

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CAMPUS SOROCABA
CENTRO DE CIÊNCIAS EM GESTÃO E TECNOLOGIA
CURSO DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS

GIULLIA DE PAULA GONÇALVES

**POLÍTICAS PÚBLICAS NO SETOR DE BIOCOMBUSTÍVEIS NO BRASIL
RELACIONADAS À DIMINUIÇÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA**

Sorocaba
2024

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CAMPUS SOROCABA
CENTRO DE CIÊNCIAS EM GESTÃO E TECNOLOGIA
CURSO DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS

GIULLIA DE PAULA GONÇALVES

**POLÍTICAS PÚBLICAS NO SETOR DE BIOCOMBUSTÍVEIS NO BRASIL
RELACIONADAS À DIMINUIÇÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro de Ciências em Gestão e Tecnologia da Universidade Federal de São Carlos, *campus* Sorocaba, para obtenção do título/grau de bacharel em Ciências Econômicas.

Orientação: Prof. Dr. Mariusa Momenti Pitelli

Sorocaba
2024

de Paula Gonçalves, Giullia

POLÍTICAS PÚBLICAS NO SETOR DE
BIOCOMBUSTÍVEIS NO BRASIL RELACIONADAS À
DIMINUIÇÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA / Giullia
de Paula Gonçalves -- 2024.
48f.

TCC (Graduação) - Universidade Federal de São Carlos,
campus Sorocaba, Sorocaba

Orientador (a): Mariusa Momenti Pitelli

Banca Examinadora: Anieli Fagundes Carrara, Gustavo
Pereira da Silva

Bibliografia

1. Biocombustíveis. 2. Renovabio. I. de Paula Gonçalves,
Giullia. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática
(SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Maria Aparecida de Lourdes Mariano -
CRB/8 6979

Giullia de Paula Gonçalves

**POLÍTICAS PÚBLICAS NO SETOR DE BIOCOMBUSTÍVEIS NO BRASIL
RELACIONADAS À DIMINUIÇÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro de Ciências em Gestão e Tecnologia da Universidade Federal de São Carlos, *campus* Sorocaba, para obtenção do título/grau de bacharel em Ciências Econômicas.
Universidade Federal de São Carlos.

Sorocaba, 11 de setembro de 2024

Profª. Dra. Mariusa Momenti Pitelli
Orientador(a)

Profª. Dra. Aniela Fagundes Carrara
Examinador(a)

Prof. Dr. Gustavo Pereira da Silva
Examinador(a)

DEDICATÓRIA

Todas as minhas conquistas são um espelho das mulheres fortes, inteligentes e carinhosas que me criaram. Esse trabalho é dedicado à minha mãe Ana Cláudia e à minha avó Ana Maria.

RESUMO

GONÇALVES, Giullia. *políticas públicas no setor de biocombustíveis no Brasil relacionadas à diminuição de gases de efeito estufa*. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Econômicas) – Centro de Ciências em Gestão e Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2024.

Este trabalho realiza uma análise das políticas públicas voltadas para os biocombustíveis no Brasil, com foco na redução de gases de efeito estufa. São discutidos programas como o Proálcool, o Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB) e o RenovaBio, com destaque para este último, que representa uma política ambiental focada no setor de biocombustíveis. O estudo também aborda os desafios enfrentados pela governança no setor e a necessidade de integração entre políticas econômicas e ambientais. Conclui-se que o RenovaBio marca um avanço importante, mas ainda enfrenta obstáculos para atingir plenamente suas metas.

Palavras-chave: Gases de Efeito Estufa. Biocombustíveis. Políticas Públicas

RESUMO EM LÍNGUA ESTRANGEIRA

GONÇALVES, Giullia. *Políticas públicas relacionadas a diminuição de gases do efeito estufa no setor de biocombustíveis no Brasil de 1992 a 2023*. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Econômicas) – Centro de Ciências em Gestão e Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2024.

This study provides a analysis of public policies aimed at biofuels in Brazil, focusing on the reduction of greenhouse gases. Programs such as Proálcool, the National Biodiesel Production and Use Program (PNPB), and RenovaBio are discussed, with an emphasis on the latter, which represents an environmental policy focused on the biofuels sector. The study also addresses governance challenges and the need for integration between economic and environmental policies. It concludes that RenovaBio represents a significant advance, but still faces challenges to fully achieve its goals.

Keywords: Greenhouse gases. Biofuels. Public policies

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|-----------|---|
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| MME | Ministério de Minas e Energia |
| ANP | Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis |
| UNICA | União da Indústria de Cana-de-Açúcar e Bioenergia |
| IPCC | Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas |
| GEE | Gases de efeito estufa |
| ONU | Organização das Nações Unidas |
| NDCs | Contribuição Nacional Determinada (Nationally Determined Contributions) |
| UNFCCC | Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima |
| ITMOs | Resultados de Mitigação Transferidos Internacionalmente |
| COPs | Conferências das Partes |
| GNV | Gás Natural Veicular |
| MIT | Massachusetts Institute of Technology |
| Sisnama | Sistema Nacional do Meio Ambiente |
| Semam/PR | Secretaria de Meio Ambiente da Presidência da República |
| PNMA | Programa Nacional de Meio Ambiente |
| MMA | Ministério do Meio Ambiente |
| PNRH | Política Nacional de Recursos Hídricos |
| PNMC | Política Nacional sobre Mudança do Clima |
| OPEP | Organização dos Países Exportadores de Petróleo |
| Proálcool | Programa Nacional do Alcool |
| IAA | Instituto do Açúcar e do Alcool |
| PNPB | Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel |
| CBios | Créditos de Descarbonização |
| NEEA | Eficiência Energético-Ambiental |
| CAR | Cadastro Ambiental Rural |
| C&C | Comando e Controle |

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO..... | 11 |
| 2. REFERENCIAL TEÓRICO..... | 13 |
| 3. METODOLOGIA..... | 17 |
| 4. MUDANÇAS CLIMÁTICAS..... | 18 |
| 4.1 CONTEXTO AMBIENTAL MUNDIAL..... | 18 |
| 4.2 ACORDOS INTERNACIONAIS SOBRE O CLIMA..... | 19 |
| 4.2.1 Rio 92 | 19 |
| 4.2.2 Protocolo de Kyoto | 20 |
| 4.2.3 Acordo de Paris | 21 |
| 4.2.4 COP 28 | 23 |
| 5. BIOCOMBUSTÍVEIS..... | 24 |
| 5.1 ETANOL..... | 24 |
| 5.2 BIODIESEL..... | 28 |
| 5.3 NOVAS FONTES COMBUSTÍVEIS..... | 31 |
| 5.4 A IMPORTANCIA DOS BIOCOMBUSTÍVEIS..... | 32 |
| 6. RESULTADOS..... | 35 |
| 6.1 RENOVABIO..... | 37 |
| CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 41 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 43 |

1 INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas se apresentam como um dos maiores desafios da contemporaneidade, com impactos severos sobre ecossistemas, economia e sociedade. A crescente emissão de gases de efeito estufa (GEE), intensificada desde a Revolução Industrial, exige que nações desenvolvam políticas públicas robustas para mitigar seus efeitos. Nesse cenário, o Brasil, por suas características geográficas e potencial energético, desempenha um papel importante na formulação de políticas que incentivem o uso de energias renováveis, especialmente biocombustíveis, com vistas à redução de emissões (JARDIM; MURTA, 2023).

Como apontado por Gomide (2010), os biocombustíveis no Brasil têm uma trajetória de relevância histórica, iniciada com o Programa Nacional do Álcool (Proálcool), na década de 1970, passando pelo Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB), até o recente RenovaBio, instituído em 2017. O Proálcool, por exemplo, surgiu como uma resposta à crise do petróleo, enquanto o PNPB foi impulsionado pela necessidade de diversificar a matriz energética brasileira (VIDAL, 2019; GOMIDE, 2010). Ambos os programas focaram, sobretudo, em garantir segurança energética e desenvolvimento econômico, com pouco destaque para a questão ambiental (TÁVORA, 2011).

No entanto, somente com o RenovaBio houve a criação de uma política pública explicitamente ambiental no setor de biocombustíveis. Criado como uma resposta aos compromissos assumidos pelo Brasil no Acordo de Paris, o RenovaBio se destaca por integrar metas de descarbonização e criar incentivos econômicos para o setor, por meio dos Créditos de Descarbonização (CBios) (MORANDI et al., 2020). Essa política, ao contrário de suas predecessoras, tem o objetivo de reduzir as emissões de GEE ao mesmo tempo em que promove a expansão do mercado de biocombustíveis, algo inédito na história das políticas públicas brasileiras para o setor (VIDAL, 2019).

O foco ambiental do RenovaBio pode ser observado em suas Notas de Eficiência Energético-Ambiental (NEEA), que avaliam a eficiência de cada biocombustível em relação às emissões de GEE ao longo de seu ciclo de vida (MORANDI et al., 2020). Esse mecanismo visa incentivar os produtores a adotarem práticas mais sustentáveis, gerando mais CBios e, assim, atraindo mais benefícios econômicos para aqueles que investem em eficiência ambiental (ANDRADE E RODRIGUES, 2024).

No entanto, apesar dos avanços, o setor de biocombustíveis no Brasil ainda enfrenta desafios, principalmente no que tange à consolidação de uma governança efetiva que alie políticas econômicas e ambientais de forma equilibrada (FERNANDES, 2010). A implementação do RenovaBio, por exemplo, tem sido alvo de críticas quanto à influência de interesses econômicos na sua formulação e execução, como evidenciado pelo fenômeno da "porta giratória" envolvendo membros do setor privado e público (LAZARO E THOMAZ, 2021). Esses desafios apontam para a necessidade de aprimoramento contínuo das políticas públicas, para que os biocombustíveis possam de fato cumprir seu papel na transição energética e na mitigação das mudanças climáticas (ANDRADE E RODRIGUES, 2024).

Diante disso, o objetivo deste trabalho é analisar as políticas públicas voltadas para os biocombustíveis no Brasil, com destaque para o RenovaBio. Busca-se entender como essas políticas evoluíram ao longo do tempo, qual foi o impacto do RenovaBio como uma política ambiental focada no setor e quais lacunas ainda precisam ser preenchidas para que o Brasil se consolide como líder global na produção sustentável de biocombustíveis (VIDAL, 2019; MOURA, 2016).

Portanto, este estudo se justifica pela importância de se compreender a interseção entre políticas públicas, biocombustíveis e meio ambiente, em relação à transição para uma economia de baixo carbono.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A política pública, conforme Fernandes (2010), é a resposta as demandas, aos problemas e as divergências da sociedade. A política entra como uma ferramenta para garantir a boa convivência entre todos, usando de normas e condutas, para conciliar interesses e ainda assim garantir a liberdade de cada indivíduo.

No artigo 225 da Constituição Federal (1988), foi estabelecido que todos têm direito a um meio ambiente ecologicamente equilibrado e que cabe aos órgãos públicos e a sociedade o dever de lutar e mantê-lo equilibrado tanto no presente quanto para o futuro. Como apontado por Thomas e Callan (2010), a poluição é a consequência das falhas de mercado, as quais surgem porque o meio ambiente não tem um direito de propriedade definido e por esse motivo, o governo precisa agir como mediador, garantindo a harmonia entre todos os atores da sociedade.

A Economia Verde, surgida em 2008 através do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), busca promover uma mudança dentro do sistema econômico tradicional, focando na redução das emissões de carbono, eficiência no uso de recursos e inclusão social. Um dos seus principais objetivos é erradicar a pobreza e gerar "empregos verdes". No entanto, é criticada por ser vista como uma "roupagem nova" do capitalismo, introduzindo apenas pequenas mudanças estruturais sem alterar significativamente a dinâmica econômica existente. (OLIVEIRA, 2017). Por outro lado, a Economia Ecológica, que se consolidou nos anos 1980, propõe uma visão mais radical, considerando a economia como um subsistema do meio ambiente e reconhecendo os limites biofísicos dos recursos naturais. Essa abordagem defende o decrescimento e busca uma economia que não dependa do crescimento contínuo, priorizando a preservação ecológica e a sustentabilidade a longo prazo (CHECHIN, 2018).

