 2020. Além disso, a queda na demanda global por petróleo durante a pandemia fez com que os preços do petróleo caíssem consideravelmente. Como resultado, a gasolina ficou mais barata em comparação ao etanol, tornando este último menos competitivo e reduzindo ainda mais seu consumo (SAFRAID et al., 2022).

Portanto, outro fator que também impacta o consumo são as flutuações de preços dos combustíveis. Os dados de preço médio do litro de etanol hidratado vendido ao consumidor

por ano são apresentados na Figura 16. O aumento do combustível impacta o consumo, principalmente a partir de 2020.

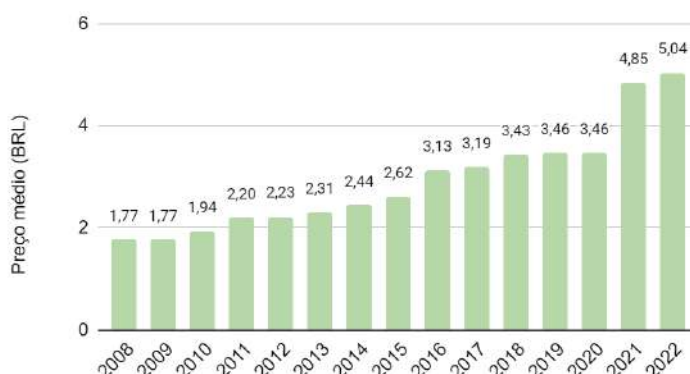


Figura 16 - Preço médio do litro de etanol hidratado por ano do Brasil.

Fonte: ANP (2018), ANP (2023).

Para além dos marcos regulatórios brasileiros, para entender melhor a exportação e importação de etanol é preciso entender os principais marcos regulatórios dos países que possuem interface com o Brasil, resumidos no Quadro 3. Na Figura 17, podemos observar que os países os quais o Brasil mais importa etanol são os Estados Unidos, 70% do volume importado entre os anos de 2013 e 2023, e o Paraguai com 25%. A porcentagem de 0,8% do Brasil representa a re-importação do etanol brasileiro, segundo o relatório da ANP. Os Estados Unidos são o maior produtor de etanol do mundo produzindo uma quantidade expressiva de etanol a partir do milho, sendo responsáveis por cerca de 54% da produção global (VIDAL, 2021). E o Paraguai que possui sua produção de etanol predominantemente a partir da cana-de-açúcar e melado, com uma pequena parte proveniente de grãos como sorgo e milho, também é considerado uma potência pelo clima e pelas políticas nacionais, principalmente a Lei de promoção aos biocombustíveis 2748 de 2005 que estabelece os biocombustíveis como interesse nacional (HOPKINS, 2008). Além disso, o preço da gasolina no Paraguai aumentou nos últimos anos, o que resultou na diminuição da demanda por gasolina no país e conseqüentemente por etanol, o que permitiu que os produtores do país buscassem outros mercados consumidores (GOTTEMS, 2020).

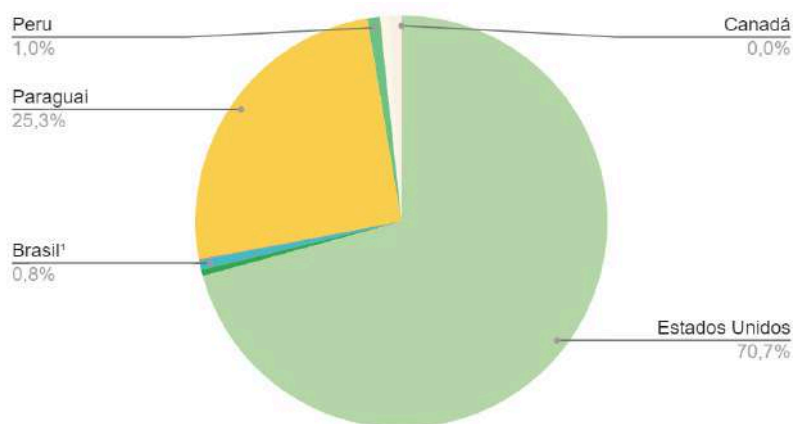


Figura 17 - Principais países importadores de etanol para o Brasil.

Fonte: ANP (2023).

O número de países com percentual relevante que exportam etanol do Brasil é bem maior que o da importação. Na Figura 18, podemos observar que os países que o Brasil mais exporta etanol são os Estados Unidos, com 46% do volume exportado entre os anos de 2013 a 2023, os Países Baixos com 16%, e o Japão e a Coreia do Sul com 8%. Os Estados Unidos, além de serem os maiores produtores de etanol, eles também são o maior consumidor de etanol combustível do mundo. Eles utilizam aproximadamente 37% da produção global de etanol, com a maior parte sendo consumida internamente. Esses dados refletem a grande demanda interna dos Estados Unidos por etanol, principalmente como aditivo na gasolina (KOHLHEPP, 2010). Como parte da União Europeia, os Países Baixos possuem a porcentagem de mistura obrigatória de etanol na gasolina de 10% (E10), possui um consumo de etanol combustível relativamente baixo em comparação com outros países europeus, além de produção interna de biocombustíveis e à preferência por outras fontes de energia renovável (BROWN, 2022), incoerente com a posição de segundo maior importador do etanol brasileiro. Contudo, os Países Baixos atuam como um fornecedor de etanol no comércio europeu. Com seu avançado setor logístico e portos eficientes, especialmente o Porto de *Rotterdam*, facilita a redistribuição de etanol para outros países da União Europeia (KOHLHEPP, 2010).

A Coreia do Sul tem se mostrado um mercado importante, com 8,6% do volume de etanol exportado do Brasil. A demanda por etanol no país é impulsionada tanto pelo uso industrial quanto pelo objetivo de aumentar o uso de biocombustíveis em sua matriz energética. Para isso, o país tem promovido a utilização de biocombustíveis, que no momento possui a porcentagem de mistura obrigatória de etanol na gasolina de 3%, com objetivo de aumentar gradualmente até 2030 (IEA, 2021).

