

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA  
FACULDADE DE ECONOMIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA

GUSTAVO LUZ COUTINHO

MUDANÇA DE BLEND E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO USO DE DIESEL B:  
AVALIANDO OS IMPACTOS ECONÔMICOS E DE DESCARBONIZAÇÃO NO BRASIL

JUIZ DE FORA

2025

GUSTAVO LUZ COUTINHO

MUDANÇA DE BLEND E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO USO DE DIESEL B:  
AVALIANDO OS IMPACTOS ECONÔMICOS E DE DESCARBONIZAÇÃO NO BRASIL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia da Faculdade de Economia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Economia. Área de concentração: Economia.

Orientador: Prof. Dr. Admir Antônio Batarelli Junior

Coorientador: Prof. Dr. Douglas Sad Silveira

JUIZ DE FORA

2025

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Coutinho, Gustavo Luz.

Mudança de blend e eficiência energética no uso do Diesel B :  
Avaliando os impactos econômicos e de descarbonização no Brasil /  
Gustavo Luz Coutinho. -- 2025.

113 f. : il.

Orientador: Admir Antônio Batarelli Junior

Coorientador: Douglas Sad Silveira

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Economia. Programa de Pós-Graduação em Economia, 2025.

1. Biodiesel. 2. Blend. 3. Programa Combustível do Futuro. 4. Biocombustível. 5. Equilíbrio Geral Computável. I. Batarelli Junior, Admir Antônio, orient. II. Silveira, Douglas Sad, coorient. III. Título.

**Gustavo Luz Coutinho**

**Mudança de blend e eficiência energética no uso de diesel B: avaliando os impactos econômicos e de descarbonização no Brasil**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Economia da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Economia Aplicada. Área de concentração: Economia.

Aprovada em 18 de fevereiro de 2025.

**BANCA EXAMINADORA**

**Dr. Admir Antonio Betarelli Junior** - Orientador

Universidade Federal de Juiz de Fora

**Dr. Douglas Sad Silveira** - Coorientador

Universidade Federal de Juiz de Fora

**Dr<sup>a</sup>. Andressa Lemes Proque**

Universidade Federal de São João Del Rei

**Dr. Edson Paulo Domingues**

Universidade Federal de Minas Gerais

**Dr. Victor Eduardo de Mello Valerio**

Universidade Federal de Itajubá

Juiz de Fora, 31/01/2025.



Documento assinado eletronicamente por **Admir Antonio Betarelli Junior, Professor(a)**, em 18/02/2025, às 16:45, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

---



Documento assinado eletronicamente por **Douglas Sad Silveira, Professor(a)**, em 18/02/2025, às 17:05, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

---



Documento assinado eletronicamente por **Andressa Lemes Proque, Usuário Externo**, em 19/02/2025, às 10:36, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

---



Documento assinado eletronicamente por **EDSON PAULO DOMINGUES, Usuário Externo**, em 19/02/2025, às 14:34, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

---



Documento assinado eletronicamente por **Victor Eduardo de Mello Valerio, Usuário Externo**, em 19/02/2025, às 17:22, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

---



A autenticidade deste documento pode ser conferida no Portal do SEI-Ufjf ([www2.ufjf.br/SEI](http://www2.ufjf.br/SEI)) através do ícone Conferência de Documentos, informando o código verificador **2220986** e o código CRC **431F2AC1**.

---

## AGRADECIMENTO

Ao concluir esta etapa, dedico este espaço para agradecer às pessoas que tornaram possível a realização desta conquista. Em primeiro lugar, sou imensamente grato pela minha mãe, Valéria Luz Rodrigues, que me apoiou, e segue me apoiando, em todas as minhas escolhas, me dando confiança e calma para que eu possa me tornar um indivíduo melhor. Sem seu suporte, talvez este momento nunca iria acontecer. A minha avó, Daci, e ao meu avô, Vanir, que, com paciência e amor, me incentivaram a sempre buscar o conhecimento e ser criativo diante os desafios da vida. Minha irmã, Marcela, amiga e parceira, com quem posso compartilhar frustrações e felicidades. Ao meu amor, Liz, meu porto seguro diante as adversidades e questionamentos que surgiram durante toda essa caminhada. Meus tios e tias com quem convivo diariamente, Rodrigo, Edna, Flávio, Vânia; essa conquista é reflexo de todas as nossas interações e conversas, muito obrigado por auxiliarem na minha criação, contribuindo para o que sou hoje.

Gostaria de manifestar meu apreço ao Prof. Admir Betarelli e ao Prof. Douglas Sad, cuja orientação neste trabalho, marcando a conclusão do mestrado, representa muito mais que o título, me orientando frente as diversas questões filosóficas e pessoas as quais surgiram ao longo da pesquisa. Agradeço de forma genuína toda atenção e dedicação investidas em mim e neste trabalho, gerando uma melhor pesquisa e um melhor indivíduo. Aos amigos que compartilharam desta caminhada comigo, em especial Gabriel Arcanjo, Juliano da Silva, César Mantovani, Felipe de Souza, Matheus Nascimento e Pedro Leite, obrigado pelos dias de salinha.

Por fim, minha gratidão ao Programa de Pós-Graduação em Economia Aplicada da Universidade Federal de Juiz de Fora (PPGE-UFJF), com todo seu corpo docente, em especial ao prof. Fernando Perobelli pelas conversas, aos secretários, funcionários da limpeza e a todos que propiciaram um ambiente de estudos necessário para realização deste trabalho. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), agradeço o apoio financeiro essencial proporcionado ao longo do mestrado e a todos os presentes no grupo de pesquisa relacionado ao SAF, cujas discussões iluminaram a escolha do tema e enriqueceram o presente trabalho.

O futuro, embora incerto em sua essência, acredito ser a inevitável projeção das escolhas e ações que tomamos no presente e no passado. O caminho que trilho hoje não é apenas resultado de minha própria vontade, mas também do apoio, ensinamentos e inspiração que recebi de

minha família, orientadores e amigos. Sendo assim, enxergo o amanhã como uma promessa de possibilidades positivas, fruto desse percurso compartilhado.

## RESUMO

Esta dissertação examina os impactos do aumento da política de *blend* do biodiesel presente no diesel B comercializado nos postos com base nas métricas estabelecidas pelo Programa Nacional de Produção do Biodiesel (PNPB), entre 2015 a 2024, e o Programa Combustível do Futuro (PCF) no período de 2025 a 2030. A análise realizada avalia os cenários de aumento da mistura de biodiesel, o aumento do *blend* considerando o aumento do consumo necessário para manter os níveis energéticos caso a mistura permaneça a mesma praticada em 2015, e a melhoria de 5% na eficiência do diesel B até 2040, sem incremento na mistura. Foi de particular interesse avaliar os impactos ambientais e setoriais da política. Para este propósito, utilizou-se um Modelo de Equilíbrio Geral Computável (EGC), mais especificadamente o BIM-RD (*Brazilian Intersectoral Model with Recursive Dynamic*), possuindo dinâmica recursiva para avaliar a economia nacional. Identificou-se que a política de *blend* é responsável por 75% das emissões evitadas e 25% pela melhoria na eficiência energética, único cenário com redução no consumo de diesel B, sendo que todas as políticas apresentaram crescimento do PIB. Os resultados apontaram que a melhoria de eficiência possui característica redistributiva de renda, enquanto a política de *blend* concentra seus impactos positivos nas famílias de maior renda. Conclui-se que, tanto economicamente como ambientalmente, as políticas de *blend* podem surtir efeitos positivos no aumento da atividade econômica nacional atrelada a redução das emissões futuras.

Palavras-chave: *Blend*; Biocombustíveis; Biodiesel; Equilíbrio Geral Computável; Programa Combustível do Futuro

## ABSTRACT

This dissertation examines the effects of increasing the biodiesel blending policy in diesel B sold at gas stations, based on the metrics established by the National Biodiesel Production Program (PNPB) from 2015 to 2024 and the Future Fuel Program (PCF) from 2025 to 2030. The analysis focuses on the impact of increased biodiesel blending, the impact of higher fuel consumption due to energy loss from greater biodiesel content and the effects of a 5% improvement in diesel B efficiency by 2040, without any increase in blending. A key objective is to assess the environmental and sectoral outcomes of the policy. To achieve this, the study applies a Computable General Equilibrium (CGE) model, specifically the BIM-RD (Brazilian Intersectoral Model with Recursive Dynamic), which incorporates recursive dynamics and a fiscal module to examine the national economy. The findings show that the blending policy contributes to 75% of avoided emissions, while 25% results from improved energy efficiency—the only scenario where diesel B consumption declines. All policy scenarios indicate GDP growth. The results also suggest that efficiency gains lead to income redistribution, whereas the blending policy primarily benefits higher-income households. Both economically and environmentally, blending policies play a role in expanding national economic activity while contributing to emissions reduction over time.

Keywords: *Blend*; Biofuels; Biodiesel; Computable General Equilibrium; Future Fuel Program

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxo de produção do Diesel B.....	25
Figura 2 – Histórico dos principais marcos do setor de biocombustíveis .....	26
Figura 3 - O setor de biocombustíveis na economia brasileira de 2010 a 2021 (Bilhões de R\$ de 2010).....	27
Figura 4 - Composição (%) da oferta e demanda total do setor de biocombustíveis no Brasil (2021) .....	28
Figura 5 - Processo simplificado da transesterificação para produção do biodiesel .....	30
Figura 6 - Produção nacional de biodiesel e taxa de mistura obrigatória no Brasil de 2005 a 2023 (em bilhões de litros) .....	30
Figura 7 – Evolução da exportação de biodiesel de 2013 a 2023 (em milhões de litros) .....	32
Figura 8 - Evolução da produção regional de biodiesel por Grandes Regiões de 2005 a 2023 (em bilhões de litros) .....	33
Figura 9 – Participação das matérias-primas na produção de Biodiesel de 2017 a 2023 (em %) .....	34
Figura 10 - Evolução da capacidade instalada e utilizada de 2018 a 2023 (em bilhões de litros) .....	35
Figura 11 - Evolução da taxa de blend de biodiesel no diesel B (taxa de mistura %).....	36
Figura 12 - Estrutura teórica aninhada .....	51
Figura 13 – Fluxo do biodiesel na Matriz de Insumo-Produto.....	58
Figura 14 - Demanda setorial de diesel B e seus componentes (milhões de m <sup>3</sup> ) .....	66
Figura 15 - Simulações em modelos de EGC dinâmicos .....	70
Figura 16 – Variação da taxa de <i>blend</i> no cenário base e no cenário (1) PCF (% de biodiesel no diesel B) .....	74
Figura 17 - Produção de Diesel B e seus componentes no cenário BAU (Bilhões de litros)...	75
Figura 18 - Emissões anuais do diesel B no cenário BAU (milhões de Ton CO <sup>2</sup> Eq).....	76
Figura 19 - Produção de Diesel B e seus componentes no C1 (Bilhões de litros) .....	77
Figura 20 – Produção de biodiesel nos cenários BAU, C1 e C2 (bilhões de litros).....	78
Figura 21 – Redução anual das emissões por cenários (milhões de toneladas de CO <sup>2</sup> equivalente) .....	80
Figura 22 - Alteração acumulada das emissões por cada política .....	82
Figura 23 - Efeito do aumento do <i>blend</i> e do aumento de consumo sobre o PIB .....	88
Figura 24 - Efeitos da melhoria da eficiência do diesel B no PIB.....	89

Figura 25 - Impacto das políticas sobre a produção dos setores agregados .....	90
Figura 26 - Impactos acumulados na renda real das famílias.....	95

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Regras de comercialização de biocombustíveis no mundo em 2017.....	39
Quadro 2 - Resumo dos trabalhos de políticas de combustíveis usando EGC.....	45
Quadro 3 - Estrutura da MCS.....	55
Quadro 4 – Relação da classificação do SCA e dos setores da MIP.....	65
Quadro 5 - Variáveis no modelo e tipo de fechamento.....	71

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Produção mundial de biodiesel de 2012 a 2022 (milhares de BEP/dia).....	40
Tabela 2 - Custos unitários e preços para Etanol e outros biocombustíveis e Diesel B, avaliados em 2015 .....	59
Tabela 3 - Custos unitários e preços para Diesel e Biodiesel.....	62
Tabela 4 – Indicadores de emissão, conteúdo energético e tonelada equivalente de petróleo do diesel fóssil e do biodiesel.....	67
Tabela 5 – Conteúdo Energético do Diesel B com os blends de Biodiesel previstos pelo Programa Combustível do Futuro .....	68
Tabela 6 - Variações reais (%) dos principais indicadores econômicos.....	72
Tabela 7 – Efeitos sobre as principais variáveis macroeconômicas (Var. %).....	86
Tabela 8 – Efeitos setoriais das políticas avaliadas.....	93
Tabela 9 - Efeito das políticas sobre a utilidade das famílias e renda real.....	96
Tabela 10 - Efeito das políticas sobre a demanda das famílias de diesel B e transporte de passageiros.....	97