A Economia Ambiental, por sua vez, como apontado por Oliveira (2017), foca na atribuição de valor monetário aos bens ambientais, com o objetivo de internalizar os custos ecológicos dentro do sistema econômico tradicional. Ela promove o uso eficiente dos recursos naturais, buscando garantir a sustentabilidade econômica. Contudo, é criticada por sua visão utilitária da natureza, valorizando apenas os recursos com uso econômico direto. Enquanto a Economia Verde e a Economia Ambiental compartilham o objetivo de um desenvolvimento sustentável, aceitando o crescimento econômico com ajustes para torná-

lo mais sustentável, a Economia Ecológica se diferencia ao rejeitar o conceito de crescimento indefinido. Esses três conceitos, apesar de suas abordagens distintas, oferecem diferentes soluções para a relação entre economia e meio ambiente, refletindo uma busca por maior equilíbrio entre crescimento econômico e a conservação dos recursos naturais. (OLIVEIRA, 2017)

Segundo Moura (2016), existem quatro tipos de instrumentos de política ambiental possíveis: instrumentos de comando e controle, econômicos, voluntários ou de cooperação e instrumentos de informação. Todos os instrumentos visam mitigar impactos ambientais, mas diferem em suas abordagens e mecanismos de implementação

Os instrumentos de comando e controle buscam direcionar o comportamento da sociedade e dos agentes econômicos por meio de permissões ou proibições previamente estabelecidas, baseadas em restrições legais, regulamentações ou normatizações (MOURA, 2016). Nesse modelo, segundo Thomas e Callan (2010), as autoridades estabelecem regras específicas que as empresas devem seguir, determinando limites máximos de poluentes que podem ser emitidos, por exemplo. As empresas são obrigadas a cumprir essas regulamentações sob ameaça de sanções legais, como multas e penalidades

Para que seja possível punir ou delimitar os privilégios de um agente é necessária a criação de mecanismos de fiscalização, como padrões, licenças e zoneamentos (MOURA, 2016). Os padrões podem indicar tanto o limite de concentração de poluentes, como padrões tecnológicos que devem ser seguidos, além de estabelecer padrões de qualidade de produtos e processos. Já as licenças são utilizadas pelos órgãos ambientais, para permitir ou indeferir, quando não for possível a aprovação, o início de projetos e atividades com potencial de impacto ambiental. Por fim, o Zoneamento é um instrumento de organização do território que indica áreas permitidas para a execução de diversas atividades econômicas e aquelas que devem permanecer restritas à proteção ambiental (MOURA, 2016).

Os instrumentos de C&C (Comando e Controle) oferecem a vantagem de serem previsíveis, claros e mais rápidos de serem implementados, como apontado por Moura (2016), além de serem mais facilmente identificáveis pelos eleitores e transmitirem uma imagem de personalidade forte e decidida de quem permite o certo e proíbe o errado (STRAUCH, 2008). Já as principais desvantagens são a falta de flexibilidade, falta de incentivos para ir além do mínimo estabelecido e ainda a demanda por uma instituição

complexa para garantir o cumprimento das penalizações e sanções, gerando custos para o governo (MOURA, 2016).

Uma das alternativas aos instrumentos de C&C, são os instrumentos econômicos, esses, que segundo Strauch (2008), visam influenciar o custo ou o benefício ligado a cada alternativa de ação. Ou seja, direcionam e incentivam indiretamente comportamentos favoráveis ao meio ambiente, por meio de custos ou benefícios associados às alternativas de ação (MOURA, 2016). Thomas e Callan (2010) simplificam ao definir que os instrumentos de mercado atribuem um valor à qualidade ambiental, ou seja, coloca um preço à poluição. Moura (2016) destaca que esses instrumentos são baseados no princípio do poluidor-pagador, que é uma postura pautada na crença de que quem polui deve pagar por essa poluição para que se mantenha um nível aceitável de qualidade ambiental.

Os instrumentos econômicos têm muitas vantagens, desde a maior flexibilidade e liberdade de escolha para os agentes, até a redução de gastos públicos regulatórios e a possibilidade de arrecadação de recursos que poderão ser revertidos em outras políticas (MOURA, 2016). Essa flexibilidade, segundo Strauch (2008), estimula as inovações, pois permite que as soluções sejam criadas para cada caso individual, de acordo com as condições locais e específicas. Já as desvantagens são provenientes da necessidade de integração entre diversas áreas dentro do governo tanto para implementação quanto para a fiscalização e uma resistência por parte dos órgãos legislativos, devido à pressão dos setores afetados por essas iniciativas. Além disso, são políticas que segundo Moura (2016), precisam ser avaliadas e ajustadas constantemente, conforme as mudanças do cenário econômico.

Além dos instrumentos de comando e controle e econômicos, existem também os instrumentos de cooperação e voluntários, além dos instrumentos de informação. Os instrumentos de cooperação e voluntários, para Moura (2016), são aqueles que ocorrem apenas entre os entes envolvidos e não tem a interferência coercitiva do governo, como contratos negociados, compromissos e acordos voluntários, autorregulação voluntária e instrumentos de cooperação interinstitucional. Enquanto que “os instrumentos de informação buscam orientar, influenciar ou persuadir os agentes públicos ou privados a atuarem de forma benéfica ao meio ambiente, por meio da disponibilização de informações e da disseminação de valores favoráveis ao meio ambiente” (MOURA, 2016, p. 4).

Segundo Thomas e Callan (2010), as abordagens de comando e controle e econômicos são analisadas em termos de eficiência alocativa e custo-efetividade. A eficiência alocativa avalia se os recursos estão sendo utilizados de maneira a maximizar o bem-estar social. Isso envolve a análise de como as políticas ambientais podem corrigir falhas de mercado, como externalidades negativas. Já o custo-efetividade examina se as políticas ambientais atingem seus objetivos ao menor custo possível. Isso inclui a comparação de diferentes instrumentos de controle, como padrões tecnológicos, sistemas de depósito/reembolso e certificados negociáveis de poluição.

De acordo com Strauch (2008), os instrumentos econômicos têm se mostrado muito eficazes no estímulo à inovação e à mudança voluntárias no setor produtivo e na sociedade, diminuindo os custos do governo enquanto gera mais benefícios para o meio ambiente, além de se manter competitiva no cenário tecnológico. A combinação de medidas de comando e controle com instrumentos econômicos é ideal, pois do ponto de vista da eficiência econômica dinâmica, ainda segundo Strauch (2008), os instrumentos de comando e controle incentivam a inovação ao exigir a redução de emissões, limitando-se a alcançar os limites estabelecidos da forma mais econômica. Por outro lado, os instrumentos econômicos, como créditos comercializáveis e taxas, oferecem um incentivo contínuo. Reduzir as emissões diminui os custos ou gera receitas a longo prazo, incentivando a redução das emissões além dos limites estipulados.

Como os instrumentos não são universais nem excludentes entre si, uma estratégia equilibrada que combine abordagens de "chicote" (instrumentos de comando e controle) com "cenoura" (instrumentos de incentivo, como os econômicos) seria a mais adequada. Essa combinação permitiria criar um sistema de "pesos e contrapesos", equilibrando as vantagens e desvantagens de cada tipo de instrumento (MOURA, 2016).

Oliveira (2017) aponta, porém, que uma das principais críticas a economia do meio ambiente é sua abordagem prática, que tende a ver a natureza principalmente como um recurso a ser explorado, valorizando apenas os bens que têm aplicação econômica direta. Isso pode levar à exploração excessiva e à degradação de ecossistemas que não possuem um valor monetário claramente definido.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo, são apresentados os procedimentos metodológicos adotados para a realização da pesquisa, com foco no método de análise exploratória de bibliografias. A metodologia aqui descrita visa fornecer uma compreensão abrangente e aprofundada das principais fontes bibliográficas relacionadas ao tema do trabalho. A pesquisa adotará uma abordagem qualitativa, centrada na análise exploratória de bibliografias. Esse método, segundo Gil (1991), permite uma investigação detalhada das principais obras acadêmicas, artigos científicos, relatórios técnicos e outras fontes relevantes relacionadas ao tema estudado, que no presente trabalho são os biocombustíveis.

A análise exploratória é uma técnica valiosa para identificar tendências, lacunas de conhecimento e perspectivas teóricas divergentes, contribuindo para uma compreensão mais abrangente do assunto em questão (Gil, 1991), pois permite ao pesquisador cobrir uma gama de fenômenos de forma muito mais ampla do que ele estivesse pesquisando diretamente cada um dos fatos estudados.

Por isso os critérios de seleção para inclusão das fontes bibliográficas na análise foram definidos com base na relevância dos autores e nº de citações das obras, se as obras foram realizadas nos últimos 20 anos e a credibilidade das instituições onde as obras foram publicadas. Foram priorizadas publicações de autores reconhecidos no campo da economia ambiental, bem como artigos de periódicos, dissertações, teses, trabalhos apresentados em congressos, relatórios que contribuam para o desenvolvimento do conhecimento sobre biocombustíveis e suas implicações econômicas. Utilizou-se também para construção do trabalho sites, como o site do MME (Ministério de Minas e Energia) e o site da ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis), assim como o site da UNICA (União da Indústria de Cana-de-Açúcar e Bioenergia).

Como palavras-chave utilizou-se biocombustíveis, biodiesel, etanol, mudanças climáticas, mercado de carbono e Renovabio e foram consideradas obras publicadas principalmente de 2005 à 2024. As principais variáveis analisadas foram o mercado de biocombustíveis, a história do etanol no Brasil, os acordos internacionais firmados pelo Brasil e as políticas públicas nacionais referentes aos biocombustíveis.

4 MUDANÇAS CLIMÁTICAS

4.1 CONTEXTO AMBIENTAL MUNDIAL

As mudanças climáticas destacam-se como um dos principais desafios do século XXI, devido às consequências devastadoras da emissão de gases de efeito estufa (GEE) e outras atividades dos seres humanos. Desde a Revolução Industrial, a concentração desses gases na atmosfera tem aumentado significativamente, levando ao aquecimento global e a diversas mudanças climáticas, como o derretimento das calotas polares, elevação do nível do mar, e o aumento da frequência e intensidade de eventos climáticos extremos (IPCC, 1996; BENTO E VIEIRA FILHO, 2023). A comunidade internacional reconheceu a gravidade dessas questões em 1972, com a criação da Declaração de Estocolmo e do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, estabelecendo uma agenda global para enfrentar a crise climática (JARDIM; MURTA, 2023).

O aquecimento global, embora um processo natural, tem sido exacerbado pelas atividades humanas nas últimas décadas. Segundo Oliveira (2022) e Artaxo (2014), a queima de combustíveis fósseis, o desmatamento e outras práticas industriais têm contribuído para o aumento das temperaturas médias globais, com consequências já irreversíveis, como o derretimento de geleiras na Groenlândia e na Antártica, e a acidificação dos oceanos. Além disso, as mudanças climáticas têm intensificado eventos meteorológicos extremos, como secas e inundações, que afetam ecossistemas, a biodiversidade, a agricultura, e as economias de várias regiões do mundo, particularmente em países em desenvolvimento (MARENGO, 2019; ALVALÁ ET AL., 2023).

As implicações das mudanças climáticas são amplas e profundas, abrangendo não apenas aspectos ambientais, mas também socioeconômicos. Marengo (2019) destaca que os desastres climáticos causados pelas mudanças climáticas custaram às nações bilhões de dólares, afetando diretamente a vida de milhões de pessoas ao redor do mundo. Por exemplo, o relatório da organização Christian Aid de 2018 indicou que desastres como incêndios florestais e inundações estão se tornando mais frequentes e devastadores, sinalizando o que pode ocorrer se as emissões de GEE não forem significativamente reduzidas (MARENGO, 2019). As mudanças climáticas representam, portanto, segundo Marengo (2019), não apenas uma crise ambiental, mas também uma questão de justiça social, já que os mais pobres são os mais vulneráveis aos seus impactos.