Com 8,1% do volume de etanol exportado do Brasil, o Japão é o quarto maior exportador. Desde 2003 o Ministério da Economia, do Comércio e da Indústria (METI) do Japão, permite a mistura direta de etanol até 3% em volume a gasolina a partir da Lei sobre o controle da qualidade da gasolina e de outros combustíveis, com a meta de misturar 10% de etanol na gasolina até 2030, o país tem explorado parcerias internacionais para garantir um fornecimento estável de etanol, e o Brasil, como um dos maiores produtores e exportadores de etanol do mundo, é um parceiro-chave nessa iniciativa (USDA, 2022). Além disso, o Japão está interessado no uso do etanol para a produção de *Sustainable Aviation Fuel* (SAF), um combustível sustentável para aviação (USDA, 2022).

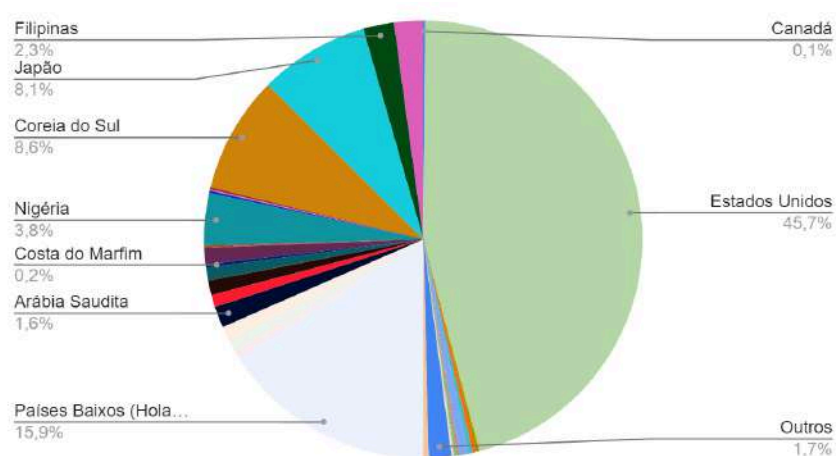


Figura 18 - Principais países exportadores de etanol brasileiro.

Fonte: ANP (2023).

Outro grande marco regulatório que impactou os hábitos de consumo da sociedade brasileira e estabeleceu o etanol como um combustível competitivo no mercado, foi o desenvolvimento da tecnologia *flex fuel*, que permitia o consumo da mistura dos combustíveis, gasolina-etanol hidratado em qualquer proporção (RAMOS, 2016). O Brasil é o líder mundial em veículos *flex fuel*, resultado de uma política governamental que incentiva o uso de biocombustíveis desde a década de 1970. Desde a introdução dos veículos *flex fuel* em 2003, a maioria dos carros novos vendidos no país adotou essa tecnologia (ANFAVEA, 2021). Esses dados podem ser verificados por meio dos relatórios da Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA) sintetizados na Figura 19 que apresenta o número de veículos licenciados por ano, desde 1979 (primeiro ano com veículos por etanol) a 2023, e por tecnologia de combustível: Etanol, *flex fuel* e Gasolina.

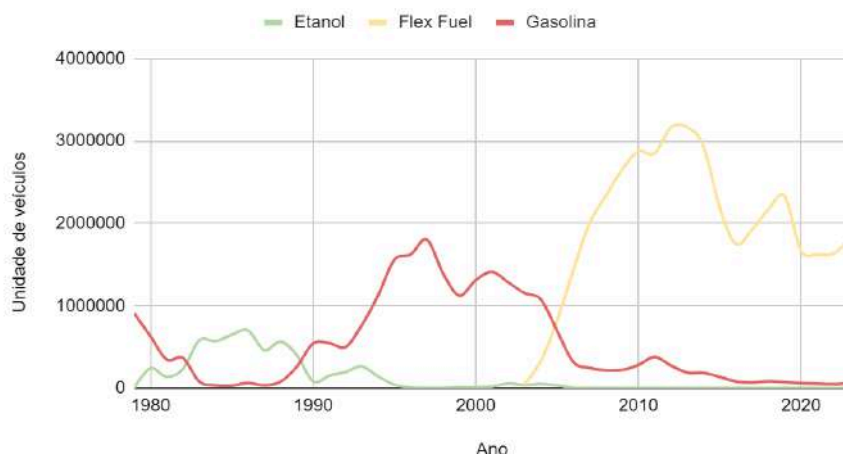


Figura 19 - Licenciamento de automóveis novos por combustível por ano no Brasil.

Fonte: ANFAVEA(2024).

A introdução dos veículos *flex fuel* no país foi em 2003, e em 2005 a frota de veículos *flex fuel* licenciada anualmente é maior que os outros tipos de combustíveis (ANFAVEA, 2024).

Além do Brasil, outros países investem em veículos *flex fuel*. Nos Estados Unidos, a frota de veículos *flex fuel* também é expressiva, especialmente no meio-oeste, onde a produção de etanol é alta. Segundo o Centro de Dados de Combustíveis Alternativos do Departamento de Energia dos Estados Unidos, foram registrados cerca de 21 milhões de veículos *flex fuel* no país no ano de 2022 (AFDC, 2022). No Canadá, a frota de veículos *flex fuel* é mais popular que o diesel em 7 das 10 províncias canadenses (VESH, 2021).

A Suécia é um dos poucos países europeus onde há presença de veículos *flex fuel*. Incentivada por políticas governamentais que promoveram o uso de etanol e de veículos *flex fuel* entre os anos de 2002 a 2008, a frota teve seu pico em 2008 com 18000 veículos. A partir desse ano a frota começou a diminuir, principalmente pela alternativa de veículos com menor emissão de carbono e a mudança na estrutura de incentivo dos proprietários de veículos *flex fuel*. Em outros países, como Alemanha, França, China e Índia, os veículos *flex fuel* têm uma presença muito menor. Isto se deve, em grande parte, à menor disponibilidade de etanol e políticas de incentivo menos agressivas em comparação com os principais mercados (SPREI, 2013).

## 5.2 IMPACTO ECONÔMICOS DOS MARCOS REGULATÓRIOS NO MERCADO BRASILEIRO

As políticas que regulam o mercado de etanol no Brasil têm um impacto econômico importante, influenciando desde a agricultura, o desenvolvimento da indústria nacional, até o comércio internacional, por meio de políticas de exportação que tornam o etanol brasileiro mais competitivo no mercado internacional (ROSA et al., 2018).

As políticas de exportação de etanol no Brasil são formuladas para equilibrar a oferta e a demanda interna com as oportunidades de mercado no exterior. O governo brasileiro apoia as exportações de etanol por meio de diversas políticas e programas que incentivam a produção sustentável e a competitividade no mercado internacional (MME, 2021). O Plano Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio) é um exemplo de política que visa aumentar a eficiência e a sustentabilidade na produção de biocombustíveis, incluindo o etanol (MME, 2021).