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis  
BIM-RD - *Brazilian Intersectoral Model with Recursive Dynamic*  
CNPE - Conselho Nacional de Políticas Energéticas  
EGC - Equilíbrio Geral Computável  
EPE - Empresa de Pesquisa Energética  
GEE - Gases de Efeito Estufa  
HVO - *Hydrotreated Vegetal Oil*  
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
ICMS - Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços  
IO - *Input-output table*  
MCS - Matriz de Contabilidade Social  
MDIC - Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços  
MIP - Matriz de Insumo-Produto  
NDC - Nationally Determined Contributions  
PCF - Programa Combustível do Futuro  
PIB - Produto Interno Bruto  
PL - Projeto de Lei  
PNPB - Programa Nacional de Produção do Biodiesel  
RoW – *Rest of the World* (Restante do mundo)  
SAF - *Sustainable Aviation Fuel*  
SAM - *Social Accounting Matrix*  
SCA – Sistema de Contas Econômicas Ambientais  
SCN - Sistema de Conta Nacionais  
TEP - Tonelada Equivalente de Petróleo  
TRU - Tabela de Recursos e Usos  
VAB - Valor Adicionado Bruto  
VBP - Valor Bruto da Produção



## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	16
2	REVISÃO DA LITERATURA .....	18
2.1	A redução das emissões via uso de biocombustíveis.....	18
2.2	O Mercado de biocombustíveis no Brasil.....	23
2.3	O Biodiesel no Brasil .....	29
2.4	Experiências internacionais do Biodiesel .....	39
2.5	Estudos aplicados com modelos de EGC.....	42
3	ESTRATÉGIA METODOLÓGICA.....	50
3.1	Estrutura teórica .....	51
3.1.1	Módulo Fiscal .....	54
3.2	Base de dados.....	57
3.3.1	Custo do Biodiesel .....	58
3.3.2	Demanda do Biodiesel .....	62
3.3.3	Dados de Componente Energético e Emissões.....	66
4	ANÁLISE DE POLÍTICAS.....	69
4.1	Cenário de simulação .....	69
4.2	Análise de política.....	73
4.3	Resultados do Diesel B .....	75
4.4	Resultados macroeconômicos.....	83
4.5	Resultados para os setores .....	89
4.6	Resultados para as famílias .....	94
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	97
6	REFERÊNCIAS.....	102

## 1 INTRODUÇÃO

Em 2015, 195 países estabeleceram como objetivo reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE) em 80% até 2050, mitigando as consequências do aquecimento global, tendo o Brasil como um dos países signatários. O país estabeleceu como foco reduzir suas emissões em 48,4% até 2025 e 53,1% até 2030, tendo como meta a neutralidade de carbono de toda a economia até 2050, com relação aos valores emitidos de 2005 (NU, 2015). Como forma de atingir tais metas, o mercado de biocombustíveis brasileiro vem sendo estimulado por políticas e marcos regulatórios ao longo dos anos, buscando atingir a neutralidade do segundo setor de maior emissão do país, o setor de transporte, através somente das emissões advindas do uso do solo (SEEG, 2024). O mercado nacional de biocombustíveis é representado pela produção de etanol, voltado para os veículos leves, e o biodiesel, voltado aos transportes pesados (DEMIRBAS, 2008).

Os combustíveis fósseis são fontes energéticas não renováveis, dependentes da produção de petróleo, insumo de oferta restrita cuja fabricação ocorre de forma natural sendo necessário milhares de anos para sua formação (ERSHOV et al., 2020). As emissões de GEE atreladas a sua queima é considerado comum dos principais fatores para o aumento da temperatura média global, causando instabilidades sociais e econômicas pelo aquecimento global (CALVIN et al., 2023). Esforços globais para o desenvolvimento de novos combustíveis com capacidade de substituição aos fósseis geraram os biocombustíveis, cuja fonte energética advém de biomassas (MITRA; NAGCHAUDHURI, 2020).

O biodiesel produzido no Brasil tem como objetivo a independência nacional do petróleo externo e do atingimento das metas de redução da emissão. Sua produção é realizada pelo uso de óleo de soja e comercializado em percentuais estabelecidos pelo Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB) em mistura com o diesel fóssil, dado que seu uso direto nos veículos não ocorre, gerando transtornos mecânicos e de perda de eficiência. Entre 2013 a 2023, a mistura obrigatória com o diesel foi de 5% para um patamar de 12%, respectivamente, fazendo com que a produção de biodiesel aumentasse 159%, indo de 2,9 milhões de litros (l) para 7,5 milhões de l (ANP, 2024). Como forma de alcançar a descarbonização do setor de transporte pelo uso do biodiesel, o programa “Combustível do Futuro” (PL n.4196/2023) estabeleceu metas de aumentos da participação do biodiesel de crescimento gradual de até 20%

em 2030, podendo chegar até 25% após 2031 (MILANEZ et al., 2022; BRASIL, 2023a). Nesta perspectiva, essa dissertação tem como objetivo preencher a lacuna existente na literatura quanto aos impactos do aumento das taxas de mistura do biodiesel com o diesel fóssil na economia brasileira sob a ótica da política “Combustível do Futuro” e o cumprimento das metas de redução de GEE estabelecidas pelo país no Acorde Paris.

Para acomodar essa pesquisa, essa dissertação utilizou o modelo de equilíbrio geral computável (EGC) BIM-RD (Brazilian Intersectoral Model with Recursive Dynamic), uma versão nacional dinâmica recursiva, captando as mudanças na evolução do uso do diesel e biodiesel no curto, médio e longo prazo. A estrutura do modelo realiza o cálculo de forma sistêmica de toda a economia nacional, reconhecendo os efeitos dos canais diretos e indiretos estabelecidos nos vínculos entre produção, renda e consumo, apontando ao longo do tempo os setores que mais serão impactados com o aumento da implementação dos biocombustíveis na matriz energética nacional, levando em conta os desvios das taxas de crescimento dos indicadores econômicos em relação ao cenário de referência da economia em uma análise. Tais aspectos corroboram para uma análise temporal dos impactos econômicos do aumento do biodiesel (BETARELLI JUNIOR, 2022a, 2022b, 2023; BETARELLI JUNIOR; PEROBELLI; VALE, 2015).

Diante do Programa Combustível do Futuro, será discutido no trabalho as consequências do aumento do blend do diesel fóssil com o biodiesel para toda economia brasileira, compreendendo o comportamento do setor produtivo e dos usuários finais de forma direta e indireta, contribuindo para a discussão sobre o desempenho nacional em atingir as metas de reduções de GEE, projetando os comportamentos de consumo de diesel B e suas emissões.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo se organiza em seis partes sucessivas. A primeira parte tem como foco enquadrar os biocombustíveis como fatores para redução das emissões de GEE do setor de transporte. A segunda parte relata o histórico dos biocombustíveis na economia brasileira, dando enfoque as políticas realizadas para fomento do setor com enfoque para o Programa Combustível do Futuro (PCF), além de quantificar a contribuição econômica do mesmo para toda economia nacional. O terceiro capítulo descreve a composição atual do mercado produtivo de biodiesel, seus insumos e limitações. A quinta parte relata a produção de biodiesel e bens substitutos em três importantes regiões do mercado de biocombustíveis: a Indonésia, os Estados Unidos e a União Europeia. Por fim, o sexto capítulo revisa os estudos já realizados com enfoque na metodologia de EGC aplicados principalmente em situações de aumento do *blend* do biodiesel no diesel comercializado (diesel B) e seus impactos econômicos, ambientais e sociais

### 2.1 A redução das emissões via uso de biocombustíveis

A preocupação com o aquecimento global tem crescido. Embora a presença dos GEE na atmosfera seja essencial para a conservação da vida na Terra, após a Revolução Industrial, a atividade humana aumentou suas emissões de carbono acima do esperado, gerando uma camada mais espessa sobre o planeta e, por consequência, o aumento da temperatura média global. Os GEE envolvem vapor de água (H<sub>2</sub>O); óxido nitroso (N<sub>2</sub>O); metano (CH<sub>4</sub>); ozônio troposférico (O<sub>3</sub>); hexafluoreto de enxofre (SF<sub>6</sub>); hidrofluorcarbonetos (HFC); perfluorcarbonetos (PFC) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), sendo o último o mais representante do total emitido desde a Revolução Industrial até 2022, participando de 64% dos gases emitidos (MILANEZ et al., 2022; WMO, 2023).

O aquecimento global gera consequências adversas e generalizadas em todas as regiões do mundo. Insegurança alimentar e hídrica acontecem em virtude de alterações em precipitação, redução e perda de elementos criosféricos (e.g. gelo marinho, gelo fluvial, neve), bem como aumento de frequência e de intensidade de eventos climáticos extremos. Nesse cenário, há uma crescente preocupação com o impacto ambiental em escala nacional e global do aumento das emissões de GEE, gerando instabilidade nos aspectos econômicos, sociais e estruturais da vida humana (CALVIN et al., 2023).

O volume das emissões de carbono gerado pela queima de combustíveis fósseis do modelo energético global, por ser altamente dependente de fontes não renováveis (e.g. gás natural, carvão e petróleo), tem se tornado objeto de análise. Com o crescimento da população mundial, adjunto do aumento nos padrões de vida, a demanda energética global tende a aumentar, causando um crescimento no consumo dos combustíveis fósseis, cujas fontes são limitadas, intensificando o aquecimento global. Não obstante, com o objetivo de contribuir para a segurança energética e a mitigação das emissões de CO<sub>2</sub>, políticas e marcos regulatórios e institucionais têm sido configurados para acelerar a transição energética de uma matriz fóssil para uma estrutura energética renovável nos diversos segmentos produtivos da economia mundial (e.g., *Low Carbon Fuel Standard* na Califórnia – EUA, *Plan Nacional de Descarbonización* da Costa Rica e *Bundes-Klimaschutzgesetz* da Alemanha) (CALERO et al., 2015; MWANGI et al., 2015a; ZAIMES et al., 2015; CARB, 2011; MAE, 2019; DB, 2019).

Os danos ambientais são compreendidos com falhas de mercado, sendo uma externalidade negativa que impacta em todo o funcionamento da economia, podendo ser internalizada e reduzida a partir de políticas e regulamentações governamentais. Tal internalização é interpretada como um *trade-off* entre as questões ambientais e o crescimento econômico, visto que sua ponderação é inserida na lógica econômica como um novo custo, reduzindo a capacidade de crescimento do agente em análise (CALERO et al., 2015; MWANGI et al., 2015a; ZAIMES et al., 2015; CARB, 2011; MAE, 2019; DB, 2019; SOUZA, 2022; MONTIBELLER-FILHO, 2007).

As mudanças políticas e regulatórias tiveram como inspiração algumas das principais teorias debatidas a partir da crise do petróleo dos anos de 1970, cuja década foi marcada pelo aumento da poluição nos países desenvolvidos. Nesse mesmo período houve a publicação do relatório “Os Limites do Crescimento”<sup>1</sup> (MEADOWS; CLUB OF ROME; POTOMAC ASSOCIATES, 1974), que manifesta as preocupações acerca da ausência dos fatores ecológicos no sistema econômico global, ampliando as teorias e conceitos da relação entre a utilização dos recursos naturais pela lógica da economia linear, sendo o final do produto o descarte. Desde este relatório, a maneira como os recursos naturais são utilizados está em discussão. A poluição do ar, da água, da atmosfera e do solo são interpretadas como externalidades que necessitam ser

---

<sup>1</sup> O Relatório enfatiza que o meio ambiente não terá condições de manter o nível de consumo dado o crescimento da população

internalizadas pelo sistema econômico vigente (OLIVEIRA, 2017; SALLES; MATIAS, 2022; MEJIAS, 2019).

O primeiro conceito estabelecido foi o da economia ambiental, estabelecida entre as décadas de 60 e 70, que tem como principal característica a atribuição de valores monetários aos bens naturais, propiciando o crescimento econômico com a inserção dos impostos pigouvianos<sup>2</sup>, uma ótica alinhada aos conceitos da economia clássica. Já a economia ecológica, consolidada nos anos 80, compreende a economia como uma parcela dentro de um todo, do meio ambiente, pregando o decrescimento ou estacionamento da economia, sendo um viés mais naturalista e menos econômico, servindo como contraponto da economia ambiental. Por fim, a economia verde, formulada em 2008, propõe o estabelecimento do crescimento sustentável: o aumento da produção com uso eficiente dos recursos naturais por meio do avanço tecnológico e da erradicação da pobreza, gerando um modelo com baixa emissão de carbono. Este último, sendo o conceito mais moderno, é considerado como o meio-termo entre os dois supracitados, sendo o mais atrelado a bioeconomia, utilizando da biotecnologia<sup>3</sup> como principal ferramenta para atingir o desenvolvimento sustentável (OLIVEIRA, 2017; SALLES; MATIAS, 2022; MEJIAS, 2019).