Para mitigar esses impactos, é fundamental que a sociedade global adote políticas públicas robustas e invista em tecnologias de baixo carbono. O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) de 2018 alertou que a humanidade precisa atingir a neutralidade de carbono¹ por volta de 2050 para evitar consequências ainda mais graves (Marengo, 2019). Nesse sentido, a transição para energias renováveis, como os biocombustíveis, é vista como uma das estratégias essenciais para reduzir as emissões de GEE e promover uma economia de baixo carbono (NEVES, ET AL., 2015; JARDIM; MURTA, 2023). Entretanto, para que essa transição seja eficaz, são necessários investimentos significativos e um compromisso global para mudar a trajetória atual das emissões de carbono.

4.2 ACORDOS INTERNACIONAIS SOBRE O CLIMA

Com a criação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) em 1990, a sociedade foi beneficiada com um mecanismo de alerta sobre o aquecimento global do planeta. Como colocado por Brasil (1997), através do IPCC, cientistas puderam mostrar para o mundo que as mudanças climáticas são consequências do aumento da concentração de CO_2 na atmosfera, CO_2 esse emitido pela queima de combustíveis fósseis.

4.2.1 Rio 92

A Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, realizada em 1992 no Rio de Janeiro e conhecida como Rio 92 ou Eco 92, foi um símbolo significativo nas discussões globais sobre o meio ambiente. O principal objetivo deste evento foi encontrar formas de conciliar o desenvolvimento socioeconômico com a conservação dos ecossistemas, estabelecendo uma base para o desenvolvimento sustentável global, e propondo que todas as partes adotem medidas de precaução para prever, evitar ou minimizar causas da mudança climática e diminuir os seus efeitos negativos (BRASIL, 1992). Como parte desse esforço, a conferência produziu documentos cruciais, como a Agenda 21, que serviu como um guia para a formulação de políticas voltadas para a preservação do meio ambiente (TÁVORA, 2011).

¹ De acordo com o documento do IPCC, neutralidade de carbono, ou valor líquido zero de emissões de CO_2 , ocorre quando as emissões antrópicas de CO_2 são equilibradas globalmente pelas remoções antrópicas de CO_2 durante um período específico. Isso significa que as emissões de CO_2 causadas por atividades humanas são compensadas por remoções equivalentes, seja por meio de tecnologias ou práticas que absorvem e armazenam carbono (IPCC 2018).

De acordo com Goldemberg (2023), durante a Rio 92, mais de 160 líderes de países assinaram a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, demonstrando um compromisso global em enfrentar as mudanças climáticas. A Rio 92 também foi palco da assinatura de outros documentos importantes, como a Carta da Terra, que estabeleceu 27 princípios para proteger a integridade do meio ambiente global e promover o desenvolvimento sustentável. A Convenção-Quadro sobre Mudança do Clima, assinada durante a conferência, estabeleceu como objetivo final a estabilização das concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera em níveis que não interfiram perigosamente no sistema climático. Este objetivo deveria ser alcançado dentro de um prazo que permitisse aos ecossistemas se adaptarem naturalmente às mudanças climáticas e assegurasse que a produção de alimentos não fosse ameaçada, permitindo, assim, o desenvolvimento econômico sustentável (GOLDEMBERG, 2023; BRASIL, 1992).

A convenção também introduziu o princípio das "responsabilidades comuns, porém diferenciadas", que reconhece as diferentes capacidades e responsabilidades dos países no combate às mudanças climáticas (BRASIL, 1992). No entanto, segundo Goldemberg (2023), esse princípio gerou controvérsias, especialmente porque muitos países em desenvolvimento interpretaram isso como uma permissão para adiar a adoção de medidas efetivas de redução de emissões, o que, na prática, limitou as ações concretas desses países ao simples levantamento de inventários de emissões.

Goldemberg (2023) ainda evidencia que por consequência dessas controvérsias, ainda que muito importante para iniciar a discussão sobre o clima em nível internacional e com cooperação de diversos países, a Rio 92 não foi eficaz em estabelecer metas e planos de ações para diminuir as emissões de gases de efeito estufa.

4.2.2 Protocolo de Kyoto

No início da década de 1990, o debate internacional, como descrito anteriormente, era pautado principalmente no aquecimento global e no desmatamento, o que levou a assinatura do Protocolo de Kyoto em 1997. Este acordo, que foi ratificado em 1999 e entrou em vigor em 2005, comprometia os países signatários a reduzir as emissões de gases do efeito estufa em pelo menos 5,2% em relação aos níveis de 1990, no período de 2008 a 2012. Apesar de ter sido assinado por 184 países, os Estados Unidos, que eram responsáveis por mais de

36% das emissões globais em 1990, não aderiram ao Protocolo, o que gerou grande discórdia na época (TÁVORA, 2011; GOLDEMBERG, 2023).

Segundo Távora (2011), o Protocolo de Kyoto incentivava os países signatários a cooperarem em diversas frentes, incluindo a reforma dos setores de energia e transporte, a limitação das emissões de gases de efeito estufa, e a pesquisa e promoção de fontes de energia renováveis. Esse contexto de cooperação internacional, como apontado por Távora (2011), também trouxe à tona discussões sobre o papel dos biocombustíveis, especialmente o etanol brasileiro, que voltou a ser foco de debates acadêmicos no Brasil, sobre sua eficiência na redução das emissões de poluentes. Essas discussões foram impulsionadas pela pressão para a redução de carbono, que tornou a reformulação dos sistemas de energia uma prioridade global.

Além disso, o Protocolo de Kyoto instaurou a possibilidade de o carbono se tornar uma moeda de troca no cenário internacional. Países com emissões reduzidas de CO₂ poderiam negociar créditos de carbono com países poluidores, criando um mercado internacional para a compra e venda desses créditos. Entretanto, o Protocolo não tinha poder coercitivo, ou seja, não havia mecanismos efetivos para sancionar os países que descumprissem suas metas, sendo seu sucesso dependente do compromisso voluntário das nações e da diplomacia (BRASIL, 1997; OLIVEIRA, 2022). Goldemberg (2023) ainda destaca que por consequência da saída dos Estados Unidos do acordo, grande parte dos países signatários saíram do acordo ou não continuaram com as metas que haviam concordado no Protocolo, sendo o Brasil, um dos países que deixou o Protocolo de Kyoto em segundo plano.

4.2.3 Acordo de Paris

O Acordo de Paris, que entrou em vigor em 2015, substituiu o Protocolo de Kyoto como o principal instrumento internacional para combater as mudanças climáticas. Este acordo foi firmado por 195 países e tem como objetivo central limitar o aumento da temperatura média global a bem abaixo de 2°C em relação aos níveis pré-industriais, com esforços para limitar esse aumento a 1,5°C (BRASIL, 2016). Para alcançar essa meta, o Acordo de Paris fomentou a transição para uma economia de baixo carbono, com a redução do uso de combustíveis fósseis e o incentivo ao desenvolvimento de energias renováveis, como a solar e a eólica (OLIVEIRA, 2022). Entretanto, como Goldemberg (2023) aponta, no Acordo não houve metas mandatórias para a redução das emissões, mas sim, a construção individual

das metas por cada país. Essas metas nomeadas de Contribuição Nacional Determinada (Nationally Determined Contributions - NDCs) serão comunicadas ao Secretariado da Convenção do Clima se tornando então metas oficiais do país que terão seus resultados sendo acompanhados pelo mundo todo (ONU, 2015).

No caso do Brasil, o país se comprometeu com metas ambiciosas no âmbito do Acordo de Paris. As Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDCs) do Brasil, apresentadas à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC) em 2015, incluíam a redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) em 37% até 2025 e 43% até 2030, em comparação aos níveis de 2005 (BRASIL, 2020). Esse compromisso foi reforçado na resposta oficial do Brasil à ONU, destacando a necessidade de políticas públicas voltadas para a adaptação às mudanças climáticas, preservação de ecossistemas e a manutenção dos serviços ambientais (JARDIM, 2023).

Uma das principais áreas de foco para a redução das emissões no Brasil é o setor energético, que representa cerca de 19% das emissões anuais de GEE do país (SEEG, 2020). A queima de combustíveis fósseis nesse setor é uma das principais fontes de emissões, o que torna crucial a implementação de políticas de descarbonização. Nesse sentido, como apontado por Jardim (2023), o investimento em biocombustíveis aparece como uma alternativa estratégica para o cumprimento das metas estabelecidas no Acordo de Paris, contribuindo para a transição do país para uma economia de baixo carbono.

Além das metas nacionais, o Acordo de Paris introduziu mecanismos de cooperação internacional para ajudar os países a cumprirem seus compromissos de redução de emissões. O artigo 6º do acordo, por exemplo, permite a comercialização de "Resultados de Mitigação Transferidos Internacionalmente" (ITMOs), o que facilita a compra e venda de créditos de carbono entre países. Entretanto, esse mecanismo gerou preocupações sobre a possibilidade de dupla contagem das reduções de emissões, especialmente em países como o Brasil e a Austrália, onde tanto o vendedor quanto o comprador dos créditos poderiam contabilizar as mesmas reduções (OLIVEIRA, 2022).

Para alcançar as metas globais de redução de emissões estabelecidas pelo Acordo de Paris, será necessário zerar as emissões líquidas de CO_2 e promover reduções significativas em outras emissões de GEE (OLIVEIRA, 2022). Isso exigirá um esforço substancial de todos os países, bem como uma mobilização significativa de recursos financeiros,

especialmente em projetos de baixa emissão de carbono (ONU, 2015). Segundo Oliveira (2022), a capacidade institucional e a disponibilidade de instrumentos financeiros para gerenciar esses projetos variam consideravelmente entre os países, o que pode representar um desafio adicional na implementação do acordo.

O Acordo de Paris foi assinado pelos principais países poluidores, o que tornou o Acordo muito mais eficaz, pois ainda que cada país tenha colocado metas individuais, elas ainda contribuem para a diminuição das emissões de gases de efeito estufa (GOLDEMBERG, 2023).

4.2.4 COP 28

De acordo a ONU (2024), as Conferências das Partes (COPs) são encontros anuais da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC) onde líderes globais discutem e negociam políticas climáticas. A última conferência, a COP 28, foi realizada em Dubai e foi bastante importante, pois teve como objetivo apresentar o primeiro “balanço global” dos esforços mundiais para enfrentar as mudanças climáticas após o Acordo de Paris foi concluído (ONU, 2024).

Segundo a ONU, o resultado obtido pelo balanço foi negativo, indicando que o progresso obtido pelas nações tem sido insuficiente para diminuir os impactos das mudanças climáticas, incluindo a redução das emissões de GEE e o apoio financeiro e tecnológico as nações vulneráveis. Os países signatários, em resposta a esses resultados, tomaram a decisão de acelerar suas ações em todas as áreas até 2030, dando destaque para as medidas que possam promover a transição dos combustíveis fósseis para fontes de energia renovável, apesar disso nenhum novo acordo foi realizado. (ONU, 2024).

5 BIOCOMBUSTÍVEIS

Os biocombustíveis, produzidos a partir de recursos biológicos renováveis, emergem como uma alternativa promissora para a substituição parcial ou total dos combustíveis fósseis, especialmente no setor de transportes, que é responsável por uma parcela significativa das emissões de gases de efeito estufa (VIDAL, 2019). A importância dos biocombustíveis, como o etanol e o biodiesel, reside não apenas na sua capacidade de reduzir as emissões de carbono, mas também em sua contribuição para a diversificação da matriz energética, algo essencial para a sustentabilidade ambiental (MOTA; ALMEIDA, 2009; CHAGAS, 2023).

Desde a introdução do Proálcool na década de 1970, o Brasil tem se destacado globalmente na produção e uso de biocombustíveis, posicionando-se como líder no uso de energia renovável. A cana-de-açúcar, como bem coloca Gomide (2010), historicamente importante para a economia brasileira, assumiu um novo papel ao se tornar a principal matéria-prima para a produção de etanol, que, juntamente com a bioeletricidade, ocupa uma posição de destaque na oferta de energia no país. Esse avanço tecnológico e a promoção de políticas públicas voltadas para o setor foram fundamentais para que o Brasil pudesse diferenciar-se do resto do mundo, apresentando uma matriz energética equilibrada e predominantemente limpa (BENTO E VIEIRA FILHO, 2023).