Além das variações de demanda por etanol no mercado internacional por fatores econômicos, políticos e ambientais, o Brasil também enfrenta competição de outros grandes produtores de etanol, como os Estados Unidos. Para isso, o Brasil mantém acordos comerciais e parcerias com vários países e blocos econômicos, como os Estados Unidos, União Europeia e Japão, para facilitar o comércio de etanol. Esses acordos podem incluir a redução de tarifas e barreiras comerciais (MAPA, 2021).

As exportações de etanol do Brasil são fortemente influenciadas pelas políticas tarifárias dos países importadores, bem como pelos subsídios concedidos aos produtores locais (ROSA et al., 2018). Schutte & Barros (2010) também destacaram que, no início do século 21, o Brasil enfrenta desafios para se firmar como exportador de etanol, incluindo a necessidade de estabilização do mercado internacional para o produto, falta de padronização e qualidade dos produtos, as medidas protetoras ao mercado nacional e a competição com o mercado interno de cada país.

Os produtores nacionais de outros países não podem competir com o preço do etanol brasileiro. Para defender a produção nacional, os países tendem a criar barreiras de importação, estabelecendo entraves técnicos e exigências ao comércio. Uma solução para esse problema é a comoditização do etanol por meio de certificações com parâmetros padronizando o processo de plantação da cana-de-açúcar, produção do etanol, e até a distribuição nacional e internacional (ROSA et al., 2018).

O mercado de etanol combustível no Brasil é dominado por várias empresas que desempenham papéis cruciais na produção, distribuição e exportação de etanol. Estas empresas variam desde grandes conglomerados industriais até cooperativas agrícolas. Algumas das empresas desse setor são a Raízen, Vibra, Ipiranga, São Martinho, *Tereos Internacional*, Copersucar, Usina Coruripe e Adecoagro.

Uma das maiores empresas de energia do Brasil e uma das maiores produtoras de etanol do mundo, a Raízen opera mais de 30 usinas de açúcar e etanol no Brasil e foi responsável por 19,95% da venda de etanol do país em 2022 (ANP, 2023). A empresa também está envolvida na distribuição e comercialização de combustíveis, incluindo a exportação de etanol para diversos mercados internacionais (RAÍZEN, 2024). Além da Raízen, outros *players* que dominam as vendas de etanol nacional são a Vibra com 18,10% das vendas e a Ipiranga com 16,47% (ANP, 2023).

Há também ação de alguns *players* brasileiros como a São Martinho e Usina Coruripe que são importantes produtores de etanol. O Grupo São Martinho opera 4 usinas no estado de São Paulo e uma no estado de Goiás, e possui capacidade de moagem de mais de 24 milhões de toneladas de cana-de-açúcar por ano (SÃO MARTINHO, 2024). Já a Usina Coruripe opera nos estados de Alagoas, Minas Gerais e Mato Grosso do Sul, e possui capacidade de moagem de mais de 16,2 milhões de toneladas de cana-de-açúcar por ano, sendo um importante fornecedor de etanol para o mercado interno e para exportação (USINA CORURIFE, 2024).

Alguns *players* internacionais também atuam no Brasil produzindo e exportando etanol. A Adecoagro opera em vários países da América Latina, sendo três usinas de açúcar e etanol no Brasil, localizadas no estado de Mato Grosso do Sul (NOVA CANA, 2024).

Segundo o relatório da *Mordor Intelligence* (2024), outros grandes *players* internacionais que são os líderes do mercado de etanol são ADM, POET, LLC, Valero, *Green Plains Inc.* e *Bunge North America, Inc.* O relatório que analisa e prevê o crescimento desse mercado acredita que a região norte americana domina e continuará dominando o mercado global. Os motivos que vão impulsionar a procura de etanol na região são as regulamentações rigorosas para a redução do uso de combustíveis fósseis e o aumento da procura por parte da indústria de processamento de alimentos (MORDOR INTELLIGENCE, 2024). Apesar da análise realizada pelo relatório apontar um crescimento do mercado na região norte americana, o atual cenário político, principalmente nos Estados Unidos não corresponde às redução do uso de combustíveis fósseis.

Complementando a atividade, que prevê crescimento, dos principais *players* do mercado de etanol no Brasil, o relatório dos Panoramas Setoriais 2030 sucroenergético (2017) relacionou alguns perfis de potenciais novos entrantes no mercado brasileiro, como *tradings de commodities* agrícolas, empresas do setor de petróleo e indústria química, indústria farmacêutica (enzimas) e indústria de papel/celulose (equipamentos para pré-tratamento). O relatório considera que as usinas processadoras de cana se tornaram biorrefinarias, assim como as refinarias de petróleo, em que há uma multiplicidade de produtos vendidos, incorporando novos produtos, como os biocombustíveis de maior densidade energética (querosene de aviação, diesel e butanol, por exemplo) e produtos químicos de maior valor agregado (MILANEZ et al, 2017).

### 5.3 IMPACTO AMBIENTAL ATUAL NO BRASIL

Para compreender os impactos das regulamentações do etanol no Brasil na sustentabilidade ambiental é preciso compreender que o etanol combustível é uma fonte de energia renovável, mas não necessariamente uma tecnologia sustentável (FERREIRA E MÈRCHER, 2018).

As fontes renováveis de energia são aquelas que se regeneram naturalmente em um curto período de tempo, tornando-se praticamente inesgotáveis no horizonte humano. Exemplos típicos incluem a energia solar, eólica, hidroelétrica, geotérmica e biomassa, que é o caso da cana de açúcar ou milho usados para produzir o etanol brasileiro. Essas fontes são vistas como alternativas aos combustíveis fósseis, como petróleo, carvão e gás natural, que são finitos e liberam grandes quantidades de gases de efeito estufa quando utilizados. No entanto, a simples renovabilidade de uma fonte não garante que seu uso seja sustentável em termos ambientais, econômicos e sociais (GOLDEMBERG, 1998).

Tecnologia sustentável envolve o desenvolvimento e a aplicação de soluções tecnológicas que minimizem o impacto ambiental, promovem a eficiência de recursos e são economicamente viáveis e socialmente equitativas. Para ser considerada sustentável, uma tecnologia deve reduzir ou eliminar a poluição e o desperdício, conservando os recursos naturais e promovendo a biodiversidade, ser economicamente acessível e contribuir para o desenvolvimento econômico, e promover a equidade social, melhorando a qualidade de vida e a justiça social para todas as comunidades envolvidas (FERREIRA E MÈRCHER, 2018).