A bioeconomia é o resultado das discussões supracitadas, sendo a ciência fundamental para o desenvolvimento sustentável e preservação dos recursos naturais, não havendo, necessariamente, o crescimento econômico, mas a manutenção do padrão de vida de forma saudável para o planeta. Desta forma, pela bioeconomia, o sistema econômico não é um fluxo mecânico, tal qual o fluxo circular da renda demonstra, mas sim um sistema aberto com suas raízes na termodinâmica, onde a energia utilizada no processo deve ser reaproveitada mediante uso das ferramentas geradas pelo avanço tecnológico na área de biotecnologias, tendo como exemplo as diversas aplicações dos recursos biológicos renováveis na produção de energia

---

<sup>2</sup> Idealizado por Arthur Cecil Pigou (1877 - 1959) como forma de equalizar os custos marginais privados e os custos sociais marginais, internalizando os danos ambientais no preço final.

<sup>3</sup> “Conjunto amplo de tecnologias habilitadoras e potencializadoras envolvendo a utilização, alteração controlada e a otimização de organismos vivos ou suas partes funcionais, células e moléculas para a geração de produtos, processos e serviços. Seus resultados são aplicáveis e utilizados por diversos setores, como saúde, agroindústria e meio ambiente, envolvendo várias áreas do conhecimento, [...] utilizando técnicas inovadoras e promovendo revoluções no tratamento de doenças, no uso de novos medicamentos para aplicação humana e animal, na multiplicação e reprodução de espécies vegetais e animais, no desenvolvimento e melhoria de alimentos, na utilização sustentável da biodiversidade, na recuperação e tratamento de resíduos, dentre outras áreas com potencial crescente de aplicação” (ASSAD et al., 2002).

elétrica, produtos químicos e combustíveis (DIAS; FILHO, 2017; MEJIAS, 2019; SILVA; PEREIRA; MARTINS, 2018).

Utilizando de tais conceitos, iniciou-se a discussão, em 1972, da preservação ambiental do planeta, durante a Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente, realizada em Estocolmo. Neste encontro, pela primeira vez, 113 governos debateram sobre os desafios futuros a serem enfrentados pela humanidade, porém nenhuma política ou meta foi estruturada (PECEQUILO, 2019). Somente em 2015, com o Acordo de Paris, 195 países estabeleceram o objetivo global de reduzir em 80% as emissões de GEE até 2050, tendo como base os níveis de 1990, gerando metas para cada um dos países signatários do acordo de forma a tornar o objetivo geral factível para cada realidade (NU, 2015). Tal redução, evitaria o crescimento da temperatura média acima de 2°C e todo o cenário de instabilidade climática e alterações na capacidade de cultivar alimentos, habitação, segurança e saúde não se concretizaria (NU, 2022). Para o Brasil, as metas de reduções estabelecidas, denominadas “Contribuição Nacionalmente Determinada” (NDC, do inglês *Nationally Determined Contributions*) foram de reduzir as emissões em 48,4% até 2025 e 53,1% até 2030, tendo como meta a neutralidade de carbono de toda economia até 2050, com relação aos valores emitidos de 2005 (NU, 2015).

Nesse cenário, o desafio é estabelecer ou intensificar a participação de substitutos próximos (fotovoltaica, eólica e biocombustíveis) aos recursos fósseis na matriz energética das atividades econômicas para que as metas de redução dos gases de efeito estufa sejam alcançadas (CALERO et al., 2015; MWANGI et al., 2015b; ZAIMES et al., 2015).

A descarbonização do setor de transporte tem papel fundamental para atingir as metas de redução de CO<sub>2</sub>. Isso ocorre por ele ser responsável por 40% de todo o consumo de combustíveis fósseis e ocupar o posto de segundo maior setor emissor de GEE, representando 15% de todas as emissões de CO<sub>2</sub> no mundo em 2020. Como alternativas, os biocombustíveis são os produtos a serem utilizados na substituição dos combustíveis não renováveis, sendo eles uma fonte energética de baixa emissão, de origem animal ou vegetal, renovável e sustentável, podendo ser utilizados pelos transportes de combustão interna (GLISIC; PAJNIK; ORLOVIĆ, 2016; RITCHIE; ROSADO; ROSER, 2024; MILANEZ et al., 2022). A incorporação de um combustível alinhado com o crescimento sustentável, com capacidade de satisfazer as necessidades presentes sem comprometer a capacidade das gerações futuras é uma das

alternativas mais eficientes para alcançar as metas de mitigação das mudanças climáticas (GOLDEMBERG, 2007; VAN BELLEN, 2004; MILANEZ et al., 2022).

Em sua maioria, os biocombustíveis são produzidos utilizando de produtos alimentícios como principal insumo, sendo denominados como combustíveis de primeira geração, tendo como exemplo o etanol, com o uso da cana-de-açúcar, e o biodiesel, com o uso do da soja no Brasil. Aqueles que utilizam de óleos não comestíveis e resíduos naturais; óleos produzidos por algas e óleos produzidos por algas geneticamente modificadas são os biocombustíveis de segunda, terceira e quarta geração, respectivamente (EPE, 2023a; SINGH et al., 2020; TAYARI; ABEDI; RAHI, 2020; ONG et al., 2021).

Os biocombustíveis de segunda a quarta geração são conhecidos como biocombustíveis avançados por não competir com a alimentação humana. O uso de biomassas não comestíveis surgiu como forma de utilizar um recurso largamente disponível (óleo de cozinha usado, gorduras animais, entre outros) e que não forme uma rivalidade ao acesso a alimentos, além de serem mais baratos e poderem ser produzidas em diversas condições de solos e climas. Porém, diversos são os percalços encontrados para a aplicação desses combustíveis. (BHUIYA et al., 2020; CARDOSO, 2017; LEITE; LEAL, 2007).

A produção de biocombustíveis avançados necessita de fases pré-tratamento dos insumos, encarecendo o produto e, no caso daqueles que utilizam gás natural em sua produção, apresenta baixa disponibilidade de matéria prima. Com esses entraves, a aplicação comercial dos novos biocombustíveis é dificultada, pois gera um produto mais caro que o diesel fóssil, com baixa competitividade com relação a seus substitutos (PLANTE et al., 2019; TSITA et al., 2020; OUMER et al., 2018; JOTA, 2024).

Conclui-se que, por ser compatível com a infraestrutura de transporte existente e possuir neutralidade de carbono<sup>4</sup>, a utilização dos biocombustíveis convencionais é uma maneira da aplicação de energia renovável na direção da sustentabilidade do setor de transporte (NEVES; HARDER, 2021; HEAD et al., 2021). Dentre os biocombustíveis comercializados, o etanol é

---

<sup>4</sup> Relação de igualdade entre as emissões de GEE geradas pela utilização com a quantidade removida da atmosfera na fase de cultivo da matéria-prima.

compreendido como o substituto da gasolina e o biodiesel como o do diesel fóssil (DEMIRBAS, 2008).

## 2.2 O Mercado de biocombustíveis no Brasil

O Brasil possui papel de destaque no cenário mundial de utilização e produção de biocombustíveis, sendo o único país onde seu consumo representa 10,4% da demanda energética total do país, principalmente pelo setor de transportes. Possuindo, a mais de décadas, a mistura obrigatória do etanol na gasolina acima de 20% e sendo o quarto maior produtor de biodiesel no mundo, representando 12% de toda a produção global de 2021, o país se apresenta como uma das principais referências no que diz respeito à aplicação de fontes renováveis energéticas no setor de transporte (VIDAL, 2019; POMPELLI et al., 2011; VIDAL, 2022; ABREU; VIEIRA; RAMOS, 2006; EPE, 2022a).

A produção e comercialização de biocombustíveis teve seu início em 1920-30, com o etanol, apresentando maior disponibilidade de seus insumos e preços de comercialização menor que a gasolina. Entretanto, somente em 1975, com o Programa Nacional do Álcool (PROALCOOL) e com o Plano de Produção de Óleos Vegetais para Fins Energéticos (Pró-óleo), o setor teve seu crescimento largamente impulsionado como forma de redução a dependência do petróleo externo. Em 1983, o Programa de Óleos Vegetais (OVEG) testou o uso do biodiesel puro e em diferentes níveis de mistura com o diesel mineral, contando com apoio de grandes *players* da indústrias e centros de pesquisa universitários (ABREU; VIEIRA; RAMOS, 2006). Em 2002, o Programa Brasileiro de Desenvolvimento Tecnológico de Biodiesel (PROBIODIESEL) iniciou pesquisas com foco na implementação da mistura de 5% de biodiesel no diesel fóssil comercializado, gerando o diesel B, porém, pelo ambiente político vivenciado na época, o programa se limitou a realizar somente alguns testes em campo (P. RAMOS et al., 2017).

Com a introdução do carro *flex*, em 2003, o etanol, em sua versão hidratada, pôde ser usado como combustível *drop-in*<sup>5</sup>. Com a intensificação do setor de etanol adjunto da nova tecnologia do veículo *flex*, o Brasil se estabeleceu como um dos maiores produtores e consumidores de etanol no mundo, posicionando os biocombustíveis como principal forma de descarbonização

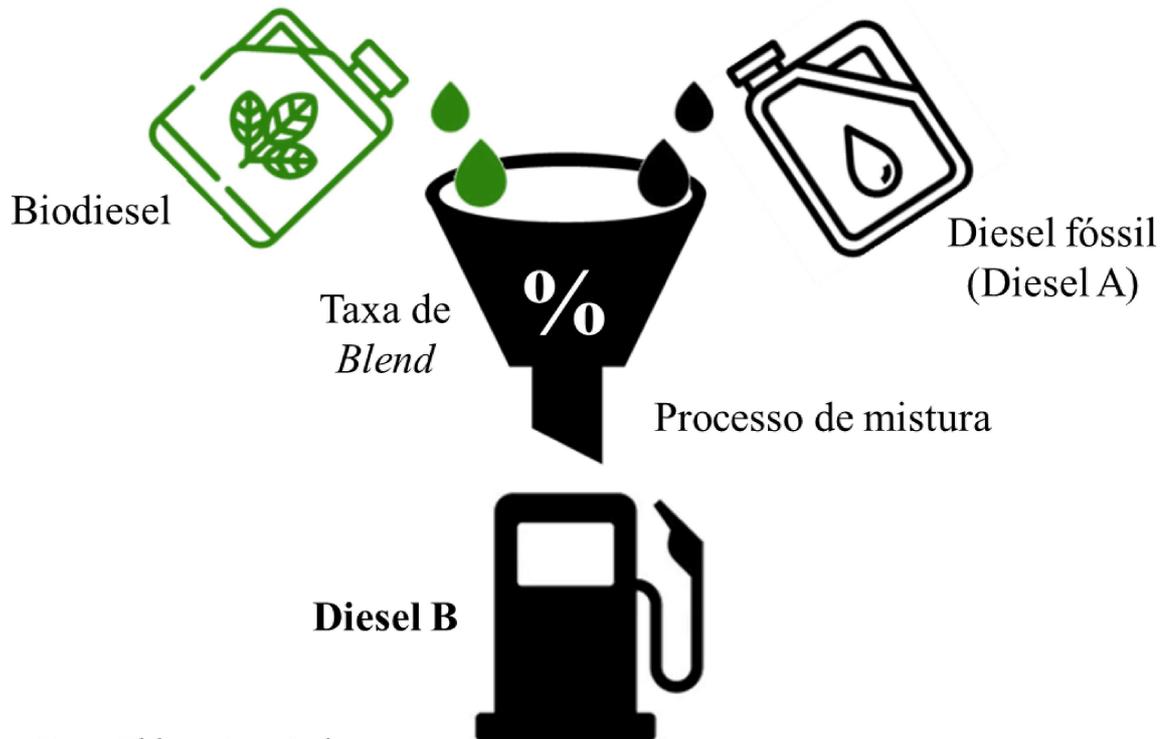
---

<sup>5</sup> Combustível que pode ser utilizado diretamente em motores de combustão interna ou sistemas de energia existentes sem a necessidade de modificações significativas, facilitando a transição de combustíveis fósseis convencionais para opções mais sustentáveis.

dos veículos leves no país (EPE, 2023a). Em 2004, como forma de descarbonizar o setor de veículos pesados e continuar os estudos de viabilidade realizados pelo PROBIODIESEL, foi lançado o PNPB, estabelecendo como meta a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira de forma sustentável e com características sociais. O programa introduziu, em 2008, o Selo Combustível Social (SCS), posteriormente renomeado para Selo Biocombustível Social (SBS), e percentuais mínimos obrigatórios de mistura, denominado como *blend*, do biodiesel com o diesel fóssil. Para adquirir o SBS, o produtor tem que comprar sua matéria-prima de agricultores familiares, ganhando assim o recolhimento diferenciado das contribuições fiscais, condições de financiamentos públicos melhores do que as praticadas no mercado e o direito de participar dos leilões de venda da produção de biodiesel regulados pela Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), comercializando-os de forma antecipada. A taxa de mistura (AGUIAR et al., 2023).