No entanto, a produção e a expansão dos biocombustíveis enfrentam desafios significativos. A questão econômica, especialmente os altos custos de produção, são barreiras que exigem políticas públicas específicas e eficientes para serem superadas (GOMIDE, 2010; ABEDIN et al., 2023). A introdução de biocombustíveis na matriz energética global precisa ser acompanhada de tecnologias avançadas e políticas que mitiguem os impactos sociais e ambientais, garantindo que essa transição contribua efetivamente para a sustentabilidade e a redução das emissões de gases de efeito estufa (ALIC et al., 2010; SANTOS, 2014).

5.1 Etanol

O etanol é um biocombustível derivado da fermentação de biomassa que possui uma longa trajetória histórica no Brasil. O início da produção de etanol no país pode ser traçado até o período colonial, quando a cana-de-açúcar foi introduzida por Martim Afonso de Souza em 1525, dando início a uma das indústrias mais relevantes da economia brasileira

(BENTO E VIEIRA FILHO, 2023). Neste período imperial até a proclamação da República em 1889, como é apontado por Gomide (2010), foram publicados diversos decretos para promover a cultura de cana açúcar, o que garantiu o açúcar como principal matéria prima exportada do país. A produção de etanol a partir da cana-de-açúcar se consolidou ao longo dos séculos, especialmente após a introdução do Proálcool na década de 1970, como resposta à crise do petróleo e à necessidade de reduzir a dependência de combustíveis fósseis (VIEIRA FILHO, 2022). Ainda assim, a cana de açúcar nunca deixou de ser uma matéria prima disputada por dois mercados: produção de açúcar e de etanol.

O Brasil é um dos maiores produtores e consumidores de etanol no mundo. Em 2023, o país foi responsável pela produção de 713 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, a maior série histórica e o que representa cerca de 40% da produção mundial (CONAB, 2024). Além disso, o Brasil é conhecido por seu avanço na tecnologia de veículos *flex fuel*, que pode operar com qualquer proporção de etanol hidratado e gasolina (GOMIDE, 2010). Esse modelo de veículos *flex fuel*, segundo Gomide (2010), contribuiu para a alta demanda de etanol e para o desenvolvimento de uma infraestrutura robusta para sua produção e distribuição.

O etanol brasileiro se divide em duas categorias principais: o etanol anidro e o etanol hidratado. O etanol anidro é misturado à gasolina em proporções que variam dependendo das condições do mercado e da safra (GOMIDE, 2010). Por outro lado, o etanol hidratado é comercializado em sua forma pura e é utilizado tanto por veículos movidos exclusivamente a álcool quanto pelos veículos *flex fuel* (VIDAL, 2023). Desde 2015, a mistura obrigatória de etanol na gasolina no Brasil é de 27% (BRASIL, 2024).

A importância do etanol vai além das fronteiras brasileiras. Segundo Vidal (2023), no mercado global, o Brasil tem se destacado como um grande exportador, especialmente para países como Países Baixos, Coreia do Sul e Estados Unidos. A produção de etanol está se expandindo também para mercados europeus, impulsionada pela redução na produção de beterraba e pela alta nos preços dos grãos, que afetam a produção de etanol em outros países (VIDAL, 2023). No final de 2022, o Brasil se tornou o principal exportador de etanol para a União Europeia e deve permanecer assim em 2023, isso ocorreu devido principalmente “aumento da oferta brasileira e da desvalorização do Real em relação ao Euro e ao Dólar” (VIDAL, 2023, p. 2), o que evidencia a crescente demanda por fontes de energia sustentáveis.

Além do etanol de primeira geração, que é produzido a partir do caldo da cana-de-açúcar, o Brasil também está investindo em etanol de segunda geração, que utiliza biomassa não comestível, como resíduos agrícolas e celulose (VIDAL, 2019). Esse tipo de etanol oferece vantagens ambientais, como a redução das emissões de CO_2 , e contribui para a diversificação da matriz energética do país (VIDAL, 2019).

O mercado de etanol está em constante evolução. A produção no Brasil está concentrada principalmente nas regiões Sudeste e Centro-Oeste, que juntas respondem por 89% do volume produzido na safra 2022/23 (VIDAL, 2023). O crescimento da produção de etanol é impulsionado por fatores como o clima favorável, a disponibilidade de terras aráveis e a tecnologia avançada (SANTOS, 2014). No entanto, o setor enfrenta desafios, como a concorrência com a gasolina e questões relacionadas à sustentabilidade e ao impacto ambiental (SANTOS, 2014).

O avanço tecnológico no setor sucroalcooleiro é notável, com inovações como a mecanização das lavouras e o desenvolvimento de etanol celulósico, que promete aumentar a eficiência da produção (SANTOS, 2014). Essas inovações são cruciais para a sustentabilidade do setor, que deve equilibrar a produção de etanol com a preservação ambiental e a eficiência econômica.

O etanol brasileiro se destaca por seu elevado grau de eficiência na geração de energia, sendo o etanol de cana a opção mais competitiva em termos de custo de produção quando comparado com o etanol de milho, por exemplo (SANTOS, 2014). Esse fator torna o etanol uma alternativa atraente para investidores e consumidores, contribuindo para a sua relevância no mercado global.

O desenvolvimento de políticas públicas também tem desempenhado um papel importante na promoção do etanol. Desde os primeiros decretos que incentivaram a produção de etanol até as políticas mais recentes que regulamentam a mistura obrigatória na gasolina e regulamentam o mercado de carbono, o governo brasileiro tem sido um agente ativo na expansão do setor (GOMIDE, 2010). Essas políticas têm ajudado a criar um ambiente favorável para a produção e comercialização do etanol, beneficiando tanto a economia quanto o meio ambiente.

O Programa Nacional do Álcool (Proálcool), instituído em 1975, surgiu como uma resposta direta ao primeiro choque do petróleo em 1973, quando a Organização dos Países

Exportadores de Petróleo (OPEP) aumentou o preço do barril em 300%, o que colocou em evidência a dependência do Brasil e de outros países em relação ao petróleo importado. Como apontado por Vidal (2019), essa crise levou ao agravamento do déficit comercial do Brasil, já que cerca de 47% das divisas provenientes das exportações eram consumidas pela importação de petróleo. O Proálcool foi concebido, então, para reduzir essa dependência ao substituir a gasolina por etanol, um combustível renovável produzido internamente (VIDAL, 2019; GOMIDE, 2010).

Inicialmente, o Proálcool foi bem-sucedido, incentivando a produção de etanol e ampliando a área plantada com cana-de-açúcar. Em 1979, com o segundo choque do petróleo, o programa ganhou ainda mais relevância, resultando no lançamento dos primeiros veículos movidos exclusivamente a etanol hidratado. Até o início da década de 1980, a maioria dos carros vendidos no Brasil era movida a álcool, o que demonstrava a eficácia das políticas públicas de incentivo ao biocombustível no país (VIDAL, 2019; TÁVORA, 2011).

Contudo, a partir de meados da década de 1980, o Proálcool começou a enfrentar desafios significativos. A queda nos preços internacionais do petróleo e a alta dos preços do açúcar, que influenciava diretamente o destino da cana de açúcar, desestabilizaram o programa, levando ao desabastecimento de etanol no mercado interno, tanto pela alta demanda por etanol e a baixa oferta de matéria prima para produção do mesmo, pois era mais lucrativo utilizar a cana de açúcar para produzir açúcar, como apontado por Gomide (2010). Além disso, o fim dos subsídios governamentais à produção de álcool contribuiu para a redução da competitividade do etanol em relação à gasolina, o que culminou na gradual extinção do Proálcool (GOMIDE, 2010; VIDAL, 2019).

De acordo com Távora (2011), a queda nos preços do petróleo na segunda metade dos anos 1980, aliada à instabilidade econômica do Brasil, fez com que o consumo de etanol hidratado diminuísse drasticamente. O consumidor, desconfiado da durabilidade dos veículos movidos a álcool e diante de rumores sobre o fim do Proálcool, começou a preferir veículos movidos a gasolina. Esse movimento foi exacerbado pela falta de desenvolvimento tecnológico nos motores a álcool, que ainda apresentavam problemas de corrosão e dificuldades na partida a frio (TÁVORA, 2011).

O Instituto do Açúcar e do Alcool (IAA), criado em 1933 pelo Presidente Getúlio Vargas para controlar o mercado de açúcar, com uso de cotas de produção e aplicação de extenso controle em todas as etapas do processo produtivo, de comercialização e de comércio exterior, foi extinto em 1990 e marcou o esvaziamento do Proálcool (TÁVORA, 2011). O IAA, que havia perdido poder desde meados da década de 1980, segundo Távora (2011) era visto pelos produtores como responsável por vender o açúcar brasileiro abaixo das cotações internacionais, contribuindo para a crise no setor.

Segundo Vidal (2019), apesar desses desafios, a história do Proálcool não é marcada apenas por dificuldades. O programa permitiu que o Brasil desenvolvesse a maior tecnologia de produção de etanol do mundo, com uma significativa redução dos custos reais de produção. Mesmo após o fim do Proálcool, a tecnologia e a infraestrutura desenvolvidas continuaram a servir de base para o setor de biocombustíveis no Brasil, especialmente com o advento dos veículos flexfuel na década de 2000, que ressuscitaram o interesse pelo etanol como combustível (TÁVORA, 2011; VIDAL, 2019).

Além disso, o Proálcool teve um impacto positivo na economia brasileira ao contribuir para a redução do déficit comercial ao diminuir as importações de combustíveis fósseis, além da promoção de uma matriz energética mais diversificada e sustentável. O incentivo governamental à produção de etanol, através de medidas como a adição compulsória de anidro à gasolina como foi feito desde a implementação da adição obrigatória de 20% e incentivos fiscais, foi essencial para garantir a viabilidade econômica do programa, mesmo em períodos de adversidade no mercado internacional (GOMIDE, 2010).

Em síntese, o Proálcool é um exemplo notável de uma política pública que conseguiu transformar a matriz energética de um país e posicionar o Brasil como um dos líderes globais na produção de biocombustíveis. A experiência acumulada ao longo do programa serviu de base para o desenvolvimento de novas tecnologias e políticas energéticas, que continuam a influenciar o setor até os dias atuais (VIDAL, 2019; GOMIDE, 2010).

5.2 Biodiesel

Como bem define Silva (2010), o biodiesel é um combustível renovável e biodegradável, é produzido principalmente a partir de óleos vegetais ou gorduras animais, utilizando o processo de transesterificação para converter lipídios em ésteres de ácidos graxos. Este biocombustível surgiu como uma alternativa ao diesel convencional,

destacando-se por suas propriedades ambientais favoráveis. No Brasil, a história do biodiesel remonta aos esforços iniciais no âmbito do Proálcool, que buscavam diversificar as fontes de combustíveis e reduzir a dependência do petróleo (SILVA, 2010). No entanto, o interesse no biodiesel foi reavivado com o crescimento da produção e consumo na Europa, especialmente na Alemanha, o que levou o governo brasileiro a lançar o Programa Nacional de Produção de Biodiesel em 2004, regulamentado pela Lei nº 11.097, de 2005 (SILVA, 2010).

O Programa Nacional de Produção de Biodiesel estabeleceu metas progressivas para a mistura de biodiesel ao petrodiesel, começando com 2% a partir de 2008 e aumentando para 5% em 2013 (SILVA, 2010) e que hoje está fixado em 14%, com planos de aumentar progressivamente para 20% até 2030 (BRASIL, 2023). Essa iniciativa visou não apenas diversificar a matriz energética brasileira, mas também promover a inclusão social e o desenvolvimento regional, especialmente no Nordeste (SILVA, 2010). Embora o cultivo da mamona no Nordeste tenha enfrentado desafios, incluindo a falta de variedades adaptadas e técnicas de manejo desenvolvidas, Silva (2010) aponta que a esperança era que ele se tornasse uma alternativa viável para a produção de biodiesel na região semiárida.