Nesse contexto, o etanol só será considerado uma tecnologia sustentável quando implantadas com práticas de minimização de impacto ambiental e otimização de recursos.

Para minimizar o impacto ambiental é importante que o etanol brasileiro consumido e exportado siga as normas de qualidade internacionais. A exportação de etanol está sujeita a rígidos padrões de qualidade e sustentabilidade. Além disso, programas como o RenovaBio promovem a certificação de biocombustíveis sustentáveis, o que aumenta a aceitação do etanol brasileiro em mercados estrangeiros (ANP, 2021). Com o objetivo de otimizar os recursos, o aproveitamento de resíduos como o bagaço e a vinhaça também é essencial. O bagaço da cana pode ser usado como fonte de bioenergia, contribuindo para a autossuficiência energética das usinas, e a vinhaça pode ser utilizada como fertilizante no campo, reduzindo a necessidade de adubos químicos (WALTER et al., 2011).

O impacto ambiental do uso de etanol só começou a ser considerado a partir da década de 90, e o primeiro marco com esse objetivo foi em 1993, quando foi estabelecida a lei de Redução de Emissões Veiculares ( Lei 8.723/1993) que aumentou o percentual de mistura de etanol anidro à gasolina para 18 a 25% (BARAN E ESTEVES, 2011). Com o meio ambiente também em pauta, os marcos regulatórios de desenvolvimento da tecnologia *flex fuel* em 2003, medidas de redução temporária do percentual obrigatório da mistura de etanol anidro em 2011 (BARAN E ESTEVES, 2011) e medidas de aumento do percentual obrigatório da mistura de etanol anidro em 2015 (NOVACANA, 2015) também impactam no consumo de etanol e gasolina e portanto na emissão de carbono. Já o RenovaBio de 2016 estabeleceu metas anuais de descarbonização. Uma das metas do RenovaBio que orienta o aumento das exportações de etanol, considerando a escala de produção atual, é a redução de CO<sub>2</sub> para os próximos dez anos. Essa política prevê a emissão de 65 milhões de CBIOs até 2031, provenientes do etanol de cana, o que corresponde à produção de 50 bilhões de litros de etanol (RODRIGUES, 2021). Em 2022 foram emitidos quase 27 milhões de CBIOs, que equivalem a quase 27 milhões toneladas de emissão de CO<sub>2</sub> evitada (ANP, 2023).

Para além do impacto ambiental positivo do uso do etanol ao invés da gasolina, é importante compreender os impactos ambientais causados em sua produção. Previamente a produção, pode ser necessário o desmatamento da terra para o plantio, gerando gases de efeito estufa e atingindo os seres vivos presentes (VAZ DA COSTA, 2011). Na etapa do plantio da cana de açúcar, a monocultura da cana demanda elevados volumes de herbicidas e pesticidas, que podem contaminar solos e corpos d'água (SILVA et al., 2014). Na etapa de colheita da cana de açúcar, o uso de métodos como a queima pré-corte da colheita manual gera impactos ambientais liberando gases indesejados e prejudicando a saúde dos operários que inalam esses gases (VAZ DA COSTA, 2011). Além disso, o processo de irrigação e produção industrial do etanol consome grandes volumes de água, podendo causar escassez

hídrica em regiões vulneráveis e gerando a vinhaça, um resíduo que caso não seja reutilizado ou propriamente destinado, gera impacto ambiental (MARTINELLI E FILOSO, 2008). Por fim, o cultivo intensivo de cana-de-açúcar pode esgotar os nutrientes do solo, degradando e causando a erosão do mesmo (CERRI et al.,2011).

## 6 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo estudar os marcos regulatórios do etanol combustível no Brasil e no mundo para melhor compreender como estes influenciam o mercado por meio de uma análise dos impactos da sequência temporal de eventos. Para tal, foi realizada uma revisão bibliográfica para mapear os principais marcos regulatórios, e uma busca e análise de dados de produção, consumo, exportação e importação do etanol por ano.

Durante a análise dos marcos regulatórios foi possível identificar que o Brasil e os Estados Unidos são os países com o maior número de regulações associadas ao etanol combustível, e os maiores players, produzindo e exportando, etanol combustível. Apesar de existirem regulações de etanol a mais tempo no Brasil, e um maior número de marcos regulatórios, os Estados Unidos ainda são os maiores produtores e consumidores de etanol combustível. Ao observar os dados de produção, exportação, importação e consumo, foi possível observar o impacto do RenovaBio na produção de etanol a partir do ano de 2016, que a exportação possui volumes mais expressivos, e que as medidas emergenciais temporárias adotadas pelo governo em 2011 com o objetivo de evitar o desabastecimento de etanol também geraram efeitos com aumento produção controlada, diminuição importação, exportação e consumo entre os anos de 2011 a 2014, que aumentam depois do marco regulatório de 2015.

Também foi possível identificar que existem vários fatores além das regulações que podem impactar a exportação, importação, produção e consumo do etanol, como por exemplo a oferta e a demanda global, que também é impactada por outras alternativas energéticas.

Os dados de importação e exportação, mostram que os países que o Brasil mais importa etanol são os Estados Unidos e o Paraguai. E os países para os quais mais exportamos etanol são os Estados Unidos, os Países Baixos, o Japão e a Coreia do Sul.

Segundo os dados de licenciamento de automóveis por combustível no Brasil, foi possível identificar que o desenvolvimento da tecnologia *flex fuel* foi um marco regulatório de grande impacto para o consumo de etanol combustível no Brasil. Apesar do grande impacto no Brasil e nos Estados Unidos, outros países não possuem frotas expressivas.

O impacto econômico dos marcos regulatórios podem ser observados no RenovaBio com as emissões e vendas de CBIOs pelos produtores, nos acordos comerciais e parcerias com diversos países para facilitar o comércio do etanol. Além disso, podemos destacar a empresa Raízen como o principal *player* do mercado brasileiro, sendo o maior produtor e distribuidor de etanol do país.

Já o impacto ambiental só começou a ser reconhecido na década de 90, quando aconteceu a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (ECO-92) no Rio de Janeiro. O etanol combustível é considerado uma fonte de energia renovável, e uma tecnologia sustentável quando implantadas com práticas de minimização de impacto ambiental e otimização de recursos. O Quadro 4 resume os motivos e os impactos ambientais do mercado de etanol no Brasil.