A taxa de *blend*, ou mistura em português, é a forma que o biodiesel é comercializado no Brasil desde o PNPB. O programa estabelece a comercialização do biocombustível somente misturado com óleo diesel para o consumidor final em um determinado percentual. Tal mistura tem como resultado o diesel B, tendo o percentual de biodiesel variando ao longo do tempo através das discussões realizado no âmbito político, como demonstrado na Figura 1 (BRASIL, 2021a; MILANEZ et al., 2022).

**Figura 1 – Fluxo de produção do Diesel B**



Fonte: Elaboração própria

Assim, a introdução do biodiesel na matriz energético nacional ocorre pelo seu uso no atendimento aa taxas de mistura obrigatórias estabelecidas e o uso experimental. A comercialização do biodiesel, estabelecido pelo PBPn, foi através de leilões entre 2007 até o fim de 2021, visando atender as taxas de mistura obrigatórias do biocombustível com o diesel fóssil com a compra antecipada do biocombustível via produção interna (BRASIL, 2021a; MILANEZ et al., 2022).

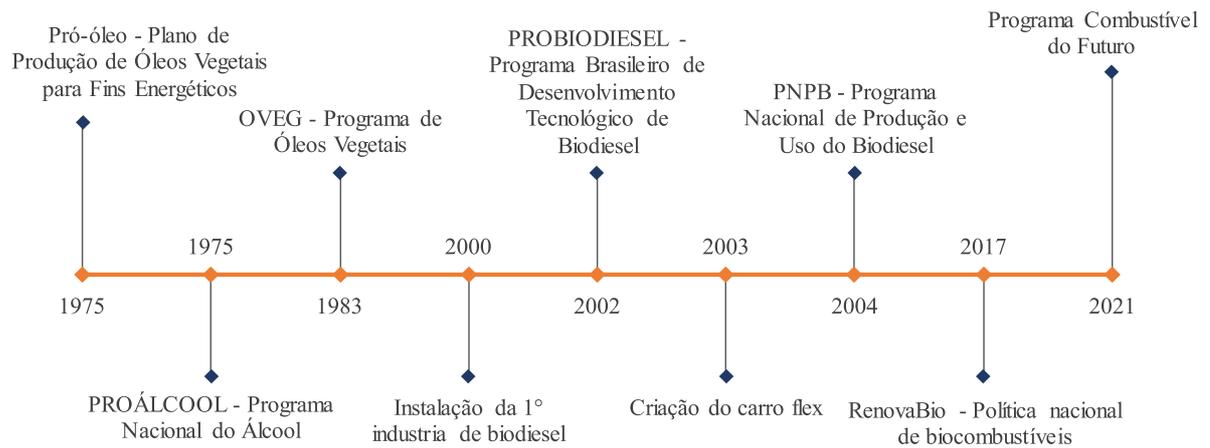
Externamente, em 2015, ocorre o Acordo de Paris, momento em que vários países alinham metas para redução de suas emissões de GEE e o Brasil foi um dos signatários. Para o país, suas metas foram a de reduções em 48,4% até 2025 e 53,1% até 2030 dos GEE gerados, tendo como meta a neutralidade de carbono de toda economia até 2050, com relação aos valores emitidos de 2005 (NU, 2015).

Com a maturação do mercado nacional de biodiesel e o aumento das preocupações internacionais quanto as emissões, em 2017, é instituído a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio) com objetivo de alinhar a produção dos biocombustíveis as metas de reduções das emissões de GEE estabelecidas internacionalmente. A lei estabelece metas individuais para o

setor de combustíveis fósseis, de acordo com a participação de cada empresa no mercado, e cria o Crédito de Descarboxinação (CBIO) como um mecanismo para alcançar esses objetivos anualmente. Os CBIOs são ativos financeiros emitidos por produtores e importadores de biocombustíveis e adquiridos por distribuidores de combustíveis fósseis. Esse sistema funciona como um contrapeso às oscilações no preço do petróleo, contribuindo para a competitividade dos biocombustíveis em relação aos combustíveis fósseis. O principal fundamento da RenovaBio é reconhecer nos biocombustíveis a capacidade de contribuição dos mesmos como meio para a descarbonização, viabilizando a retomada dos investimentos privados no setor (VIDAL, 2019).

Como o país já apresentava políticas de redução dos impactos ambientais, mas as pressões externas exigiam maior redução das emissões, o custo marginal para tal queda apresentava valores maiores na medida que se tornava maior a exigência de descarbonização. Como forma de atingir tais metas de redução, todas as políticas realizadas para redução das emissões no setor de transporte foram analisadas, formulando-se o PCF (BRASIL, 2021b). O PCF, antigo PL n.4196/2023 e lei Nº 14.993, tem como objetivo geral a promoção da mobilidade sustentável de baixo carbono no país. É instituído a criação do Programa Nacional de Combustível Sustentável de Aviação (ProBioQAV), o Programa Nacional de Diesel Verde (PNDV) e o Programa Nacional de Descarboxinação do Produtor e Importador de Gás Natural e de Incentivo ao Biometano, tendo como foco dos três programas a introdução dos biocombustíveis avançados na matriz energética nacional. A regulamentação e a fiscalização das atividades de captura e de estocagem geológica de dióxido de carbono e de produção e comercialização dos combustíveis sintéticos; a integração de políticas com objetivo de gerar ganhos de eficiência energética para os combustíveis (RenovaBio, Programa Mobilidade Verde e Inovação (Programa Mover), Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular (PBEV) e Programa de Controle de Emissões Veiculares (Proconve)); e, utilizando do *know-how* vigente, o aumento das taxas de mistura do etanol na gasolina C e do biodiesel no diesel B (BRASIL, 2024). A Figura 1 ilustra uma linha do tempo dos principais marcos do setor de biocombustível brasileiro.

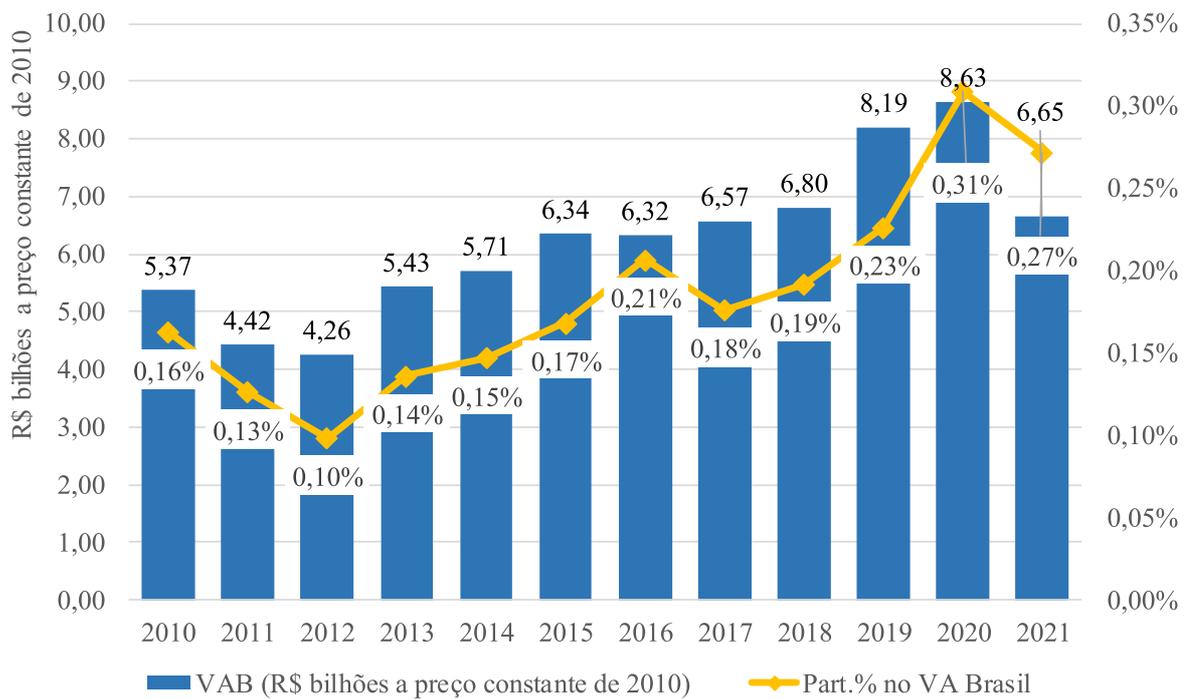
## **Figura 2 – Histórico dos principais marcos do setor de biocombustíveis**



Fonte: Elaboração própria

Ao analisar os dados do Sistema de Conta Nacionais (SCN) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o setor de biocombustíveis contribuiu com 0,27% do total do valor adicionado bruto (VAB) da economia brasileira em 2021, a preços constantes de 2010, tendo aumentado sua participação ao longo dos anos de 2012 a 2020. Conforme mostra a Figura 2, a participação entre 2010 a 2012 teve uma redução de 21% do VAB, apresentando crescimento de 49% entre 2012 a 2015. De 2015 para 2016 há uma queda de 0,37% (redução de R\$23 milhões), devido aumento do preço internacional do açúcar, gerando consequente aumento no preço do etanol, impactando em uma diminuição do seu consumo. Entre 2016 e 2020, a fabricação de biocombustíveis foi de R\$6,32 bilhões para R\$8,63 bilhões a preços constantes de 2010, um crescimento de 37%, atingindo seu máximo histórico. De 2020 a 2021, devido à pandemia do COVID-19 e a restrição de circulação de bens e mercadorias, houve uma retração de 23% do setor, caindo o VAB em R\$1,99 bilhões, porém, a participação do setor na economia brasileira ainda apresentou seu segundo melhor valor, com 0,27% de participação. As remunerações do setor totalizaram R\$2,6 bilhões a preços constantes de 2010 (representando 39% de todo o VAB dos biocombustíveis), empregando 108.126 pessoas (IBGE, 2024b).

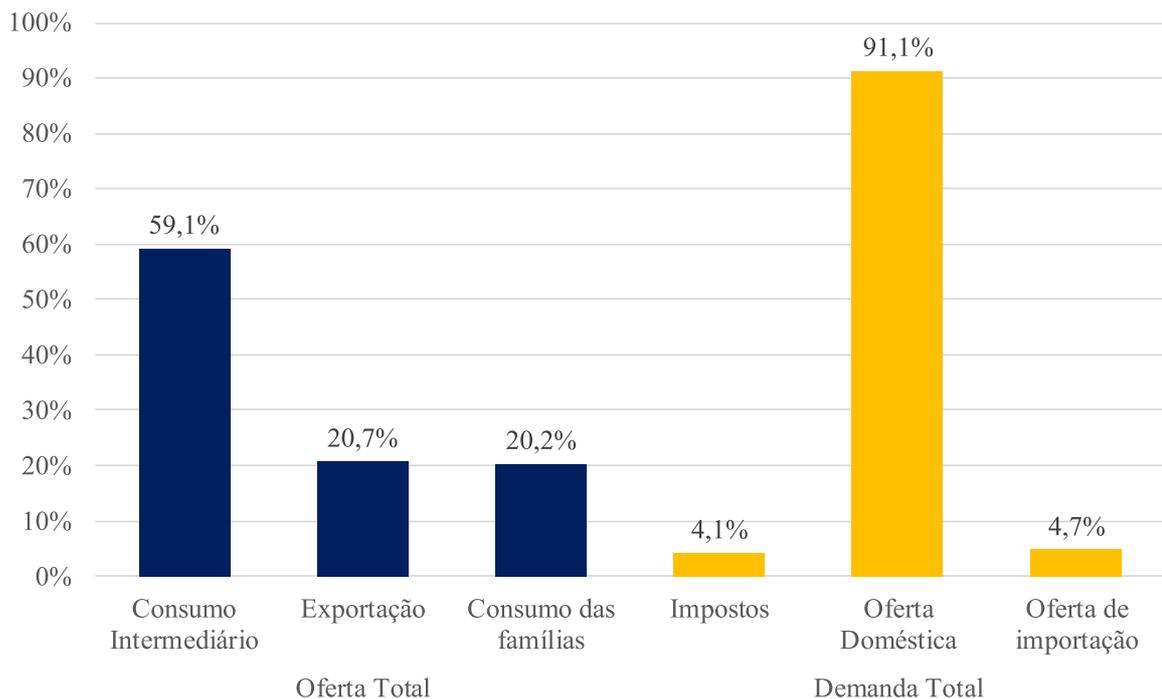
**Figura 3 - O setor de biocombustíveis na economia brasileira de 2010 a 2021 (Bilhões de R\$ de 2010)**



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do SCN do IBGE (2024)

No ano de 2021, a oferta do setor destinou próximo de 60% da sua produção para as demais atividades setoriais no país (consumo intermediário), seguido por 20% na participação das exportações e das famílias. A demanda foi abastecida pela produção interna, representado 91,1% de todo biocombustível utilizado, como é possível observar na Figura 3 (IBGE, 2024b). Apresentando grande enfoque no abastecimento interno, o mercado de biocombustíveis possui forte relação com as políticas realizadas para o setor, principalmente com os incentivos fiscais, subsídios e mandatos de mistura (MILANEZ et al., 2022).