No cenário global, o biodiesel tem ganhado importância como uma solução para a redução das emissões de gases de efeito estufa e para a promoção da sustentabilidade (BENTO E VIEIRA FILHO, 2023). Em comparação com os combustíveis fósseis, o biodiesel apresenta vantagens ambientais, como a redução das emissões de CO_2 , uma vez que o carbono liberado na combustão é compensado pelo carbono absorvido durante o crescimento das plantas usadas na sua produção (SILVA, 2010). BENTO E VIEIRA FILHO (2023) confirma que o uso de biocombustíveis, incluindo o biodiesel, contribui para uma economia de baixo carbono, destacando seu papel crucial na mitigação das mudanças climáticas e na promoção de uma matriz energética mais sustentável.

O Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB) foi lançado em um contexto global de aumento dos preços do petróleo e de pressões para a redução do uso de combustíveis fósseis (VIEGAS E ARANTES 2018). Esse programa foi essencial para a inclusão do biodiesel na matriz energética brasileira, conforme estabelecido pela Lei 11.097/2005, que determinou a obrigatoriedade da adição de biodiesel ao diesel fóssil em todo o território nacional (VIDAL, 2019).

O PNPB foi estruturado com o objetivo de promover o desenvolvimento da cadeia produtiva do biodiesel, impulsionando tanto a oferta quanto a demanda desse combustível renovável e diversificando as fontes de matérias-primas utilizadas na produção no processo (VIEGAS E ARANTES, 2018). Para atingir essas metas, foram criados instrumentos como o Programa de Financiamento a Investimentos em Biodiesel e a redução fiscal, priorizando as regiões Norte e Nordeste e incentivando a agricultura familiar (VIDAL, 2019). A política pública ainda buscava promover a inclusão social, por meio do Selo Combustível Social, que exigia a compra de matéria-prima de pequenos agricultores (GOMIDE, 2010).

A adoção gradual de misturas obrigatórias de biodiesel no diesel comercializado foi uma das principais estratégias do PNPB. Inicialmente, a adição de 2% de biodiesel (B2) foi instituída em 2008, seguindo um cronograma que previa o aumento progressivo desse percentual (VIEGAS E ARANTES, 2018). O marco mais significativo foi a introdução do B5 em 2010, que antecipou a meta estabelecida para 2013, demonstrando o compromisso do governo brasileiro em aumentar a participação dos biocombustíveis na matriz energética (VIEGAS E ARANTES, 2018).

Apesar do sucesso inicial, a implementação do PNPB enfrentou desafios significativos. A redução da demanda interna por biodiesel na década de 2010 e a política de controle de preços do governo federal de Michel Temer, que segundo Viegas e Arantes (2018) prolongou a adversidade para as usinas de biodiesel, contribuíram para a elevada ociosidade do parque industrial do setor, apontando para a necessidade de otimização das condições de produção e de novos incentivos para o cultivo de oleaginosas (VIDAL, 2019).

A soja tornou-se a principal matéria-prima utilizada na produção de biodiesel no Brasil, representando mais de 70% do total (VIDAL, 2019). Embora a soja ofereça vantagens econômicas devido à sua alta produtividade e à possibilidade de exportação de seus subprodutos, a dependência dessa cultura gera críticas relacionadas à exclusão de outras oleaginosas e ao impacto ambiental do seu cultivo intensivo (VIEGAS E ARANTES, 2018). Além disso, os subsídios destinados a fomentar a produção de outras matérias-primas, como a mamona, não foram suficientes para torná-las viáveis economicamente (VIDAL, 2019).

A introdução do biodiesel no Brasil foi também acompanhada de esforços para incluir a agricultura familiar na cadeia produtiva. O Selo Combustível Social tornou-se um

instrumento central nesse processo, exigindo que as usinas de biodiesel adquirissem parte significativa de sua matéria-prima de agricultores familiares, em troca de benefícios fiscais e acesso a leilões da Agência Nacional de Petróleo (GOMIDE, 2010). Entretanto, a redução dos percentuais mínimos de aquisição de produtos da agricultura familiar, de 50% para 30%, implementada em 2009, gerou debates sobre o real impacto dessa política na inclusão social (VIDAL, 2019).

O impacto econômico das políticas públicas para o biodiesel no Brasil pode ser observado na geração de empregos, especialmente na agricultura familiar. Estima-se que a substituição de 1% do óleo diesel por biodiesel poderia criar até 180 mil empregos, considerando os postos gerados tanto no campo quanto nas cidades (TÁVORA, 2011). Esse potencial de geração de empregos destaca a importância do biodiesel não apenas como uma fonte de energia renovável, mas também como um vetor de desenvolvimento econômico e social. Entretanto, isso não foi efetivo, até hoje foram criados cerca de 20 mil empregos em consequência do mercado de biodiesel (BRASIL, 2023).

Por fim, é importante destacar que a competitividade do biodiesel no Brasil está fortemente ligada ao preço do petróleo no mercado internacional. Em períodos de preços baixos do petróleo, a atratividade dos biocombustíveis tende a diminuir, o que torna crucial a continuidade e o fortalecimento das políticas públicas de incentivo ao biodiesel para garantir a sua viabilidade econômica e ambiental a longo prazo (VIEGAS E ARANTES, 2018).

5.3 Novas fontes de Biocombustíveis: Microalgas

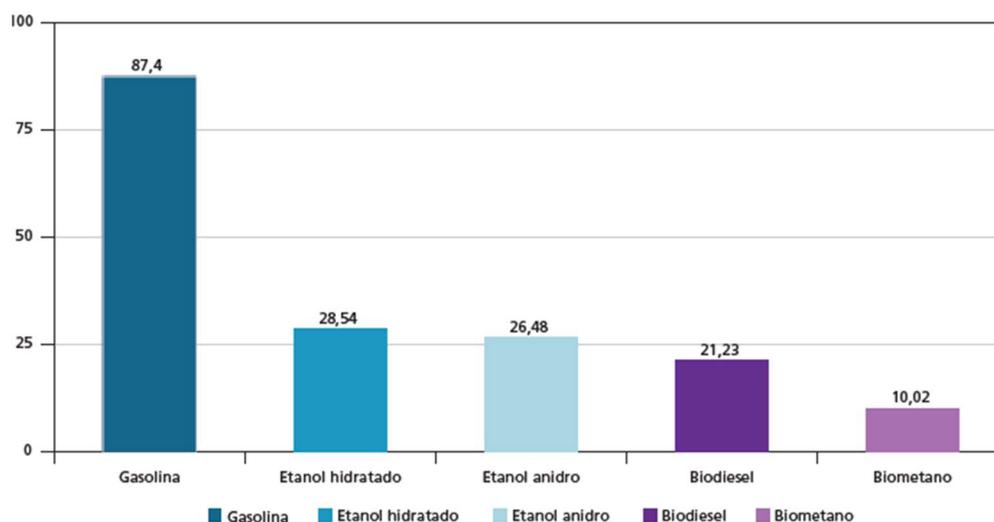
As microalgas representam uma promissora terceira geração de biocombustíveis, oferecendo vantagens significativas em relação às fontes tradicionais. Através de processos simples e econômicos, essas microalgas podem crescer utilizando apenas luz, água e nutrientes básicos, o que as torna uma alternativa viável e eficiente para a produção de bioenergia (SATHYA et al., 2023). Além de sua capacidade de fixar energia solar em biomassa de forma mais eficaz do que as plantas terrestres, elas são altamente produtivas em termos de crescimento e produção de biomassa, apresentando potencial para a produção de diversos biocombustíveis, como biodiesel, bioetanol, biometano e biohidrogênio (PAULA et al., 2023).

Além dos benefícios associados à produção de biocombustíveis, as microalgas têm o potencial de contribuir para a mitigação das mudanças climáticas através da fixação eficiente de CO_2 , em uma taxa de 10 a 50 vezes superior à das plantas terrestres (MOLAZADEH et al., 2019). Esse processo de fotossíntese não só reduz a concentração de CO_2 atmosférico, mas também possibilita a biorremediação de águas contaminadas por diversos tipos de poluentes. No entanto, hoje a produção de biocombustíveis com microalgas está em fase de pesquisa e para maximizar o uso das microalgas como biomassa para biocombustíveis renováveis, é essencial investir em tecnologias que aprimorem a produtividade e os processos de conversão (SATHYA et al., 2023; PAULA et al., 2023).

5.4 A importância dos biocombustíveis

A transição para biocombustíveis é crucial para uma economia de baixo carbono, uma vez que eles oferecem uma alternativa significativa aos combustíveis fósseis. Macedo (2019) aponta que o etanol, por exemplo, emite 89% menos CO_2 em comparação com a gasolina. Além disso, o uso de biocombustíveis contribui para a redução das emissões de gases do efeito estufa; entre 1990 e 2006, o etanol evitou um aumento de 10% nas emissões de CO_2 que teria ocorrido sem sua utilização no Brasil (TÁVORA, 2011). Esses dados sublinham a eficácia dos biocombustíveis na mitigação dos impactos ambientais adversos associados aos combustíveis fósseis.

FIGURA 1 – Intensidade de emissões por combustíveis (Em gCO_2eq/MJ).



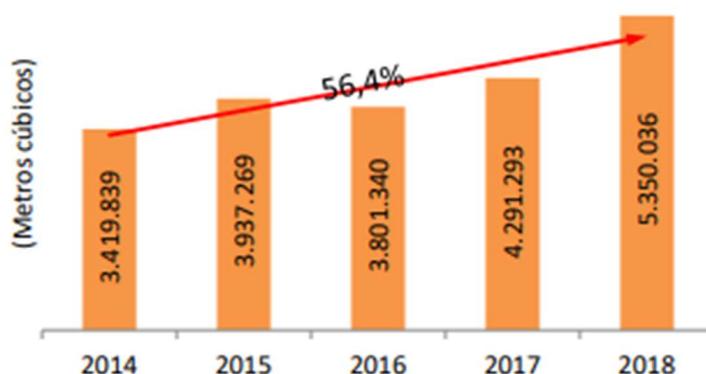
Fonte: BENTO E VIEIRA FILHO (2023), com dados originais extraídos da ANP (2022).

A gasolina, como mostrado na Figura 1, emite 87,4 gramas de CO_2 e por megajoule (gCO_2e/MJ), enquanto biocombustíveis como etanol, biodiesel e biometano emitem menos de 30 gCO_2e/MJ (BENTO E VIEIRA FILHO, 2023). Essa diferença substancial na emissão de CO_2 , como mostrado por Bento e Viera Filho (2023), evidencia a importância dos biocombustíveis na construção de uma sociedade de baixo carbono e reforça a necessidade de políticas públicas que incentivem o uso dessas fontes de energia renovável.

Já o mercado global de biocombustíveis é dominado por algumas regiões-chave, com destaque para a União Europeia, os Estados Unidos e o Brasil. A China emerge como um importante mercado para o etanol, enquanto a Argentina e a Indonésia são notáveis para o biodiesel (VIDAL, 2019). No Brasil, o etanol e o biodiesel têm desempenhado papéis significativos tanto no consumo quanto na produção. O país é o segundo maior produtor e consumidor de biodiesel, com uma capacidade de processamento que alcançou 6 bilhões litros em 2020 (CAVALCANTE FILHO et al., 2021), embora ainda exista uma considerável capacidade ociosa em todas as regiões (VIDAL, 2019).

O mercado de biocombustíveis no Brasil tem respondido positivamente às políticas de aumento das misturas obrigatórias. Entre 2014 e 2018, a ampliação da mistura de biodiesel de 6% para 10% resultou em um incremento de 56,4% na produção de biodiesel, como é mostrado na Figura 2 (VIDAL, 2019). Esta expansão reflete uma tendência geral de maior adoção de biocombustíveis, que está fortemente ligada às políticas públicas de incentivo e ao crescimento da demanda interna. No entanto, a produção de biodiesel no Brasil está concentrada nas regiões Sul e Centro-Oeste, predominantemente devido à utilização da soja como matéria-prima, que representa 71,6% da produção, como mostrado na Tabela 1 (VIDAL, 2019).