<b>Motivo</b>	<b>Impacto</b>
Aproveitamento do resíduo de bagaço	Fonte de bioenergia
Aproveitamento do resíduo de vinhaça	Utilização como fertilizante
Desmatamento da terra para o plantio	Geração de gases de efeito estufa e prejuízo aos seres vivos presentes
Demanda elevados volumes de herbicidas e pesticidas	Contaminação de solos e corpos d'água
Métodos de queima pré-corte da colheita manual	Geração de gases indesejados e prejuízo a saúde dos operários
Consumo de grandes volumes de água	escassez hídrica em regiões vulneráveis e gerando a vinhaça
Cultivo intensivo de cana-de-açúcar	Degradação e erosão do solo

Quadro 4 - Motivos e impactos ao ambiente do mercado de etanol no Brasil.

Fonte: Elaboração própria, 2024.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Atualmente o Brasil é o segundo maior *player* no mercado mundial de etanol combustível. Com relação aos marcos regulatórios mais recentes, estes estão mais voltados à manutenção do arcabouço regulatório atual, com a determinação do estoque mínimo, e a flexibilização da sua comercialização que é uma tendência de mercado para outras *commodities* como por exemplo o gás natural (LYNCH, 2018).

Apesar do Brasil possuir um arcabouço regulatório robusto e pioneiro, há desafios e oportunidades que impactam a sustentabilidade e competitividade da indústria: A sustentabilidade e o impacto ambiental ao gerar resíduos e com o desmatamento e degradação do solo. O aproveitamento de subprodutos da produção de etanol, como a vinhaça e o bagaço de cana, para a geração de energia elétrica e outros produtos de valor agregado, representa uma oportunidade importante; O desenvolvimento da tecnologia com menor custo e mais eficiência na produção de etanol de segunda geração, que utiliza resíduos agrícolas, como o bagaço e a palha da cana-de-açúcar (LORENZI, 2019); As flutuações do mercado internacional, que são altamente competitivas e sensível a políticas comerciais e subsídios governamentais em outros países, além dos preços internacionais do petróleo. Para manter sua posição no mercado global, o Brasil precisa continuar a melhorar sua eficiência produtiva e buscar novos mercados para suas exportações. Mudanças nas políticas de incentivos fiscais e subsídios podem criar incertezas para os produtores e investidores. A indústria necessita de políticas de longo prazo que proporcionem um ambiente regulatório estável e favorável ao crescimento sustentável (KOHLHEPP, 2010).

Alguns aspectos relevantes identificados no estudo foram a capacidade que iniciativas públicas bem administradas e regulamentadas permitem a criação de um mercado forte e competitivo, e a importância das políticas mundiais que refletem em marcos regulatórios com ações diretas que influenciam o mercado. O estudo é relevante não só para compreender o mercado e como o Brasil se posiciona dentro dele, mas também para capturar o momento atual e como os marcos regulatórios influenciaram o seu posicionamento atual.

Algumas limitações do estudo foram a obtenção de dados de produção, exportação, importação e consumo de outros países e também uma série histórica maior do Brasil. Para trabalhos futuros é sugerido realizar um estudo mais amplo da regulação de biocombustíveis não limitando apenas ao etanol.

## REFERÊNCIAS

AFDC - ALTERNATIVE FUELS DATA CENTER. Ethanol Fuel Blends. Disponível em: <[https://afdc.energy.gov/fuels/ethanol\\_blends.html](https://afdc.energy.gov/fuels/ethanol_blends.html)>. Acesso em: 27 jul. 2024.

AFDC - ALTERNATIVE FUELS DATA CENTER. TransAtlas, 2022. Disponível em: <[https://afdc.energy.gov/transatlas/#/?fuel=E85&view=vehicle\\_count](https://afdc.energy.gov/transatlas/#/?fuel=E85&view=vehicle_count)>. Acesso em: 27 jul. 2024.

ALMEIDA, R. P. POLÍTICAS GOVERNAMENTAIS E AVALIAÇÃO DE INDICADORES AMBIENTAIS NA PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS (SÓLIDOS, LÍQUIDOS E GASOSOS), 2020. Disponível em: <<http://site.ufvjm.edu.br/ica/files/2020/07/2-Pol%C3%ADticas-governamentais-e-avalia%C3%A7%C3%A3o-d-e-indicadores-ambientais-na-produ%C3%A7%C3%A3o-de-biocombust%C3%ADveis-s%C3%B3lidos-l%C3%ADquidos-e-gasosos.pdf>> Acesso em: 27 jul. 2024.

ANP - AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. Painel Dinâmico de Produtores de Etanol, 2024. Disponível em: <<https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/paineis-dinamicos-da-anp/paineis-e-mapa-dinamicos-de-produtores-de-combustiveis-e-derivados/painel-dinamico-de-produtores-de-etanol>>. Acesso em: 27 jul. 2024.

ANP - AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. RESOLUÇÃO ANP Nº 907, DE 18 DE NOVEMBRO DE 2022 - DOU DE 23-11-2022, 2022. Disponível em: <<https://atosoficiais.com.br/anp/resolucao-n-907-2022-dispoe-sobre-as-especificacoes-do-etanol-combustivel-e-suas-regras-de-comercializacao-em-todo-o-territorio-nacional?origin=instituicao>>. Acesso em: 27 jul. 2024.

ANP - AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. Transportador Revendedor Retalhista (TRR), 2020. Disponível em: <<https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/distribuicao-e-revenda/transportador-revendedor-retalhista-trr>>. Acesso em: 27 jul. 2024.

ANP - AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. RESOLUÇÃO Nº 719, DE 21 DE FEVEREIRO DE 2018. Altera a Resolução ANP nº 67, de 9 de dezembro de 2011 e dá outras providências. Lex: DOU de 21.2.2018.

ARAÚJO, J. Aprovada MP que equipara cooperativas de etanol a produtores para venda direta de álcool combustível, 2022. Disponível em: <<https://www12.senado.leg.br/radio/1/noticia/2022/06/08/aprovada-mp-que-equipara-cooperativas-de-etanol-a-produtores-para-venda-direta-de-alcool-combustivel>> Acesso em: 27 jul. 2024.

BARAN, P. H., ESTEVES, H. B. B. O NOVO MARCO REGULATÓRIO PARA O ETANOL COMBUSTÍVEL NO BRASIL. Rio Oil & Gas Expo and Conference 2012.