**Figura 4 - Composição (%) da oferta e demanda total do setor de biocombustíveis no Brasil (2021)**



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do SCN do IBGE (2024)

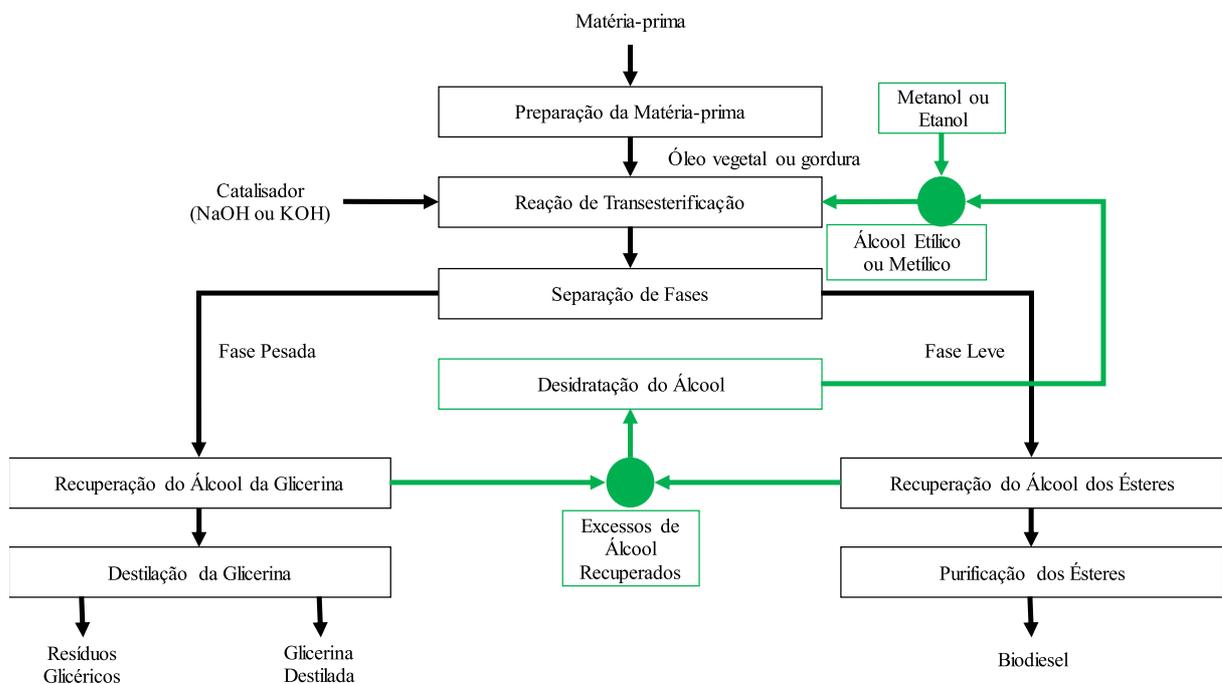
O biodiesel, representando 18,4% do volume produzido de tal mercado, tem seu crescimento estimulado a partir de programas governamentais, principalmente pelo aumento das taxas de misturas obrigatórias (MILANEZ et al., 2022).

### 2.3 O Biodiesel no Brasil

A primeira definição do biodiesel no Brasil foi estabelecida pela Lei do Petróleo (Lei 11.097/2005) como “combustível para uso em motores a combustão interna com ignição a compressão, renovável e biodegradável, derivado de óleos vegetais ou de gorduras animais, que possa substituir parcial ou totalmente o óleo diesel de origem fóssil” (BRASIL, 2005). Com o aumento da comercialização do biocombustível, gerando um maior amadurecimento das tecnologias de produção, foi necessárias alterações na regulação para incorporar novas rotas de produção e utilização de insumos alternativos. A resolução ANP N° 920, de 4 de abril de 2023, define o biodiesel como sendo um “combustível composto de alquil ésteres de ácidos carboxílicos de cadeia longa, produzido a partir da transesterificação ou esterificação de matérias graxas, de origem vegetal ou animal, e que atenda às especificações presentes na resolução”. Tal alteração inseriu o uso de outros combustíveis renováveis advindos de biomassa, estabelecendo as características a serem atendidas para sua comercialização e especificando o processo químico pela qual os insumos são processados (ANP, 2023; EPE, 2023a).

O processo de produção mais praticado para o biodiesel é o de transesterificação, quando um catalisador (hidróxido de sódio - NaOH – ou hidróxido de potássio - KOH), o álcool metanol (etanol) e matérias-primas (óleo vegetal ou gordura vegetal) são processados, obtendo a glicerina, utilizada pela indústria cosmética e alimentícia, e o éster. O processo nada mais é do que a substituição da glicerina do óleo vegetal pelo metanol ou etanol, pelo álcool. Após passar por alguns processos de purificação, o éster está apto para ser comercializado como biodiesel, como representando na Figura 4. Tal método possui grande eficiência no uso da matéria-prima, obtendo um rendimento próximo dos 100% (HOLANDA, 2004; QUESSADA et al., 2010; PINTO, 2014; DUARTE et al., 2022; MILANEZ et al., 2022).

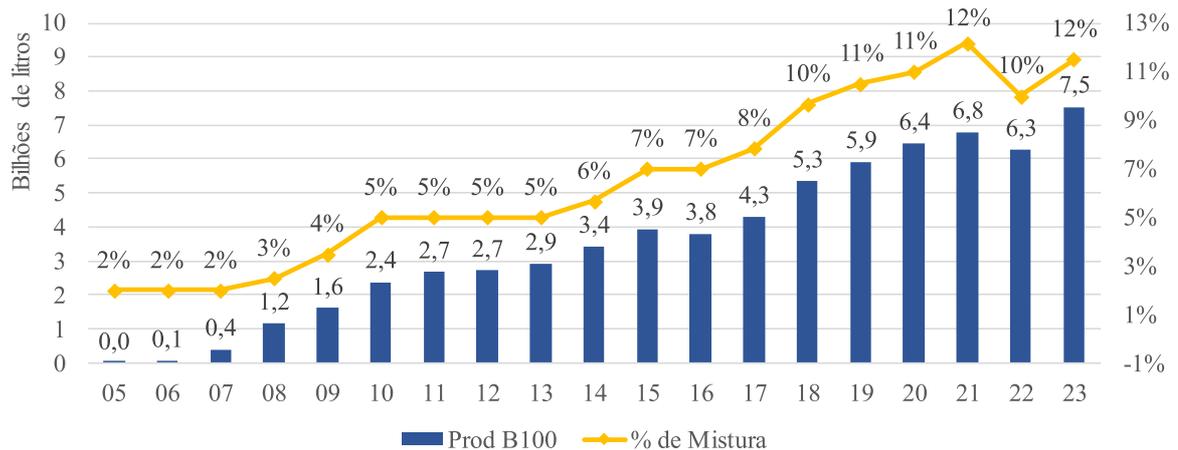
**Figura 5 - Processo simplificado da transesterificação para produção do biodiesel**



Fonte: Elaboração Própria a partir de Holanda (2004)

No mercado brasileiro, de acordo com os dados da ANP (2024), a produção de biodiesel atingiu seu máximo histórico em 2023, produzindo 7,5 bilhões de litros, 11% acima do recorde anterior em 2021, dois momentos que apresentaram a maior taxa histórica de *blend*. O volume mais que duplicou na última década, produzindo em 2023 7,5 bilhões de litros, quando comparado com 2,9 bilhões de litros de 2013. Como o consumo da maior parte da produção nacional é destinada ao mercado interno, como apresentado na Figura 3, os aumentos sucessivos das taxas de misturas incentivam o aumento da produção, como demonstra a Figura 5.

**Figura 6 - Produção nacional de biodiesel e taxa de mistura obrigatória no Brasil de 2005 a 2023 (em bilhões de litros)**



Fonte: ANP 2024

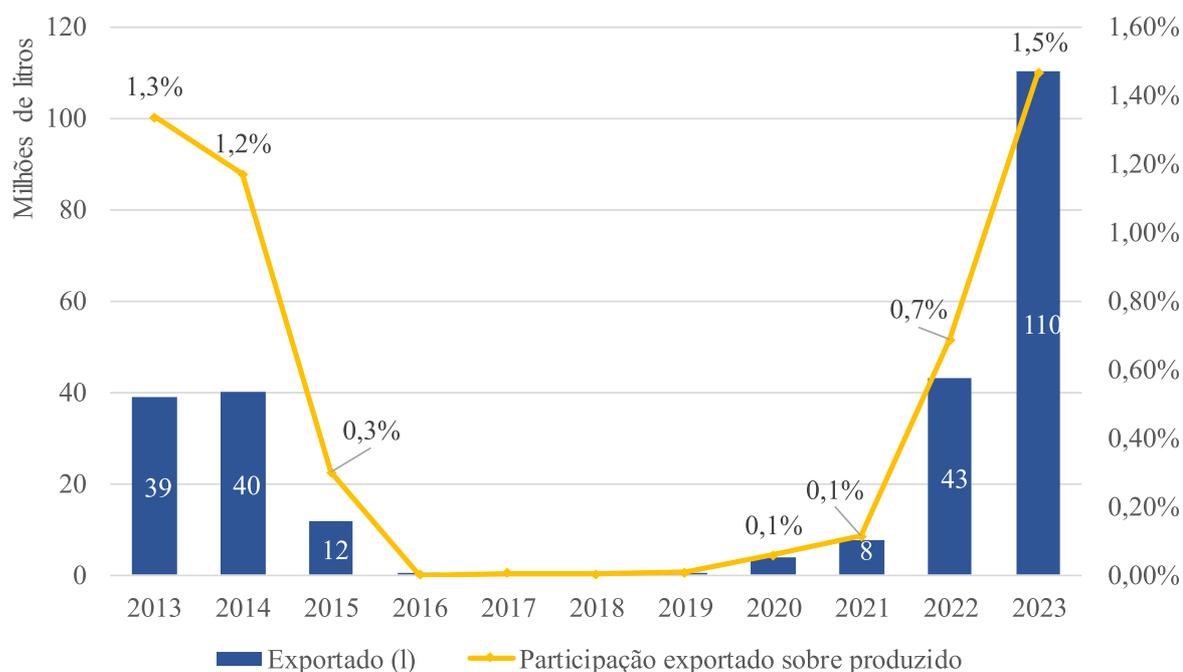
A taxa de mistura obrigatória aumentou, partindo de 5% em 2013 para um patamar de 12% em 2023, com planejamentos de aumentos a patamares de 20% até 2030 e podendo chegar a 25% a partir de 2031, dependendo do Conselho Nacional de Políticas Energéticas (CNPE) (CARREGOSA; CLAVERY, 2024). Em 2015, como forma de aproveitar e estimular as condições que podem tornar o biodiesel mais competitivo com relação ao diesel fóssil, o CNPE definiu autorizar a comercialização e uso do biodiesel em quantidades acima ao percentual obrigatório, aumentando flutuações da produção acima do esperado (EPE, 2023a). Uma redução no percentual da mistura ocorreu em 2022 devido ao aumento nos preços da matéria-prima principal, a soja. Com a pandemia mundial da Covid-19 e a guerra na Ucrânia, o mercado de grãos apresentou grande aumento de preços, fazendo com que a ANP e o Conselho Nacional de Políticas Energéticas (CNPE) alterassem a mistura com foco em manter preço, oferta e qualidades competitivas do diesel B (MILANEZ et al., 2022).

A partir de 2022, a comercialização do biodiesel, que ocorria através de leilões, foi alterada pela forma direta entre produtor e distribuidores, compreendendo que o mercado já possuía maturidade para atingir os volumes solicitados para atender as metas de mistura praticados (EPE, 2023a). Tais leilões, atrelados a crescente taxa de mistura e outras medidas, deram suporte ao crescimento do setor produtivo de biodiesel, conseguiram atingir elevada consolidação, não sendo mais necessária intermediação da ANP (MILANEZ et al., 2022).

Segundo os dados do Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços (MDIC, 2024), em 2022, com a liberação da comercialização direta, o mercado externo começou a ser explorado pelos produtores, atingindo o volume máximo exportado em 2023, com 110 milhões de litros, porém, tal valor significou somente 1,5% do total produzido no ano, como demonstra

a Figura 6. A importação não apresenta valores expressivos, tendo seu volume máximo realizado em 2023 igual a 67 m<sup>3</sup>, representando 0,001% do total produzido, não sendo uma parcela significativa no mercado nacional de biodiesel.