FIGURA 2 – Produção brasileira de biodiesel (m^3)



Fonte: Vidal (2019), com dados originais extraídos da ANP (2018).

TABELA 1 – Matéria-prima utilizada na produção de biodiesel no Brasil (m³)

| Matéria-prima | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | (%) |
|-----------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|--------------|
| Óleo de soja | 2.231.464 | 2.625.558 | 3.061.027 | 3.020.819 | 3.072.446 | 71,6 |
| Óleo de algodão | 64.359 | 76.792 | 78.840 | 39.628 | 12.426 | 0,3 |
| Gordura animal (1) | 578.427 | 675.861 | 738.920 | 622.311 | 720.935 | 16,8 |
| Outros materiais graxos (2) | 46.756 | 37.255 | 60.086 | 134.297 | 483.544 | 11,3 |
| TOTAL | 2.921.006 | 3.415.466 | 3.938.873 | 3.817.055 | 4.289.351 | 100,0 |

Fonte: ANP (2018).

Notas:

1) Inclui gordura bovina, gordura de frango e gordura de porco;

2) Inclui óleo de palma, óleo de amendoim, óleo de nabo-forrageiro, óleo de girassol, óleo de mamona, óleo de sésamo, óleo de fritura usado e outros materiais graxos.

Fonte: ANP (2018) apud Vidal (2019)

Notas:

1) Inclui gordura bovina;

2) Inclui óleo de palma, óleo de amendoim, óleo de nabo forrageiro, óleo de girassol, óleo de mamona, óleo de fritura usado e outras matérias graxas.

O etanol oferece vantagens significativas, como emissões isentas de enxofre e material particulado, além de possuir alta octanagem e teor de hidrogênio, permitindo a utilização de gasolina de menor octanagem e, portanto, mais econômica (VIDAL, 2019). A produção global de etanol é fortemente concentrada nos EUA e no Brasil, com o milho sendo a principal matéria-prima no mundo, enquanto a cana-de-açúcar é a base para a produção no Brasil (VIDAL, 2019).

No contexto das políticas públicas, o Brasil tem se destacado pela capacidade de desenvolvimento tecnológico e pela liderança na produção e comercialização de biocombustíveis. Apesar das dificuldades e desafios enfrentados, como a necessidade de substituir metanol importado e a tentativa de introduzir o GNV (Gás Natural Veicular) veicular em momentos críticos, o país tem logrado avanços significativos no setor (TAVARES, 2011). O setor de biocombustíveis brasileiro, além de contribuir para a redução das emissões de gases de efeito estufa, também desempenha um papel crucial na economia nacional, refletido pela ampla utilização de veículos flex fuel e pela significativa participação do Brasil no mercado internacional de açúcar e etanol (TAVARES, 2011).

6 RESULTADOS

A política ambiental no Brasil tem evoluído ao longo das últimas décadas, refletindo um crescente reconhecimento da importância da proteção ambiental. Nas décadas de 1930 a 1960, o país não tinha uma política ambiental estruturada, com foco principal em políticas setoriais que visavam a exploração dos recursos naturais sem uma abordagem integrada de controle ambiental (MOURA, 2013). A preocupação dominante, segundo Moura (2013), era a administração racional dos recursos naturais, com pouco ou nenhum enfoque na preservação ambiental como um objetivo autônomo

A década de 1970 marcou um ponto de inflexão, com o surgimento de preocupações ambientais mais amplas. O relatório "Limites do Crescimento", publicado pelo Clube de Roma e pelo Massachusetts Institute of Technology (MIT), alertou sobre o esgotamento iminente dos recursos naturais se as tendências de consumo continuassem (MEADOWS, 1972). Este relatório e a Conferência de Estocolmo de 1972, na qual o Brasil defendeu a soberania nacional, ajudaram a moldar uma nova abordagem para as questões ambientais, embora o foco do Brasil fosse garantir que o crescimento econômico não fosse comprometido (MOURA, 2013).

Em 1973, a criação da Secretaria Especial de Meio Ambiente (Sema), vinculada ao Ministério do Interior, representou o primeiro esforço formal para tratar das questões ambientais a nível federal. A Sema concentrou-se no controle da poluição industrial e urbana, respondendo a denúncias e problemas emergentes de poluição (MOURA, 2013). No entanto, foi somente com a promulgação da Política Nacional do Meio Ambiente (Lei nº 6.938/81) que se estabeleceu uma estrutura mais robusta para a gestão ambiental, criando o Sistema Nacional do Meio Ambiente (Sisnama) e definindo diretrizes e instrumentos para a proteção ambiental (MOURA, 2013).

A Constituição Federal de 1988 incorporou avanços significativos ao reconhecer o direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado como um direito de todos os cidadãos (CF/88, Art. 225). Esta mudança legislativa representou um marco na formalização do compromisso do Brasil com a proteção ambiental, ao lado de outros dispositivos relacionados à atividade econômica e ao gerenciamento dos recursos naturais (MOURA, 2013). A reestruturação dos órgãos ambientais em 1989, com a criação do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), e a

subsequente criação da Secretaria de Meio Ambiente da Presidência da República (Semam/PR) em 1990, foram importantes passos para consolidar a gestão ambiental no país (MOURA, 2013).

A década de 1990 também viu a introdução do Programa Nacional de Meio Ambiente (PNMA), que buscou melhorar a capacidade institucional para a formulação e gestão ambiental através de investimentos direcionados para a gestão do controle ambiental (MOURA, 2013). Apesar disso, segundo Moura (2013), a estrutura do Ministério do Meio Ambiente (MMA), criado em 1992, enfrentou desafios significativos, incluindo a dependência de recursos internacionais e uma estrutura limitada de pessoal.

A Lei Complementar nº 140/2011 trouxe um importante avanço ao estabelecer normas para a cooperação entre a União, os estados e os municípios na gestão ambiental, reforçando a importância da atuação integrada entre os diferentes níveis de governo (MOURA, 2013). Esta lei visou harmonizar a atuação dos entes federativos e evitar sobreposições, buscando uma gestão mais eficiente e coordenada.

No entanto, desafios persistem, incluindo a necessidade de maior investimento em planejamento ambiental e a construção de sistemas de monitoramento mais eficientes (MOURA, 2014). A fragmentação da política ambiental e a falta de uma agenda integrada têm limitado a eficácia das ações, necessitando de uma governança mais coesa e estratégias de planejamento mais robustas (MOURA, 2014).

Os instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA) e outras políticas setoriais, como a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), têm desempenhado papéis críticos na gestão ambiental (MOURA, 2014). No entanto, a implementação efetiva dessas políticas ainda enfrenta obstáculos significativos, como a baixa capacidade institucional e a falta de integração entre os diferentes órgãos e níveis de governo (MOURA, 2014).

O setor de biocombustíveis, especificamente, tem sido afetado pela complexidade e diversidade de interesses envolvidos. A política para biocombustíveis no Brasil, como apontado por Fernandes (2010), deve conciliar áreas como energia, agricultura, meio ambiente e comércio, refletindo a necessidade de uma abordagem integrada para lidar com os desafios e promover a sustentabilidade. A demanda global por biocombustíveis,

combinada com as políticas internas, como o Programa RenovaBio, ilustra a interdependência entre políticas ambientais e energéticas (VIDAL, 2023).

Os desafios enfrentados pelo setor de biocombustíveis, como a falta de consenso sobre indicadores de sustentabilidade e as comparações com concorrentes como a gasolina, destacam a necessidade de intervenções estatais eficazes para garantir a viabilidade e a sustentabilidade dos biocombustíveis (SANTOS, 2014).

6.1 RenovaBio

Segundo Brasil (2017), o RenovaBio, instituído pela Lei Federal nº 13.576 em 2017, é uma política pública que reconhece a contribuição dos biocombustíveis para a segurança energética e a redução de emissões de gases do efeito estufa (GEE). A política foi desenvolvida através do diálogo entre as diversas partes interessadas do setor, visando fomentar um mercado competitivo com outros produtos energéticos. Com regras claras e transparentes, o RenovaBio assegura que a produção de biocombustíveis seja realizada de forma sustentável, em consonância com os compromissos brasileiros assumidos no Acordo de Paris durante a COP-21, realizada em 2015 (MORANDI et al., 2020).

O principal instrumento do RenovaBio, de acordo com Vidal (2019), é o estabelecimento de metas nacionais anuais de descarbonização para o setor de combustíveis, concretizado por meio do mercado de Créditos de Descarbonização (CBios). A partir dessas metas, calcula-se o número de CBios que cada distribuidora de combustíveis precisa adquirir, de acordo com sua participação no mercado de combustíveis fósseis. Os CBios são emitidos por produtores de etanol e outros biocombustíveis que voluntariamente certificam sua produção e são comercializados na bolsa de valores. Cada CBio representa uma tonelada de CO_2 que deixou de ser emitida (VIDAL, 2019).

Para garantir a sustentabilidade, segundo Morandi (2020), o RenovaBio utiliza as Notas de Eficiência Energético-Ambiental (NEEA), que consideram as emissões de GEE ao longo do ciclo de vida dos biocombustíveis comparadas aos combustíveis fósseis de referência. Essa nota, associada ao volume de biocombustível produzido, determina a quantidade de CBios que podem ser emitidos e negociados no mercado financeiro. Dessa forma, biocombustíveis com menor emissão de GEE geram mais CBios, incentivando os produtores a investirem em melhorias ambientais (MORANDI et al., 2020; ANDRADE E RODRIGUES, 2024).

O RenovaBio inclui uma variedade de matrizes de produção de biocombustíveis, como etanol de cana-de-açúcar, de milho, e de material lignocelulósico, biodiesel de soja e de outras oleaginosas, biometano de resíduos agroindustriais e urbanos, e biocombustível para aviação. Essa diversidade fortalece a segurança energética do país e promove a inclusão de diferentes setores da agroindústria na cadeia de produção de energia renovável (MORANDI et al., 2020).

A sustentabilidade ambiental é um dos pilares do RenovaBio. Para ingressarem no programa e terem direito aos CBios, os produtores de biocombustíveis devem atender a três critérios de elegibilidade relacionados ao uso sustentável da terra: a produção deve ser oriunda de áreas sem desmatamento após a promulgação do Decreto que regulamentou o RenovaBio; as áreas de produção devem estar em conformidade com o Cadastro Ambiental Rural (CAR); e os zoneamentos agroecológicos da cana-de-açúcar e da palma devem ser respeitados (MORANDI et al., 2020).

O programa não apenas incentiva o uso de biomassa residual, mas também promove a melhoria do ambiente de produção e a utilização mais eficiente dos insumos. Isso se traduz em uma cadeia produtiva mais sustentável e competitiva, capaz de contribuir significativamente para a redução de GEE e para a segurança energética do Brasil (MORANDI et al., 2020).

No entanto, o RenovaBio também enfrenta desafios, especialmente no que diz respeito ao risco de aumento do desmatamento associado à expansão da produção de biocombustíveis. Embora o programa imponha restrições claras quanto ao uso da terra, a preocupação com o desmatamento ilegal permanece, sendo um ponto de atenção tanto em nível nacional quanto internacional (MORANDI et al., 2020).

Em termos econômicos, o RenovaBio se destaca como um importante vetor para a promoção do uso sustentável da terra e para a manutenção do Brasil como um dos líderes globais na produção de biocombustíveis. Ao alinhar metas de descarbonização com incentivos financeiros, o programa impulsiona a competitividade dos biocombustíveis no mercado nacional e internacional (MORANDI et al., 2020). Com o investimento de mais de 1 bilhão de reais de 2021 até 2023, o BNDES aprovou o investimento de mais 3,5 bilhões até o fim de 2024 no setor (BNDES, 2023).

Os resultados do RenovaBio até o momento mostram que o programa tem contribuído para a expansão dos biocombustíveis na matriz energética nacional. Em 2023, foram emitidos 3,4 milhões de CBios, resultando na redução de 3,4 milhões de toneladas de CO_2 na atmosfera (BRASIL, 2023). Isso demonstra o potencial do programa em promover uma transição energética mais sustentável no Brasil, através de uma abordagem de mercado, onde utilizamos do princípio poluidor-pagador para direcionar os custos e manter o custo marginal externo zerado (MME, 2023).