BIOENERGIA NEWS. Entidade de indústrias de etanol da Europa divulga balanço de produção; saiba aqui. 2024. Disponível em: <<https://www.bioenergianews.com.br/2024/09/entidade-de-industrias-de-etanol-da-htm>>. Acesso em: 8 dez. 2024.

BOTHAST, R. J.; SCHLICHER, M. A. Biotechnological processes for conversion of corn into ethanol. Applied Microbiology and Biotechnology, v.67, n.1, p.19-25, 2005.

BRASIL. Decreto nº 19.717, de 20 de fevereiro de 1931. Estabelece a aquisição obrigatória de álcool, na proporção de 5% da gasolina importada, e dá outras providências. Lex: Diário Oficial da União - Seção 1 - 13/3/1931, Página 3736 (Publicação Original).

BRASIL. Lei nº 12.490, de 16 de setembro de 2011. Altera as Leis nºs 9.478, de 6 de agosto de 1997, e 9.847, de 26 de outubro de 1999, que dispõem sobre a política e a fiscalização das atividades relativas ao abastecimento nacional de combustíveis. Lex: DOU de 19.9.2011.

BRASIL. Portaria MAPA nº 75, de 03 de março de 2015. Fixa, o percentual obrigatório de adição de etanol anidro combustível à gasolina.. Lex: DOU de 06.3.2015.

BRASIL. Lei nº 13.576, de 26 de dezembro de 2017. Dispõe sobre a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio) e dá outras providências. Lex: DOU de 27.12.2017.

BROWN, A. Policy Blueprint Country Profile - Netherlands 2022. Disponível em: <[https://biofutureplatform.org/wp-content/uploads/2022/09/Blueprint\\_NL.pdf](https://biofutureplatform.org/wp-content/uploads/2022/09/Blueprint_NL.pdf)> Acesso em: 27 jul. 2024.

CASTRO, A. Para especialistas, Rio 92 levou Brasil ao protagonismo em questões ambientais - Agência Senado, 2017. Disponível em: <<https://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2017/08/07/para-especialista-rio-92-levou-brasil-ao-protagonismo-em-questoes-ambientais>> Acesso em: 27 jul. 2024.

CBIE - Centro Brasileiro de Infraestrutura. Como é feita a Distribuição de Etanol?, 2019. Disponível em: <<https://cbie.com.br/como-e-feita-a-distribuicao-de-etanol/>>. Acesso em: 27 jul. 2024.

CERRI, C. C., et al. 2011. "Greenhouse gas emissions from sugarcane ethanol in Brazil." *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*.

CHIES, V. País terá de investir em novos biocombustíveis para cumprir Acordo de Paris - Embrapa Agroenergia, 2017. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/26021588/pais-tera-de-investir-em-novos-biocombustiveis-para-cumprir-acordo-de-paris>> Acesso em: 27 jul. 2024.

CRBIO-07 - Conselho Regional de Biologia da 7ª Região – Paraná. “Uma Só Terra”: Conferência de Estocolmo completa 50 anos, 2022. Disponível em: <<https://crbio07.gov.br/noticias/uma-so-terra-conferencia-de-estocolmo-completa-50-anos/>> Acesso em: 27 jul. 2024.

EBC - Empresa Brasil de Comunicação. Transporte de comitivas durante a Rio+20 é feito com etanol de segunda geração, 2012. Disponível em: <<https://memoria.ebc.com.br/agenciabrasil/noticia/2012-06-14/transporte-de-comitivas-durante-rio20-e-feito-com-etanol-de-segunda-geracao>> Acesso em: 27 jul. 2024.

ECCC - Environment and Climate Change Canada. What are the Clean Fuel Regulations?, 2022. Disponível em: <<https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/managing-pollution/energy-production/fuel-regulations/clean-fuel-regulations/about.html>> Acesso em: 27 jul. 2024.

EFFGEN, A. S. SEPARAÇÃO DA MISTURA AZEOTRÓPICA ÁGUA-ETANOL PARA FINS DE PRODUÇÃO DE ETANOL ANIDRO: REVISÃO DE LITERATURA E ESTUDO DE CASO. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Química. Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/40013/1/Separa%C3%A7%C3%A3oMisturaAzeotr%C3%B3pica.pdf?>> Acesso em: 07 nov. 2024.

EIA - United States Energy Information Administration. Ethanol Fuel Consumption by Country, 2024. Disponível em: <<https://www.indexmundi.com/energy/?product=ethanol&graph=consumption&display=rank>> Acesso em: 27 jul. 2024.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Cooperativas de Nova Geração e a Agroenergia no Brasil, 2005. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/570353/1/doc145.pdf>>. Acesso em: 27 jul. 2024.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. Matriz Energética e Elétrica, 2021. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica#:~:text=A%20matriz%20el%C3%A9trica%20brasileira%20%C3%A9,em%20sua%20maior%20parte%2C%20renov%C3%A1vel.>> Acesso em: 27 jul. 2024.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. ESTUDO DAS CONDIÇÕES ESTABELECIDAS NO TRATADO DE QUIOTO E RESOLUÇÕES INTERNACIONAIS DE SUA ATUALIZAÇÃO, 2004.

IEA - Agência Internacional de Energia. Implementation of bioenergy in the Republic of Korea – 2021 update, 2021. Disponível em: <[https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2021/11/CountryReport2021\\_Korea\\_final.pdf](https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2021/11/CountryReport2021_Korea_final.pdf)> Acesso em: 27 jul. 2024.

FERES, P. F. D. Os biocombustíveis na matriz energética alemã: possibilidades de cooperação com o Brasil. Brasília : FUNAG, 2010. 300 p. : il.

FERREIRA, A. S., MÈRCHER, L. O USO DE TECNOLOGIAS SUSTENTÁVEIS A FAVOR DO MEIO AMBIENTE NO BRASIL, 2018. Disponível em: <<https://repositorio.uninter.com/bitstream/handle/1/279/1344201%20-%20ANDRIELLY%20SOARES%20FERREIRA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>> Acesso em: 27 jul. 2024.

FRANCO, A. C., FRANCO, L. S. Tecnologias na produção de etanol de batata-doce: estudo de processos entre Brasil e China. 2021. R. bras. Tecnol. Agroindustr., Francisco Beltrão, v. 15, n. 2: p. 3724-3748, jul./dez. 2021.