**Figura 7 – Evolução da exportação de biodiesel de 2013 a 2023 (em milhões de litros)**



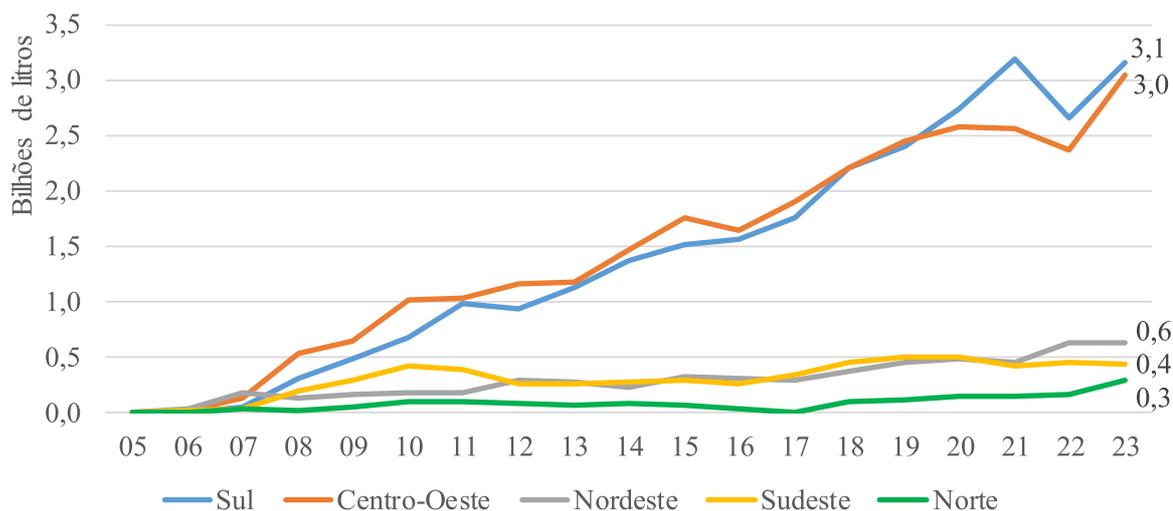
Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do MDIC (2024) e ANP (2024)

A produção nacional é distribuída entre 102 unidades de fabricação, tendo somente 46 unidades em funcionamento em 2021, sendo que 47% delas estão na região Centro-Oeste, principalmente no estado de Mato Grosso, com 33 empresas. A produção se concentra nos estados do Rio Grande do Sul (representando 28% de toda a produção nacional), seguido de Mato Grosso (20%) e Paraná (18%). Somente a empresa BE8 representou 13% de toda a produção nacional, tendo unidades nos municípios de Marialva (RS) e Passo Fundo (PR). A produção das empresas Potencial, Olfar, Oleoplan, Granol, Caramuru e ADM, somadas com a BE8, representam 60% de toda produção nacional, possuindo concentração em poucos agentes produtores. Ao observar os anos de 2013 a 2021, período da expansão da taxa de mistura, as unidades produtoras aumentaram a produção em 10,9% ao ano, tendo empresas, como a Cofco de Rondonópolis (MT), que aumentou muito acima da média nacional, crescendo a produção de biodiesel em 49,9% ao ano.

A distribuição da produção se concentra no Sul e Centro-Oeste, representando 42% e 40% respectivamente, mesmo como maior consumo a região Sudeste. A abundância de

disponibilidade das matérias-primas mais utilizadas (soja e sebo bovino) no biodiesel nas regiões produtoras corroboram para tal concentração, como ilustrado na Figura 7. (EPE, 2023a)

**Figura 8 - Evolução da produção regional de biodiesel por Grandes Regiões de 2005 a 2023 (em bilhões de litros)**

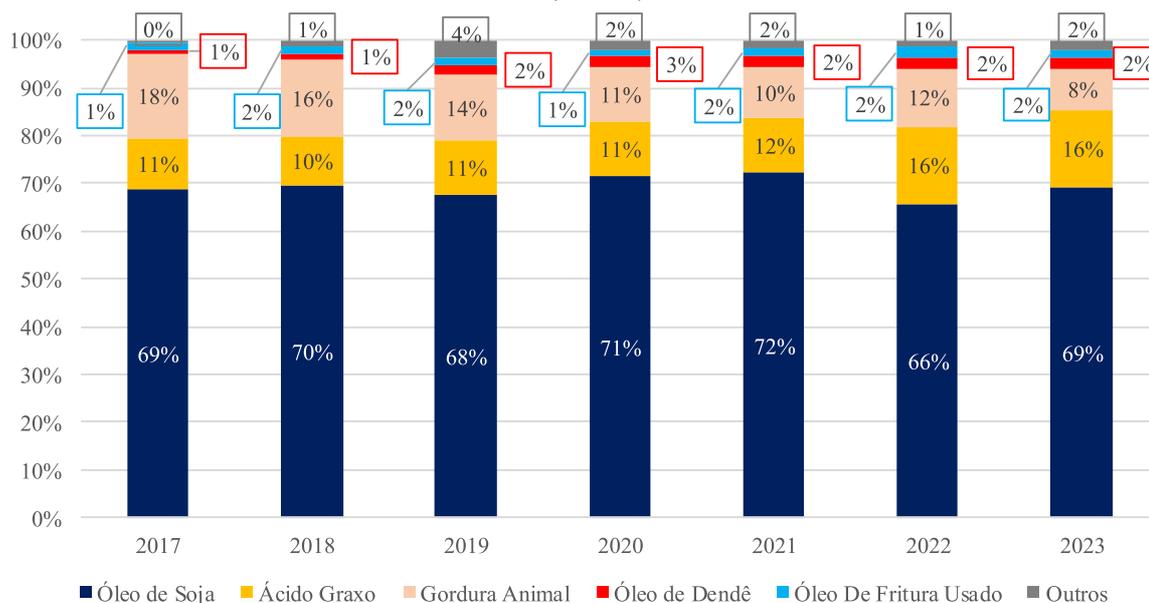


Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da ANP (2024)

Foi estabelecido, pela resolução CNPE 03/2023, a obrigatoriedade da aquisição de matéria-prima advindas das regiões Norte, Nordeste e Semiárido almejando atingir a representação de 10% em 2024, 15% em 2025 e 20% em 2026 do total consumido, para obtenção do Selo Biocombustível Social. Com a resolução, espera-se obter um panorama mais diversificado das regiões produtoras nos próximos anos (EPE, 2023a). Em 2023, 69% da matéria-prima usada adveio do óleo de soja (extraído da *Glycine Max*). Ácidos graxos (representando 16% de toda matéria-prima utilizada), gordura animal (8%) e óleo de dendê (2%) também apresentaram participações significativas.

Entre 2017 e 2023, como apresentado na Figura 8, o óleo de soja apresentou taxa de crescimento de 11% ao ano, o óleo de algodão apresentou crescimento de 44% ao ano, seguido do óleo de milho (crescimento de 34% ao ano) e do óleo de dendê (33%) porém, a participação desses produtos no *mix* de insumo é menor que 5% do total.

**Figura 9 – Participação das matérias-primas na produção de Biodiesel de 2017 a 2023 (em %)**

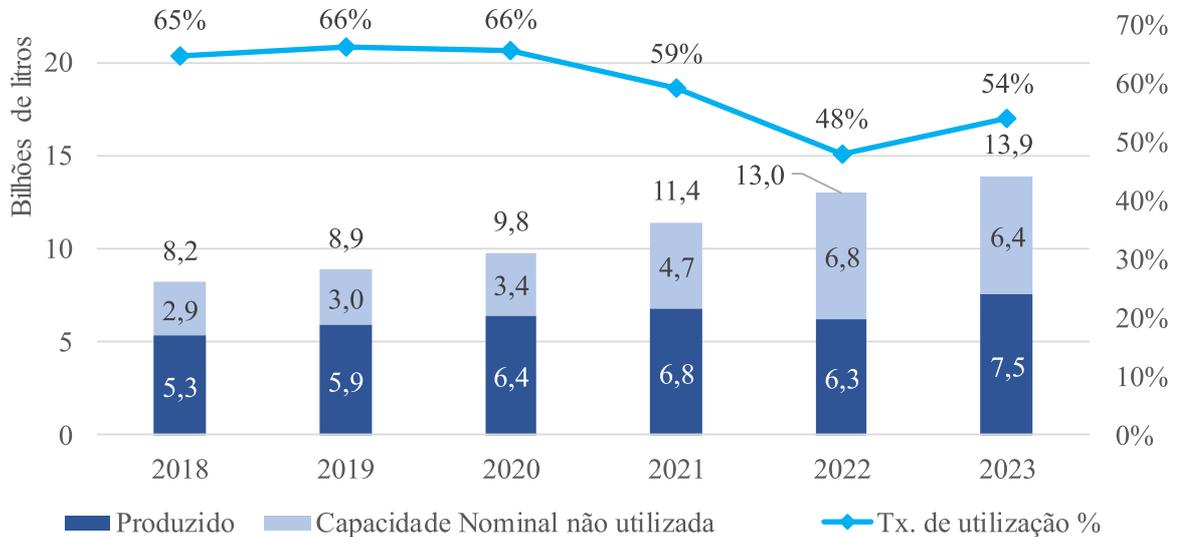


Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da ANP (2024)

Com o aumento da demanda esperado pelos mandatos, a soja deve perdurar como principal insumo para produção de biodiesel, mantendo participação próxima de 70%. Como ocorreu com o óleo de dendê, novas matérias-primas devem surgir, projetando-se um *mix* de insumos mais diversificado, como o aumento do óleo de milho e os óleos residuais porém, ainda com participação minoritária quando comparado ao óleo de soja (EPE, 2023a).

A capacidade produtiva instalada, em 2023, de todo o país é de 13,9 bilhões de litros, sendo utilizado somente 54%, tendo a capacidade instalada de produzir mais 6,4 bilhões de litros de biodiesel, demonstrando importante potencial para crescimento do combustível. Entre os anos de 2018 a 2023, a capacidade produtiva nacional aumentou próximo de 70% e sua produção aumento 41%, demonstrando expansão de todo o setor produtivo, como retratado na Figura 9. A capacidade ociosa do setor tem aumentado por conta de uma série de fatores, como a previsibilidade da produção devido a comercialização via leilões e aos mandatos crescentes de mistura com o biodiesel fóssil, garantindo certa segurança nos investimentos de expansão da capacidade produtiva (MILANEZ et al., 2022).

**Figura 10 - Evolução da capacidade instalada e utilizada de 2018 a 2023 (em bilhões de litros)**



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da ANP (2024)

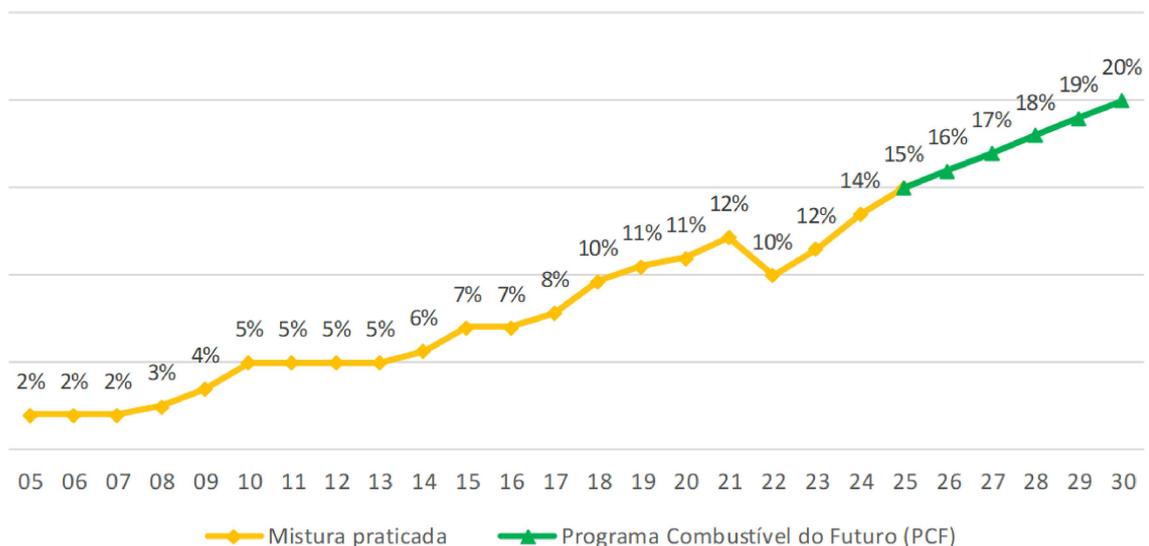
Deste modo, o mercado de biodiesel brasileiro apresenta crescimento a taxas crescentes em conjunto com os aumentos das misturas obrigatórias exigidas no setor. As regiões de Sul e Centro-Oeste representam 82% de toda a produção nacional, com especial participação dos estados de Rio Grande do Sul (28% da produção nacional) e Mato Grosso (20%). Novas matérias-primas, como óleo de dendê e ácidos graxos, estão sendo utilizadas como forma de atender um *mix* de insumos mais diversificado, alavancado pela resolução CNPE 03/2023, porém a soja deve perdurar como principal matéria-prima do setor, sendo utilizada em 70% de todo biodiesel produzido no país. Com a expansão da taxa de mistura, novas instalações foram construídas com foco em atender esta futura demanda, apresentando, em 2023, uma capacidade instalada não utilizada próxima de 50%, demonstrando capacidade de expansão da produção.