Segundo Morandi (2020), o RenovaBio também foi concebido para ser uma política pública que integra os aspectos econômicos e ambientais dos biocombustíveis, permitindo que o Brasil seja um exemplo de inovação e sustentabilidade na corrida global pela transição energética. Ao promover a descarbonização da matriz de transporte, o programa se alinha às metas climáticas globais e reforça a posição do Brasil como um líder em energias renováveis (MORANDI et al., 2020).

Entretanto, apesar dos avanços, o RenovaBio enfrenta desafios relacionados à volatilidade do mercado de CBios e à falta de alinhamento com outras legislações brasileiras. Essa insegurança jurídica pode afetar a competitividade e a atratividade de investimentos no setor, necessitando de ajustes para garantir a estabilidade e a previsibilidade do mercado de biocombustíveis (COMINETI et al., 2023).

O reconhecimento da capacidade dos biocombustíveis de contribuir para que as metas de descarbonização sejam atingidas é um dos principais fundamentos do RenovaBio. Ao criar um ambiente regulatório favorável, o programa busca atrair investimentos privados e fomentar a inovação no setor de biocombustíveis, consolidando o Brasil como um ator-chave na transição energética global (VIDAL, 2019).

O sucesso do RenovaBio também depende da sua capacidade de promover uma maior integração entre os diversos atores do setor, como produtores, distribuidores e reguladores. A transparência na definição de metas e na comercialização dos CBios é essencial para assegurar que todos os envolvidos possam se beneficiar das oportunidades geradas pelo programa (COMINETI et al., 2023).

Finalmente, o RenovaBio é uma política pública essencial para o Brasil cumprir suas metas climáticas, conforme estabelecido no Acordo de Paris. Ao promover uma matriz energética mais limpa e sustentável, o programa não apenas contribui para a redução das

emissões de GEE, mas também reforça o compromisso do Brasil com a proteção do meio ambiente e a promoção do desenvolvimento sustentável (BRASIL, 2017). Segundo Comineti et al. (2023), houve um aumento de 3,05% no mercado de biocombustíveis em comparação com os combustíveis fósseis desde o início do RenovaBio.

Em relação às críticas à política, o RenovaBio, apesar de ser considerado um avanço significativo para a política de biocombustíveis no Brasil, enfrenta críticas consideráveis, especialmente em relação às influências políticas que permeiam sua concepção e implementação. O fenômeno da "porta giratória"³ é um exemplo claro disso, onde o ex-deputado federal Evandro Gussi, autor do projeto de lei do RenovaBio, assumiu a presidência da União da Indústria de Cana-de-Açúcar (UNICA) logo após encerrar seu mandato legislativo, levantando suspeitas sobre os interesses econômicos que moldam o programa (LAZARO E THOMAZ, 2021; ANDRADE E RODRIGUES, 2024).

Adicionalmente, a UNICA tem atuado para flexibilizar requisitos ambientais do programa, como observado em suas contribuições para a consulta pública da ANP, onde solicitou a extensão de prazos e a aceitação de áreas desmatadas com compensações ambientais, o que não foi atendido (ANP, 2022). Estas ações reforçam a desconfiança sobre as motivações reais do RenovaBio, que, apesar de suas promessas de sustentabilidade, tem sido criticado por priorizar interesses econômicos e do setor sucroenergético, em detrimento das questões ambientais, como o incentivo ao desmatamento e a perda de biodiversidade (ANDRADE E RODRIGUES, 2024).

Além disso, os distribuidores são obrigados a comprar CBIOS, enquanto é voluntário para os produtores de biocombustíveis, que ao mesmo tempo, são os vendedores de CBIOS, o que segundo Comenti (2023), afasta os distribuidores de combustíveis do programa. Portanto, embora o RenovaBio possua um potencial promissor, ele ainda apresenta lacunas que comprometem sua transparência e credibilidade, necessitando de uma avaliação rigorosa de sua implementação e do comprometimento das usinas em adotar melhores práticas ambientais (ANDRADE E RODRIGUES, 2024).

³ O fenômeno da porta giratória ocorre quando indivíduos transitam entre cargos no setor público e privado, especialmente em áreas reguladas, como política, economia e finanças. Basicamente, funcionários públicos, como reguladores ou políticos, deixam seus cargos governamentais e assumem posições em empresas privadas do setor que anteriormente regulavam, ou vice-versa (ANESP, 2022)

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Brasil precisa de políticas públicas com abordagens diversificadas que incluam tanto controle quanto incentivos econômicos. O Brasil passou anos se importando com o básico da política ambiental (conservação das águas, da biodiversidade, da terra) e não deu prioridade para políticas sobre biocombustíveis que fossem focadas em questões ambientais e em eficácia e independência energética (MOURA, 2013)

O RenovaBio, ao incentivar a produção sustentável de biocombustíveis por meio de créditos de descarbonização (CBios), representa um avanço significativo na incorporação de instrumentos de mercado nas políticas ambientais brasileiras. No entanto, como apontado ao longo do trabalho, ainda existem desafios na sua implementação, incluindo a necessidade de uma maior transparência e comprometimento das usinas em práticas ambientalmente responsáveis. Portanto, a continuidade dos instrumentos de comando e controle, que estabelecem padrões e regulam diretamente as emissões, é crucial para complementar os incentivos econômicos do RenovaBio.

Além disso, a trajetória histórica de programas como o Pró-Álcool demonstra a capacidade do Brasil em se adaptar a crises energéticas e em promover a inovação no setor de biocombustíveis. No entanto, a experiência também ensina que a dependência excessiva de uma única forma de política pública pode levar a desafios significativos, como visto na crise de abastecimento de etanol nos anos 1980. Assim, uma estratégia diversificada, que combine diferentes tipos de instrumentos, é fundamental para garantir a resiliência do setor.

As políticas públicas no setor de biocombustíveis têm uma longa trajetória no Brasil, porém algumas políticas tiveram mais destaque e essas foram detalhadas durante esse trabalho.

A continuidade do investimento em pesquisa e desenvolvimento é outro aspecto vital para o sucesso das políticas públicas de biocombustíveis. A evolução tecnológica, como o desenvolvimento de biocombustíveis de segunda e terceira gerações, pode oferecer soluções mais eficientes e menos custosas para os desafios ambientais e energéticos. Políticas que incentivem a inovação tecnológica e a diversificação das fontes de matéria-prima para biocombustíveis são essenciais para manter a competitividade e a sustentabilidade do setor a longo prazo.

Por fim, é crucial que o governo brasileiro continue a buscar novas formas de políticas públicas que possam complementar os instrumentos existentes, reduzindo custos e aumentando a eficácia. Isso pode incluir a criação de novos mecanismos de financiamento, incentivos à pesquisa e desenvolvimento e a implementação de políticas mais flexíveis e adaptáveis às mudanças do mercado e às necessidades ambientais emergentes.

Em conclusão, o sucesso das políticas públicas relacionadas aos biocombustíveis no Brasil depende de uma abordagem integrada que combine instrumentos de mercado e de comando e controle com investimentos contínuos em pesquisa e inovação. Somente por meio dessa combinação será possível alcançar uma matriz energética sustentável, reduzir as emissões de GEE e garantir o desenvolvimento econômico do país.

REFERÊNCIAS

ANP - AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO. **Biocombustíveis**. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br> Acesso em: 25/08/2024.

ANESP. **Gaetani e Lotta abordam os perigos da porta giratória entre governo e mercado**. Associação Nacional dos Especialistas em Políticas Públicas e Gestão Governamental. 2022. Disponível em: [Gaetani e Lotta abordam os perigos da porta giratória entre governo e mercado — ANESP](#) Acesso em: 21/09/2024

ARTAXO, Paulo¹. **As três emergências que nossa sociedade enfrenta: saúde, biodiversidade e mudanças climáticas**. Estudos Avançados, v. 34, n. 100, p. 53-66, 2020

ARTAXO, Paulo. **Mudanças climáticas e o Brasil**. Revista USP, São Paulo, n. 103, p. 8-12, 2014.

ALVALÁ, Regina Célia dos Santos; RIBEIRO, Daniela Ferreira; MARENGO, Jose Antonio; SELUCHI, Marcelo Enrique; GONÇALVES, Demerval Aparecido; SILVA, Larissa Antunes da; PINEDA, Luz Adriana Cuartas; SAITO, Silvia Midori. Analysis of the hydrological disaster occurred in the state of Rio Grande do Sul, Brazil in September 2023: Vulnerabilities and risk management capabilities. International Journal of Disaster Risk Reduction, v. 110, p. 104645, 2024.

Andrade, Virgínia Corrêa Santos de; RODRIGUES, Gelze Serrat de Souza Campos. **Análise da Formulação da Política Nacional de Biocombustíveis - Renovabio: o Territorial, o Político e o Econômico**. Sociedade & Natureza, Uberlândia, v. 36, e71461, 2024. DOI: 10.14393/SN-v36-2024-71461.

ALIC, John; SAREWITZ, Daniel; WEISS, Charles; BONVILLIAN, William. **A new strategy for energy innovation**. Nature, v. 466, p. 316-317, 2010

BRASIL. Lei nº 13.576, de 26 de dezembro de 2017. **Dispõe sobre a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio) e dá outras providências**. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 27 dez. 2017. Disponível em: https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/20212306. Acesso em: 26 ago. 2024

BRASIL. **Portaria nº144 de 22 de julho de 2019.** Dispõe sobre os critérios e procedimentos relativos à concessão, manutenção e uso do Selo Combustível Social. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-n-144-de-22-de-julho-de-2019-203419910> Acesso em: 31 ago. 2024

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil:** promulgada em 5 de outubro de 1988. Brasília, DF: Presidência da República, 1988.

BRASIL. Ministério das Relações Exteriores1. **Resultados da COP28.** Disponível em: <https://www.gov.br/mre/pt-br/canais_atendimento/imprensa/notas-a-imprensa/resultados-da-cop28-1 >. Acesso em: 31 ago. 2024

BENTO, José Alex do Nascimento; VIEIRA FILHO, José Eustáquio Ribeiro. **Biocombustíveis e economia de baixo carbono no Brasil.** Brasília, DF: Ipea, jul. 2023. 38 p. (Texto para Discussão, n. 2899).

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia; Ministério das Relações Exteriores. **Protocolo de Kyoto.** Brasília: Ministério da Ciência e Tecnologia, 1997

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia; Ministério das Relações Exteriores. **Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima.** Brasília: Ministério da Ciência e Tecnologia, 1992.

BRASIL. **Alexandre Silveira comemora aprovação do Combustível do Futuro, projeto do MME que cria novas indústrias verdes no Brasil.** Ministério da Minas e Energia. 2024. Disponível em:Acesso em: 20/09/2024

BRASIL. **BNDES amplia para R\$ 3,5 bilhões recursos para o setor de biocombustíveis.** Meio Ambiente. 2023. Disponível em:Acesso em: 10/09/2024

BRASIL. RenovaBio bate recorde de emissão de Créditos de Descarbonização (CBIOs). Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. 2023. Disponível em: Acesso em: 10/09/2024

CAVALCANTE FILHO, Pedro Gilberto; BUAINAIN, Antônio Márcio; CUNHA, Marcelo Pereira da. **Avaliação dos impactos socioeconômicos da cadeia produtiva do Biodiesel**

na agricultura familiar brasileira. Estudos Econômicos (São Paulo), v. 51, p. 493-527, 2021.

CARVALHO, Débora. **Biocombustíveis: os desafios do Brasil - Falta organizar a produção e a distribuição e diversificar fontes.** Revista, Brasília, ano 6, edição 53, 3 ago. 2009.

CARTA DA TERRA. Carta da Terra Brasil. Disponível em: <http://www.cartadaterrabrasil.org/prt/text.html> . Acesso em: 28 ago. 2024.

CECHIN, Andrei. **Fundamento Central da Economia Ecológica.** Economia do Meio Ambiente: Teoria e Prática. 2018. p. 33-52. ISBN: 978-85-352-9006-6.