GOLDEMBERG, J.. Energia e desenvolvimento. Estudos Avançados, v. 12, n. 33, p. 7–15, maio 1998.

GOTTEMS, L. Etanol paraguaio ganha espaço no Brasil. 2020. Disponível em: <[Etanol paraguaio ganha espaço no Brasil](#)> Acesso em: 18 dez. 2024.

GRATTON, G. Reino Unido passará a utilizar gasolina com 10% de etanol em setembro, 2021. Disponível em: <<https://www.novacana.com/noticias/reino-unido-passara-utilizar-gasolina-10-etanol-setembro-010321>> Acesso em: 27 jul. 2024.

GUEVARA, A. J. H., SILVA, O. R., HASEGAWA, H. L., VENANZI, D. Avaliação de Sustentabilidade da Produção de Etanol no Brasil: Um Modelo em Dinâmica de Sistemas. BBR, 14,4, 436.

HENKE, J.M., KLEPPER, G., SCHMITZ, N. Tax exemption for biofuels in Germany: Is bio-ethanol really an option for climate policy?. Energy, Volume 30, Issue 14, 2005, Pages 2617-2635.

HINSON, S., SUTHERLAND, N., BRIEN, P. The future of the British Bioethanol industry. Number CDP 2019/0004, 15 January 2019. The House of Commons Library.

HOPKINS, M. Paraguay: Situación de los biocombustibles, 2008. Disponível em: <<https://www.agribusinessglobal.com/es/mercados/americas/paraguay-situacion-biocombustibles/>> Acesso em: 27 jul. 2024.

JOHNSON, C., MORIARTY, K., ALLEMAN, T., SANTINI, D. 2021. History of Ethanol Fuel Adoption in the United States: Policy, Economics, and Logistics. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory. NREL/TP-5400-76260.

KOHLHEPP, G.. Análise da situação da produção de etanol e biodiesel no Brasil. Estudos Avançados, v. 24, n. 68, p. 223–253, 2010.

LI, M., ZHANG, W., HAYES, D., ARTHUR, R., YANG, Y., WANG, X. "China's New Nationwide E10 Ethanol Mandate and Its Global Implications." Agricultural Policy Review, Fall 2017. Center for Agricultural and Rural Development, Iowa State University. Disponível em: <[www.card.iastate.edu/ag\\_policy\\_review/article/?a=71](http://www.card.iastate.edu/ag_policy_review/article/?a=71)> Acesso em: 27 jul. 2024.

LIMA, V. Rio+20: parlamentares destacam importância da energia para a sustentabilidade - Agência Câmara de Notícias, 2012. Disponível em: <<https://www.camara.leg.br/noticias/377228-rio20-parlamentares-destacam-importancia-da-energia-para-a-sustentabilidade/>> Acesso em: 27 jul. 2024.

LIMA, U. A.; BASSO, L. C.; AMORIM, H. V. Biotecnologia Industrial: Processos Fermentativos e Enzimáticos. São Paulo: Edgar Blucher, 2001. p. 1-43. (Biotecnologia Industrial; v.3)

LOPES, C.H, GABRIEL, A.V. M. D, BORGES, M. T. M. R Produção de etanol a partir da cana-de-açúcar. Secretária de Educação a Distância - SEaD. 2011

LORENZI, B. R.; ANDRADE, T. H. N. DE .. O ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO NO BRASIL: POLÍTICAS E REDES SOCIOTÉCNICAS. Revista Brasileira de Ciências Sociais, v. 34, n. 100, p. e3410014, 2019.

LYNCH, M. C. 2018. "The evolving global gas market: Supply, demand, and geopolitics." *Oxford Energy Forum*

MACHADO, C. M. M., ABREU, F. R. Produção de álcool combustível a partir de carboidratos. Ano XV – Nº 3 – Jul./Ago./Set. 2006. Revista da Política Agrícola.

MARTINELLI, L. A., FILOSO, S. 2008. "Expansion of sugarcane ethanol production in Brazil: Environmental and social challenges." *Ecological Applications*.

MELO, N. R. ETANOL 2G: PROCESSO PRODUTIVO E SEU CONTEXTO ATUAL NO BRASIL. 2020. Monografia de graduação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia como parte dos requisitos necessários para a aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso, do curso de Engenharia Química. Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/31885/1/Etanol2GProcesso.pdf?>> . Acesso em: 07 dez. 2024.

MILANEZ, A. Y., SOUZA, J. A. P., MANSUCO, R. Panoramas Setoriais 2030 sucroenergético, 2017. Disponível em: <[https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/14245/2/Panoramas%20Setoriais%202030%20-%20Sucroenerg%C3%A9tico\\_P\\_BD.pdf](https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/14245/2/Panoramas%20Setoriais%202030%20-%20Sucroenerg%C3%A9tico_P_BD.pdf)> Acesso em: 27 jul. 2024.

MORDOR INTELLIGENCE. Tamanho do mercado de etanol e análise de participação – Tendências e previsões de crescimento (2024 – 2029), 2024. Disponível em: <<https://www.mordorintelligence.com/pt/industry-reports/ethyl-alcohol-market>>. Acesso em: 27 jul. 2024.

MOSIER, N. S.; KLEIN, E. I. How fuel ethanol is made from corn. In: (2nd. Ed.) Bioenergy: Biomass to Biofuels and Waste to Energy. Academic Press, 2020, p. 539-544.

MUSSOLINI, R. C. Caracterização físico-química e rendimento da moagem úmida de quatro híbridos de milho. 2009. 58 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos) - Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, e São José do Rio Preto, 2009. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/88429>>. Acesso em: 07 nov. 2024.

NOVACANA. Mistura de etanol na gasolina sobe para 27% a partir de 16 de março, 2015. Disponível em: <<https://www.novacana.com/noticias/mistura-etanol-gasolina-sobe-27-marco-040315>> Acesso em: 27 jul. 2024.

NOVA CANA. Adecoagro, 2024. Disponível em: <[https://www.novacana.com/usinas\\_brasil/grupos/adecoagro#:~:text=Possui%20no%20total%203%20usinas](https://www.novacana.com/usinas_brasil/grupos/adecoagro#:~:text=Possui%20no%20total%203%20usinas)> Acesso em: 27 jul. 2024.

OLIVEIRA, L. F. A diplomacia da energia: os biocombustíveis no Brasil e a construção de seu marco jurídico regulatório internacional, 2013. Tese de Mestrado. Universidade Católica de Brasília.