Por mais que exista a perspectiva de crescimento do setor, diversos desafios estão presentes no objetivo de alcançar a neutralidade de carbono do transporte mediante uso do biodiesel convencional. A concentração do uso do óleo de soja como matéria-prima e as propriedades físicas do biodiesel impossibilitam a aplicação generalizada e em maior escala do biodiesel. Como forma de estimular uma diversificação na produção do biodiesel, o PNPB foi instituído, utilizando da agricultura familiar como alicerce para criação de um *mix* de insumos plural e independente. A descentralização geraria uma redução nos custos de transporte e evitaria o chamado “passeio logístico” do biodiesel, cenário onde se anda mais para gastar menos. Com a concentração do uso da soja nas regiões Centro-Oeste e Sul, o setor se tornou dependente

desta matéria-prima e, sendo este produto uma das principais pautas de exportação nacional, a concorrência com o preço internacional gera riscos ao setor, já causando falta de abastecimento e, conseqüente, pressão nos preços do biodiesel. Regiões como o Nordeste não conseguiram produzir volume de mamona para atender as crescentes taxas de mistura por conta da baixa produtividade das sementes não melhoradas, preços não competitivos frente a soja e baixa capacidade de organização dos produtores, sem cooperativas ou unidades responsáveis pela extração do óleo (GONCALVES et al., 2008).

Outro desafio do biodiesel é sua dificuldade relacionadas as misturas com o diesel fóssil. Como visto pelas políticas PNPB, RenovaBio e PCF, o mandato de adição tem crescido substancialmente ao longo dos anos, tendo o PCF estabelecido a mistura de 20% até 2030, como demonstrado na Figura 10, podendo aumentar para 25% após 2031, caso seja viável (BRASIL, 2023). Misturas acima de 10% são realizadas somente com adição de antioxidantes, como consta na Resolução ANP 798/2019, já demonstrando as características químicas conflitantes entre o biodiesel em altas taxas e os motores de combustão interna (MME) (BRASIL, 2019). O PCF, mesmo apresentando certa discordância entre os consumidores do diesel B com as taxas já praticadas, estabelece taxas maiores de misturas a partir de 2026 até 2030.

**Figura 11 - Evolução da taxa de blend de biodiesel no diesel B (taxa de mistura %)**



Fonte: Elaboração própria baseado em ANP(2024); PL 4.196/2023 e Resolução nº8, de 19/12/2023

Desta forma, como maneira de aumentar a participação de combustíveis sustentáveis e de baixa intensidade de carbono, o PCF foi instituído em 2021. Focado em atender as metas

internacionais de redução dos GEE e a descarbonização da matriz energética nacional, o programa estabelece a introdução de novos biocombustíveis, como o combustível sustentável de aviação (*Sustainable Aviation Fuel* - SAF), o hidrogênio de biomassa e o HVO (*Hydrotreated Vegetable Oil*, ou óleo vegetal hidrotreatado), além de diversificar os biocombustíveis disponíveis, as taxas de mistura na gasolina C, gasolina com etanol, e no diesel B, diesel fóssil com biodiesel, foram projetadas com expansão até 2030 (EPE, 2023a).

Em 2022, dois projetos para produção de SAF e HVO em território brasileiro foram anunciados, tendo ambas as produções consorciadas na unidade produtora. Por apresentar um processo de produção similar a produção do diesel, espera-se que a implementação ocorra pela conversão de refinarias de petróleo convencionais em biorrefinarias para o processamento do óleo vegetal, iniciando-se um processo de migração das refinarias fósseis para o biorrefino. Dentre os desafios para implementação dessas tecnologias em território nacional, a disponibilidade do gás natural, principal matéria-prima para produção de SAF e HVO, limita a viabilidade da comercialização e implementação de tais produções. (EPE, 2023a, 2024a; MACHADO, 2024).

Com objeto de suprir a demanda interna de gás natural, o PCF estabelece a criação do Programa Nacional de Descarbonização do Produtor e Importador de Gás Natural e de Incentivo ao Biometano. Focado na pesquisa, produção, comercialização e uso do biometano e do biogás, a iniciativa preza pela descarbonização do setor produtor de gás natural no país, definindo metas anuais de redução das emissões de GEE a partir da compensação pelo consumo de biometano (BRASIL, 2020). O mercado de biometano de 2023, representado por 10 produtores em todo território nacional, está em estágios iniciais de produção, necessitando de tempo para consolidação de sua cadeia produtiva e sua distribuição, não apresentando capacidade de suprir as novas demandas do SAF e do HVO (EPE, 2023b).

Desta forma, para o curto e médio prazo, é esperado que a política de inserção do diesel verde na matriz energética ocorra de forma mais gradual que o planejado pelo programa, dada a ausência de matéria-prima no país (CHIAPPINI, 2025). O aumento de *blend* do biodiesel com o diesel fóssil é factível, tendo a disponibilidade de capacidade produtiva e *know-how* do país na produção e manuseio de biodiesel (IBP, 2024). O PCF, utilizando da expertise disponível na produção de diesel B, estabelece como meta a melhoria de ganhos em eficiência energética para os combustíveis, de modo geral. Historicamente, o país vem estimulando a melhoria pelo

Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular (PBEV) e Programa de Controle de Emissões Veiculares (Proconve).

O PBEV, iniciado em 2005, é aplicado aos veículos leves que utilizam, dentre outros, o diesel fóssil e o diesel B, classificando-os com relação ao desempenho na queima do combustível entre “A” a “E”. Tal programa não possui metas de redução de emissões, tendo como objetivo avaliar os produtos e classificá-los, gerando informação ao consumidor final (ROMIO, 2021).

O Proconve, datado desde 1986, mas com início de vigência em 1996, tem como foco a redução das emissões veiculares, o avanço tecnológico e conscientização da população sobre as contaminações da atmosfera. O programa, desde sua 8ª atualização, tem incorporado como referência de combustíveis para as emissões dos veículos pesados o diesel B, ponderando a adição de biodiesel. Com os avanços propostos pelo Proconve, os veículos produzidos no país tem como objetivo aumentar a vida útil do diesel B, aumentando a porcentagem de *blend* e tornar mais segura a implementação da mistura BX no país, possibilitando os percentuais acima de 20% (KULITCH et al., 2024). A implementação do Proconve tem contribuído para a melhoria da eficiência energética do diesel B, em virtude de avanços relacionados à combustão e ao aproveitamento do conteúdo energético disponível. Entretanto, o incentivo a aprimoramentos na composição do próprio combustível não foi contemplado diretamente, sendo incumbência do PCF fomentar essas melhorias de maneira integrada com o Proconve e o Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular (PBEV).

A eficiência, de modo geral, é compreendida como o “produzir mais com menos” porém, neste ambiente de biocombustíveis, considerando os impactos ambientais, a eficiência ponderada na discussão é a ecoeficiência, abrangendo uma eficiência com desenvolvimento sustentável e social (SCHAFFEL, 2010).

Considerando que nos próximos anos as políticas sobre as emissões de GEE e suas mitigações devem aumentar devido as políticas do RenovaBio, PNPB e PCF, existe um gap na literatura atual sobre o potencial produtivo brasileiro sobre aspectos técnicos, ambientais e econômicos acerca do biodiesel e o aumento de sua participação do diesel B, melhora retratando suas consequências (JULIO et al., 2022).

## 2.4 Experiências internacionais do Biodiesel

Internacionalmente, os biocombustíveis possuem mecanismos de flexibilidade, como mercados spot, de certificados, mercados futuros e opções para se tornarem competitivos e utilizados pela população, como demonstrado no Quadro 1 (COSTA et al., 2017).

**Quadro 1 - Regras de comercialização de biocombustíveis no mundo em 2017**

	Brasil	EUA	União Européia	Outros
Mandatos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Teor de anidro (18 - 27,5%)</li> <li>• Mistura biodiesel (10%)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• RFS - Renewable Fuel Standard (volumes anuais)</li> <li>• Teor de anidro (10% obrigatória, 15% e 85% facultativas)</li> <li>• Biodiesel em diversos percentuais (20%, mais comum)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mistura de biocombustíveis e participação de renováveis no consumo final em diversos países</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 5% etanol: Argentina, Canadá, Etiópia e Sudão</li> <li>• 8% etanol: Colômbia</li> <li>• 10% etanol: Angola, Equador, Jamaica, China, Índia, Quênia, Malawi, Filipinas</li> <li>• 2% e 5% biodiesel: Peru, Chile, Equador, Uruguai, Malásia, Filipinas, Coreia do Sul, África do Sul e Austrália</li> <li>• 10% biodiesel: Argentina e Indonésia</li> </ul>
Instrumentos de comercialização	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contratação bilateral de etanol carburante</li> <li>• Leilões de biodiesel</li> <li>• Leilão de energia (ACR)</li> <li>• Contratação bilateral de energia (ACL)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• RIN - Renewable Identification Number (Contratação bilateral)</li> <li>• Padrão de Combustível de Baixo Carbono - LCFS</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistema de mercado de emissões (EU ETS)</li> <li>• Comércio bilaterais</li> <li>• Programa "Tudo menos armas" entre Europa e África (aplicável aos biocombustíveis)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Iniciativa Caribenha CBI</li> </ul>
Mercado spot, futuro ou opções	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Futuros, opções e operações estruturadas na BM&amp;F BOVESPA: etanol hidratado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bolsa mercantil de Chicago (CBOT): etanol</li> <li>• Bolsa mercantil de Nova Iorque (NYMEX): etanol</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bolsa internacional ICE: etanol (futuro)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bolsa de Cingapura: etanol</li> </ul>
Mercados de certificados	Não aplicável	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mercado RINS</li> <li>• Mercado de carbono</li> </ul>	Não aplicável	Não aplicável

ACR: Ambiente de Contratação Regulada; ACL: Ambiente de Contratação Livre  
 Fonte: Elaboração Própria baseado em Costa et al., (2017)

No Brasil, a comercialização do biodiesel ocorre via mandatos obrigatório de mistura do biocombustível com seu par fóssil, gerando o diesel B. Tal política é implementada em vários outros países, fixando o nível de mistura de forma geral ou liberando um determinado intervalo para misturas, gerando diversos tipos de diesel B no mercado. Nos EUA, o mais comum praticado é o *blend* de 20%, um dos mais altos do mundo, mas tal taxa pode variar de acordo com cada estado (COSTA et al., 2017).

Como instrumentos de comercialização, somente o Brasil utilizou de leilões para manter a taxa de *blend* cumprida. Em outros países, a comercialização ocorre por meio de sistemas de emissão, contabilizando o impacto ambiental das empresas e estabelecendo metas de redução, utilizando o biodiesel como uma ferramenta para atingir redução nos GEE (COSTA et al., 2017).

O mercado futuro de biocombustíveis se concentra no etanol, uma vez que seu uso é mais disseminado entre todos os países no globo que o do biodiesel. Certificados são emitidos

somente pelos EUA e pelo Brasil que, em 2023, criou o Selo Biocombustível Social (SBS), mais atrelado a diversificação dos insumos para os produtores de biodiesel do que para aqueles que utilizam biodiesel em sua linha de produção, que é o caso para o certificado norte-americano (COSTA et al., 2017; MILANEZ et al., 2022).

A produção mundial de biodiesel é liderada pela Indonésia, seguida pelos EUA, Brasil e outros países da União Europeia, principalmente a Alemanha e a França, como apresentado na Tabela 1. A produção mundial atingiu 846,7 milhares de barris de petróleo equivalente por dia (mil BEP/dia), um crescimento médio de 7,53% por ano. A participação do biodiesel no mercado global foi de 33%, em 2012, para 44%, em 2022 (EI, 2024).