CONFERENCE OF THE PARTIES. **Adoption of the Paris Agreement.** Proposal by the President. Paris, 2015. Disponível em: Acesso em: 28 de ago. 2024

CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO. **Agenda 21.** Rio de Janeiro: ONU, 1992. Disponível em: <http://www.un.org/esa/sustdev/agenda21.htm> . Acesso em: 28 ago. 2024.

COSTA, Simone S. Thomazi1. **Introdução à economia do meio ambiente.** Análise, Porto Alegre, v. 16, n. 2, p. 301-323, ago./dez. 2005

COMINETI, Camila da Silva Serra; PRETEL, Ariel Fernandes; SCHLINDWEIN, Madalena Maria. **The type of development promoted by Brazilian National Biofuels Policy.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 182, p. 113368, 2023.

CONAB. **Produção de cana-de-açúcar na safra 2023/24 chega a 713,2 milhões de toneladas, a maior da série histórica.** Companhia Nacional de Abastecimento. 2024. Disponível: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/5489-producao-de-cana-de-acucar-na-safra-2023-24-chega-a-713-2-milhoes-de-toneladas-a-maior-da-serie-historica>. Acesso em: 10/09/2024

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis – Ano 2022.** Nota Técnica EPE/DPG/SDB/2023/01. agosto de 2023. Disponível em: <http://www.epe.gov.br>. Acesso em: 28 ago. 2024.

FERNANDES, Francisco Rego Chaves; LUZ, Adão Benvindo da; CASTILHOS, Zuleica Carmen (Eds.). **Agrominerais para o Brasil**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010. 380 p. ISBN 978-85-61121-61-7

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 1991

GOLDEMBERG, José. **Trinta anos da Convenção do Clima**. Estudos Avançados, São Paulo, Brasil, v. 37, n. 107, p. 277–288, 2023. DOI: 10.1590/s0103-4014.2023.37107.016. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/eav/article/view/219585>. Acesso em: 14 jul. 2024.

GOMIDE, Ricardo Borges. **Políticas governamentais para os biocombustíveis**. Agrominerais para o Brasil. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010. p. 203-2264.

HASAN, M., ABEDIN, M. Z., AMIN, M. B., NEKMAHMUD, M., & Oláh, J. (2023). **Sustainable biofuel economy: A mapping through bibliometric research**. Journal of Environmental Management, 336, 117644.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Indicadores de desenvolvimento sustentável: Brasil 2012**. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. (Série Estudos e Pesquisas: Informação Geográfica, n. 9).

IPCC. **Mudança do Clima 2023: Relatório Síntese. Contribuição dos Grupos de Trabalho I, II e III para o Sexto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima**. Genebra: IPCC, 2023. Disponível em: <https://www.ipcc.ch>. Acesso em: 10/09/2024

IPCC. **Relatório especial do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) sobre os impactos do aquecimento global de 1,5°C acima dos níveis pré-industriais e respectivas trajetórias de emissão de gases de efeito estufa**. Tradução: Governo do Brasil. Incheon, Coreia do Sul: IPCC, 2018. Disponível em: <https://www.ipcc.ch>. Acesso em: 10/09/2024

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate Change 2014: Synthesis Report**. Geneva, Switzerland: IPCC, 2014. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>

IPCC. Global Warming of 1.5 °C. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/sr15/>. Acesso em: 16 abr. 2023.

JARDIM, Victor Monteiro de Castro Campos; MURTA, Mariana Amorim. **Investimento em descarbonização no setor de biocombustíveis: um caminho facilitador para o cumprimento do acordo de Paris**. In: LEUZINGER, Márcia Dieguez; SOUZA, Lorene Raquel de; CIRNE, Mariana Barbosa; MURTA, Mariana (Orgs.). Instrumentos econômicos. Brasília: CEUB, 2023. p. 75-91.

LAZARO, Lira Luz Benites; THOMAZ, Lais Forti. **Stakeholder participation in the formulation of Brazilian biofuel policy (RenovaBio)**. Ambiente & Sociedade, v. 24, p. e00562, 2021.

MARENGO, José Antonio. **Mudanças climáticas e seus impactos**. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 34, n. 1, p. 1-15, 2019. DOI: 10.1590/0102-7786341001

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de metodologia científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003

MEADOWS, Donella H. et al. **The Limits to Growth**. 1. ed. New York: Universe Books, 1972. 205 p.

MOTTA, Ronaldo Seroa da. **Carbon pricing: from the Kyoto Protocol to the Paris Agreement**. In: Legacy of the CDM: lessons learned and impacts from the Clean Development Mechanism in Brazil as insights for new mechanisms. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2023. p. 336-350

MORANDI, Marcelo A. B. **The science behind Brazilian biofuels policy - RenovaBio**. Embrapa Meio Ambiente. 2020. Disponível em: [Article: The science behind Brazilian Biofuels Policy – RenovaBio - Portal Embrapa](#). Acesso em: 27 ago. 2024.

MORANDI, Marcelo A. B.; FOLEGATTI, Marília I. S.; PIGHINELLI, Anna Letícia M. T.; SILVA, Gustavo B. S. da; RAMOS, Nilza P.; NOVAES, Renan M. L.; BONOMI, Antonio M.; CHAGAS, Mateus F.; CAVALETT, Otavio; SEABRA, Joaquim E. A.; MOREIRA, Marcelo M. R. **RenovaBio: Inovação para a Sustentabilidade**. Agroanalysis, jan. 2020, p. 31-32.

MOURA, Adriana Maria Magalhães de. **Trajectoria da política ambiental federal no Brasil**. GOVERNANÇA AMBIENTAL NO BRASIL: INSTITUIÇÕES, ATORES E POLÍTICAS PÚBLICAS. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2012. p. 13-35.

MOURA, Adriana Maria Magalhães de. **Caminhos para uma melhor governança na política ambiental brasileira**. In: Brasil em Desenvolvimento 2014: Estado, Planejamento e Políticas Públicas. Brasília: Ipea, 2014. p. 103-130.

MOURA, A.M.M. **Aplicação dos instrumentos de Política Ambiental no Brasil: avanços e desafios**. In: MOURA. A.M.M. Governança ambiental no Brasil: instituições, atores e políticas públicas. Moura. A.M.M. – Brasília: Ipea, 2016, p. 111– 147.

NASTARI, Plinio Mário. **Biocombustíveis podem contribuir mais para a segurança energética**. AgroANALYSIS, v. 43, n. 1, p. 1-10, jan. 2023. Disponível em: <https://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/agroanalysis/article/view/12345>. Acesso em: 31 ago. 2024.

NEVES, Frederico Monteiro; CHANG, Manyu; PIERRI, Naína. **As estratégias de enfrentamento das mudanças climáticas expressas nas políticas públicas federais do Brasil**. Desenvolvimento e Meio Ambiente, v. 34, 2015.

NOBRE, Carlos A.; SAMPAIO, Gilvan; SALAZAR, Luis. **Mudanças Climáticas e Amazônia**. Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2007.

NOBRE, Carlos A.; REID, Julia; VEIGA, Ana Paula Soares. **Fundamentos científicos das mudanças climáticas**. São José dos Campos, SP: Rede Clima/INPE, 2012. 44 p. ISBN: 978-85-17-00064-5.

OLIVEIRA, Yandra Patrícia Lima de. **Desafios do mercado de carbono após o Acordo de Paris: uma revisão narrativa**. Meio Ambiente (Brasil), v. 4, n. 1, p. 02-20, 202245. Disponível em: <https://www.meioambiente-brasil.com>. Acesso em: 28 ago. 2024.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **Acordo de Paris sobre o clima**. 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/88191-acordo-de-paris-sobre-o-clima>. Acesso em: 25/08/2024

OLIVEIRA, E. D. **Economia verde, economia ecológica e economia ambiental: uma revisão.** Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade, [S. l.], v. 13, n. 6, 2017. DOI: 10.22292/mas.v13i6.751. Disponível em: <https://revistasuninter.com/revistameioambiente/index.php/meioAmbiente/article/view/751>. Acesso em: 20 set. 2024.

PAULA, Sueilha Ferreira de Andrade de; DAS CHAGAS, Bruna Maria Emerenciano; MENDONÇA, Renata Araújo. **Utilização de microalgas para o tratamento de efluentes e produção de biocombustível: uma revisão.** Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade, v. 12, n. 25, p. 64-93, 2023.

SANTOS, Gesmar Rosa dos. **Produção de etanol e políticas públicas: trilhando caminhos para a sustentabilidade?** SAMBUICHI, Regina Helena Rosa et al. Políticas agroambientais e sustentabilidade: desafios, oportunidades e lições aprendidas. Brasília: Ipea, 2014. p. 171-200

SATHYA, A. B.; THIRUNAVUKKARASU, A.; NITHYA, R.; NANDAN, A.; SAKTHISHOBANA, K.; KOLA, A. K.; SIVASHANKAR, R.; TUAN, H. A.; DEEPANRAJ, B. **Microalgal biofuel production: Potential challenges and prospective research.** Fuel, v. 332, p. 126199, 2023

SEEG. **Análise Das Emissões Brasileiras De Gases De Efeito Estufa E Suas Implicações Para As Metas De Clima Do Brasil 1970-2019.** Observatório do Clima. Disponível em: [Análise das Emissões Brasileiras de Gases De Efeito Estufa 2020 - Instituto de Energia e Meio Ambiente \(IEMA\) \(energiaambiente.org.br\)](https://energiaambiente.org.br) Acesso em: 10/09/2024

SILVA, Rafael Caetano Paes. **Biocombustíveis.** Bolsista de Valor: Revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense, v. 1, p. 365-370, 2010

SILVA, J. R.; SOUZA, M. A. **Balanco e perspectivas para o setor sucroenergético.** Revista de Energia, v. 10, n. 2, p. 123-145, 2024. Disponível em: <https://agro.fgv.br/publicacao/balanco-e-perspectivas-para-o-setor-sucroenergetico> Acesso em: 31 ago. 2024.

STRAUCH, Manuel. **Instrumentos da política ambiental.** Resíduos: como lidar com recursos naturais. São Leopoldo: Oikos, p. 191-212, 2008.

TÁVORA, Fernando Lagares. **História e Economia dos Biocombustíveis no Brasil**. Brasília: Senado Federal, Consultoria Legislativa, 2011. (Textos para Discussão, n. 89).

TONETO JUNIOR, Rudinei; PINHO, Marcelo (Orgs.) **Economia de baixo carbono: impactos de novos marcos regulatórios e tecnologias sobre a economia brasileira**. Ribeirão Preto: FUNPEC Editora, 2014. 978-85-7747-103-4

THOMAS, Janet M.; CALLAN, Scott J. **Economia ambiental: fundamentos, políticas e aplicações**. Tradução de Antonio Claudio Lot e Marta Reyes Gil Passos. São Paulo: Cengage Learning, 2010

UNITED NATIONS. **Conference of the Parties (COP)**. Disponível em: <https://unfccc.int/process/bodies/supreme-bodies/conference-of-the-parties-cop>. Acesso em: 25/08/2024

VIDAL, Maria de Fatima1. **Etanol**. Fortaleza: Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste - ETENE, 2023. 306 p2. Disponível em: <http://www.bnb.gov.br/etene3>. Acesso em: 28 de ago. 2024.

VIDAL, Maria de Fátima. **Produção e uso de biocombustíveis no Brasil**. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, ano 4, n.79, maio 2019. (Caderno Setorial ETENE, n.79)

VIEGAS, Thales de Oliveira Costa; ARANTES, Lúcia Silveira. **Políticas públicas para a ampliação da produção de biodiesel no Brasil**. Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana, outubro 2018. Disponível em: <https://www.eumed.net/rev/oel/2018/10/producao-biodiesel-brasil.html>. Acesso em: 27 ago. 2024.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Climate Change and Health**. Disponível em: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/climate-change-and-health>

WORLD ECONOMIC FORUM. **The Global Risks Report 2020**. 15th ed. Geneva: World Economic Forum, 2020. Disponível em: <https://www.weforum.org/publications/the-global-risks-report-2020/> . Acesso em: 30 de ago. de 2024.