PASSOS, P. N. C. A CONFERÊNCIA DE ESTOCOLMO COMO PONTO DE PARTIDA

PARA A PROTEÇÃO INTERNACIONAL DO MEIO AMBIENTE. UNIBRASIL - Revista Direitos Fundamentais e Democracia. Vol 6. ISSN 1982-0496.

PITARELO, A. P. et al. Effect of moisture content in the steam treatment and enzymatic hydrolysis of sugarcane bagasse. *Quimica Nova*, v. 35, n. 8, p. 1502–1509, 2012.

SAFRAID, G. F. et al.. Perfil do consumidor de alimentos funcionais: identidade e hábitos de vida. *Brazilian Journal of Food Technology*, v. 25, p. e2021072, 2022.

SÃO MARTINHO. Perfil Corporativo, 2024. Disponível em: <<https://www.saomartinho.com.br/show.aspx?idCanal=/XcBADOSSZ3p+UCN0JJ7qg===#:~:text=A%20S%C3%A3o%20Martinho%20est%C3%A1%20entre,%25%2C%20uma%20refer%C3%Aancia%20no%20setor.>> Acesso em: 27 jul. 2024.

SEBRAE, 2009 - SEBRAE. Serviço de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. Disponível em: <<https://sebrae.com.br/sites/PortalSebrae>> . Acesso em: 16 de Jul de 2021.

SCHUTTE, G.R.; BARROS, P.S. A geopolítica do etanol. *Boletim de Economia e Política Internacional*, n.1, p.34- 43, 2010.

SILVA, V. P., et al. 2014. "Water footprint of bioethanol from sugarcane in Brazil." *Journal of Cleaner Production*.

SOARES, A. A., JUNIOR, J. C. Z. O Brasil como grande player no mercado mundial de etanol. Ano XXX – No 3 – Jul./Ago./Set. 2021. Revista da Política Agrícola.

SPREI, F. Boom and bust of flex-fuel vehicles in Sweden, 2013. Disponível em: <<https://core.ac.uk/download/pdf/70604346.pdf>> Acesso em: 27 jul. 2024.

RAÍZEN, 2024. Disponível em: <<https://www.raizen.com.br/>> Acesso em: 27 jul. 2024.

RIBEIRO, L. M. L. 2023. ETANOL DE MILHO: PROCESSO PRODUTIVO E CONTEXTO ATUAL DO MESMO NO BRASIL. Trabalho de Conclusão de Curso de graduação apresentado à Faculdade de Engenharia Química como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química pela Universidade Federal de Uberlândia. Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/37913/1/EtanoldeMilhoProcesso.pdf>> Acesso em: 07 dez. 2024.

RFA - RENEWABLE FUEL ASSOCIATION. Annual World Fuel Ethanol Production (Mil. Gal.). 2024. Disponível em: <<https://ethanolrfa.org/markets-and-statistics/annual-ethanol-production>>. Acesso em: 08 dez. 2024.

RODRIGUES, T.R. Como ajustar a oferta de cana às crescentes demandas de etanol e açúcar. Revista Opiniões, ano19, p.22-24, 2022.

ROMEIRO, L. K. J., SIMÕES, A. F., KURITA, R. S. Inter-relações entre políticas de estímulo aos biocombustíveis, eficiência energética e mitigação das mudanças climática: Uma análise sinérgica com foco no Programa Brasileiro RenovaBio. Latin American Journal of Energy Research – Lajer (2021) v. 8, n. 1, pp. 46–58.

ROSA, I.F.; MAKIYA, I.K.; CESAR, F.I.G. Cenário atual do comércio internacional de etanol brasileiro para União Europeia: uma análise do ambiente da logística dos biocombustíveis. Interciência, v.43, p.228-235, 2018. Disponível em: <<https://www.redalyc.org/journal/339/33957240002/html/>>. Acesso em: 27 jul. 2024.

TOSUN, J. The Behaviour of Suppliers and Consumers in Mandated Markets: The Introduction of the Ethanol–Petrol Blend E10 in Germany. *Journal of Environmental Policy & Planning* 20 (1): 1–15. 2017

UNIDATA. Observatório da Cana e Bioenergia. 2024. Disponível em: <<https://unicadata.com.br/>>. Acesso em: 07 dez. 2024

USINA CORURIFE. Usina Coruripe atinge novamente resultados recordes na safra 2023/2024, 2024. Disponível em: <<https://www.usinacoruripe.com.br/noticias/usina-coruripe-atinge-novamente-resultados-recordes-na-safra-2023-2024#:~:text=Esse%20novo%20investimento%20elevou%20a,1%2C5%20milh%C3%A3o%20de%20toneladas>>. Acesso em: 27 jul. 2024.

USDA - Departamento de Agricultura dos Estados Unidos. Foreign Agricultural Service - Biofuels Annual, 2022. JA2022-0109

VAZ DA COSTA, F. IMPACTO AMBIENTAL NO USO DO ETANOL COMO COMBUSTÍVEL. 2011. Monografia. Universidade de Brasília / Universidade Estadual de Goiás. Disponível em: <[https://bdm.unb.br/bitstream/10483/1897/1/2011\\_FernandoVazdaCosta.pdf](https://bdm.unb.br/bitstream/10483/1897/1/2011_FernandoVazdaCosta.pdf)> Acesso em: 27 jul. 2024.

VESH, H. REPORT: The most popular fuel types among used vehicles in Canada, 2021. Disponível em: <<https://www.lowestrates.ca/blog/reports/most-popular-fuel-type-used-vehicles-canada>> Acesso em: 27 jul. 2024.

VIDAL, M. F. Produção e Mercado de Etanol. Caderno Setorial ETENE, ano 6, nº 159, 2021. Disponível em: <[https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/906/1/2021\\_CDS\\_159.pdf#:~:text=URL%3A%20https%3A%2F%2Fwww.bnb.gov.br%2Fs482](https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/906/1/2021_CDS_159.pdf#:~:text=URL%3A%20https%3A%2F%2Fwww.bnb.gov.br%2Fs482)> Acesso em: 27 jul. 2024.

VIDAL, M. F. Agroindústria - Etanol. Caderno Setorial ETENE, ano 7, nº 237, 2022.

WALTER, A., et al. 2011. "Sustainability assessment of bio-ethanol production in Brazil considering land use change, GHG emissions and socio-economic aspects." *Energy Policy*.