**Tabela 1 – Produção mundial de biodiesel de 2012 a 2022 (milhares de BEP/dia)**

Região	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Part.% 2022
EUA	58,0	82,2	80,2	80,3	100,8	103,5	120,8	123,8	130,9	143,7	174,0	21%
Brasil	40,2	43,3	50,8	58,5	56,3	63,7	79,4	87,9	95,2	100,4	92,9	11%
Europa	169,3	179,9	203,8	201,7	197,1	227,2	244,2	256,1	247,6	244,1	239,8	28%
Ásia-Pacífico	91,2	111,4	136,3	102,4	127,8	112,0	174,4	231,4	235,6	256,9	287,7	34%
Outros	50,8	45,9	58,2	46,1	60,9	62,8	56,8	52,5	36,6	49,4	52,2	6%
Total	409,6	462,7	529,3	489,0	542,8	569,2	675,6	751,7	745,8	794,4	846,7	100%

Fonte: Statistical Review of World Energy 2023

Permanecendo como principal produtor de biodiesel desde 2019, a Indonésia obteve produção estimada em 11 bilhões de litros em 2022, um volume 46% maior que a produção brasileira. O mercado interno do país é impulsionado pelo aumento dos mandatos de mistura, passando de 30% para 35% em fevereiro de 2023, com planos de alcançar 40% no mesmo ano. Dentre as possibilidades para alcançar o *mix* de 40% dois cenários foram testados: o uso de 40% sendo (1) totalmente biodiesel convencional ou (2) 30% sendo biodiesel e 10% o diesel verde. O uso do HVO apresentou maior potência no veículo, menos emissões de GEE e melhor desempenho quando comparado ao cenário 1. A mistura de 40% foi adiada para 2025 devido aos altos preços da matéria-prima do diesel verde (MOKHTAR et al., 2023; MACHADO, 2021). A produção de HVO na Indonésia não é realidade, porém, o governo anunciou, em seu Plano de Desenvolvimento de Médio Prazo (RPJM 2020-2024), a instalação de uma planta produtora (KRISTIANA; BALDINO, 2021).

O mercado externo representou 5% (cerca de 500 milhões de litros) do destino da produção indonésia, tendo como principais destinos a China e a Europa. O principal financiador da expansão produtiva são os impostos sobre a exportação do óleo de palma, principal matéria-prima do biodiesel indonésio e do biodiesel europeu. Desde 2020, o país traça estratégias para

alcançar um *mix* energético onde a energia renovável atinja 23% do total da matriz energética. Parte da comunidade internacional acredita que a ampliação da produção está atrelada ao desmatamento de florestas nativas com objetivo de expansão da produção da matéria-prima, impondo algumas restrições quanto sua importação. Tal questão permanece em aberto (EPE, 2023a; MILANEZ et al., 2022).

Já economia estadunidense é o principal produtor de etanol no mundo, tendo estratégias governamentais que incentivam o uso e produção de biocombustíveis em sua economia desde 1990. As iniciativas *Clean Air Act* de 1990, o *Energy Policy Act* de 1992, o programa de bioenergia *Commodity Credit Corporation* do USDA em 2000, o *Jobs Act* de 2004, o *Energy Policy* de 2005 e o *Energy Independence and Security Act* (EISA) de 2007 se destacam como pilares do setor. Essas políticas incentivam a aquisição de veículos movidos a biocombustíveis pelo governo, a compra de eventuais excedentes da produção pelo governo, incentivos fiscais e misturas obrigatórias aos combustíveis fósseis (COSTA et al., 2020; MILANEZ et al., 2022).

A EISA estabeleceu percentuais crescentes da mistura entre 2007 e 2022, tendo as montadoras Ford, General Motors e Fiat Chrysler apoiando o uso do biodiesel em proposições de até 20%, percentual mais praticado no país. Desde 1992, com a criação do *National Biodiesel Board*, a produção do biodiesel é fomentada de forma descentralizada em todo país. Os estados da Califórnia, Oregon, Minnessota e Illinois, Iowa e Nova Iorque atuam na redução de emissões dos combustíveis utilizados, incentivando o uso de biocombustíveis por intermédio de incentivos fiscais à medida que os percentuais de mistura aumentam. Em agosto de 2022, o governo anunciou um investimento de US\$ 23,4 bilhões destinado a projetos de melhoria no setor de transportes e à promoção de veículos elétricos. Este montante representa o maior aporte financeiro já realizado na história do país voltado para iniciativas de energia limpa, configurando-se como um marco histórico na transição energética. A medida simboliza uma mudança significativa de paradigma, ao priorizar a eletrificação da frota de veículos em detrimento do uso predominante de biocombustíveis. (COSTA et al., 2020; EPE, 2023a; MILANEZ et al., 2022).

Em 2023, a produção de diesel verde apresentou um crescimento de 75% com relação ao ano anterior, sendo o melhor resultado em toda sua história. O diesel verde é o substituto do diesel mais consumido no país, representando 60% de todo volume produzido, superando a produção do biodiesel convencional (BIODIESELBR, 2024). O país consta com 17 biorrefinarias, tendo

o estado de California como principal (com 4 biorrefinarias), possuindo capacidade produtiva de 11,4 bilhões de litros por ano (USDA, 2024).

Por fim, na União Europeia a indústria tem como meta as diretrizes da política *Tripla 20*, estabelecida em 2008, o marco de 20% de redução das emissões de GEE, 20% de participação das fontes renováveis na matriz energética e 20% de aumento da eficiência energética para 2020. Devido a pandemia da COVID-19, que estabeleceu restrições de locomoção e agrupamento, o bloco conseguiu atingir todas as metas. Como meta geral, espera-se atingir a neutralidade de carbono até 2050. Cada país participante é livre para adotar as políticas de biocombustíveis de acordo com seus interesses, não sendo imposto. (EPE, 2023a; COSTA et al., 2020). Na Europa, dois países se destacam quanto as políticas relacionadas ao biodiesel: a Alemanha e a França.

Já tendo ocupado a posição de maior produtor do mundo, a Alemanha data sua produção de biodiesel desde 1990, utilizando o óleo de colza como matéria-prima. Devido a Política Agrícola Comum Europeia (PAC), programa cujo objetivo é reservar 15% das terras aráveis para o plantio de outros produtos além dos cereais, o plantio de colza apresentou aumento após 1992 e vem sendo utilizado como principal matéria-prima. Com a presença de uma indústria automobilística influente, os veículos ofertados no país são compatíveis com taxas de *blends* superiores a de outros países, atingindo um consumo de biodiesel e HVO de 2,86 milhões de m<sup>3</sup> em 2021 (MILANEZ et al., 2022).

Devido a guerra na Ucrânia, os combustíveis fósseis apresentaram altos preços na Europa, gerando uma substituição do composto energético não renovável pelos biocombustíveis, aumentando a aquisição de veículos *flex* (BÉZIAT, 2022).

## **2.5 Estudos aplicados com modelos de EGC**

Sendo um tópico de discussão global, o aumento na produção e consumo de biodiesel gera efeitos diversos, aumentando o número de empregos em setores de mão de obra técnica e utilizando novas tecnologias de produção, alterando os custos a todos os setores da economia, além de efeitos contrários, como a competição com o uso alimentar das matérias-primas e o maior consumo de combustível pela perda energética da mistura. Como forma de quantificar e analisar esses impactos de forma integral, modelos multisetoriais são utilizados, partindo da

matriz de insumo-produto (*input-output* - IO), a de contabilidade social (*social accounting matrix* - SAM) e modelos de Equilíbrio Geral Computável (ALLAN, 2015).

Modelos que utilizam somente análise de IO ou SAM apresentam como limitações o pressuposto dos preços fixos, fazendo com que as respostas as variações exógenas ocorram somente nas variáveis reais, sem ajuste de preços, característica superada com a utilização de modelos de EGC. Uma vez que os preços de alimentos, da terra e as emissões geradas, por exemplo, surgem em respostas aos choques realizados, a abordagem com EGC apresenta-se como uma forma mais realista (ALLAN, 2015). Nessa perspectiva, a modelagem EGC tem se tornado uma ferramenta popular na investigação dos impactos de aumentos de misturas de biocombustíveis nos combustíveis fósseis, na utilização de novas matérias-primas na fabricação de biocombustíveis, nos banimentos de exportações e importação de óleos vegetais, dentro do escopo da redução de emissões de GEE, como listado no Quadro 2.

Para a Indonésia, principal produtora de biodiesel no mundo, políticas externas são avaliadas quanto a seus impactos no desmatamento e na produção de biocombustíveis. Sahara *et al.* (2022) e Busch *et al.* (2022) avaliam a política de banimentos da União Europeia (*Europe Union* - EU) sobre a importação do óleo de palma da região da Indonésia. Como resultado, eles encontram que, dado o crescimento da taxa de mistura do biodiesel, a produção voltada ao mercado externo será direcionada para a produção interna, incentivando o crescimento econômico do país. Com aumento da produção, é esperado um aumento nos preços interno dos alimentos, dada a substituição no uso da terra de culturas de frutas e vegetais para a matéria-prima do biodiesel indonésio. Como a política de importação foi adotada somente na EU, outras regiões serão consumidoras, principalmente o Estados Unidos da América (EUA) e regiões da Ásia e África (TAHERIPOUR; TYNER, 2020)

Para os EUA, o estudo de Zhao *et al.* (2021) avalia a produção de SAF por diferentes rotas tecnológicas e seus impactos na economia e, principalmente, nas emissões de GEE, a partir do uso de modelo EGC. Os autores concluem que o principal fator a se analisar ao calcular as emissões do biocombustível é sua matéria-prima e onde ela é produzida, porém, se comparado com o uso dos combustíveis fósseis de avião, 15 das 17 rotas de produção analisadas geram emissões abaixo do que seu par não sustentável. Winchester *et al.* (2013) avaliam os impactos econômicos de se alcançar as metas de redução dos GEE no setor aéreo norte-americano com o uso do biodiesel padrão. Para atingir as metas, subsídios serão necessários para o setor, além

de medidas que permitam a compra de créditos de carbono para que tal redução não inviabilize a operação das empresas aéreas no país (OLADOSU, 2012)

Na União Europeia, a política de proibição do uso de matérias-primas com características alimentares foi analisada pelos estudos de Delzeit, Markoff e Thube (2023) e Heimann *et al.* (2024), ambos utilizando modelos EGC. Como resultados, a produção de óleo de colza aumenta drasticamente dentro da Europa, porém, pelo mercado de biocombustíveis ser menor que o de alimentos, tal substituição não gera alterações nos preços da soja, milho ou cana-de-açúcar. Como a alteração se aplica somente em determinada região, o EUA, a Indonésia e América do Sul não sofrem alteração no seu mercado, mantendo a produção com uso de matéria-prima alimentícia.

O Iran, analisado pelo estudo Araghi, Barkhordari e Hassannia (2023), tem a produção de etanol viabilizada pelo uso do sorgo sacarino, planta habituada as condições da região. Com um mandato de mistura de 10% do etanol na gasolina, o país cresce em todas as regiões e pode reduzir seu problema de poluição, aumentando a qualidade de vida de sua população. Nakamya e Romstad (2020) avaliam a produção de etanol em Uganda por diversas matérias-primas. Como forma de otimizar o crescimento do país, a utilização de cana-de-açúcar e milho são mais adequadas que o melaço, porém, o melhor cenário é a utilização de todos, gerando um crescimento sustentável, não criando pressão nos preços de determinados alimentos.

Por se tratar de uma pauta global, outros países também avaliam a inserção dos biocombustíveis em suas matrizes energéticas. Weng *et al.* (2019) e Beckman *et al.* (2018) avaliam os impactos do uso de biocombustíveis nos países mais populosos do mundo, China e Índia. Por limitações de espaço, a produção interna do etanol e do biodiesel gera aumento nos preços dos alimentos e incentivo ao desmatamento, sendo necessário a revitalização das terras degradadas para plantio das matérias-primas. Como forma de evitar o desmatamento e atingir as produções almeçadas, tecnologias que utilizem óleo de cozinha usados devem ser incentivadas, não se apoiando tanto nas importações de óleos vegetais.

## Quadro 2 - Resumo dos trabalhos de políticas de combustíveis usando EGC

Autores	Região/País	Método	Objetivos	Principais Resultados e conclusões
Taheripour e Tyner (2020)	Malásia e Indonésia	CGE (GTAP-BIO)	Impactos no uso do solo da Malásia e Indonésia (M&I) da políticas de biocombustíveis norte-americanos	A produção de biocombustíveis nos EUA influencia o uso do solo na M&I. A produção de 3,8 bilhões de litros de biodiesel de soja aumenta a área de plantio em 13 mil hectares na M&I.
Sahara et al. (2022)	Indonésia	CGE	Impactos econômicos da mistura de 30% do biodiesel e do banimento das exportações a EU	Ambos os cenários incentivam o crescimento econômico do país. Com o aumento da produção, culturas como frutas e vegetais dão espaço para a matéria-prima, gerando um aumento nos preços dos alimentos.
Busch et al. (2022)	Indonésia	CGE	Impactos no desmatamento da Indonésia pelo banimento das exportações a EU	O banimento da importação de óleo de palma vinda de áreas florestais gera uma diminuição no desmatamento em 1,6% e nas emissões de 1,91%, aumentando o preço do óleo produzido em área não florestais em 8,9%. A efetividade de políticas de restrição de demanda só será efetiva quando outros países participam, a elasticidade do bem comercializado e qual o desmatamento gerado pelo commodity.
Oladosu (2012)	EUA	CGE	Impactos nas emissões do uso de biocombustíveis	Os biocombustíveis geraram uma diminuição no uso e nas emissões de combustíveis, tendo as emissões indiretas são superiores as diretas. Com a adoção, é esperada uma redução nas emissões de 0,1% ao ano de 2001 até 2030. Com aumento a demanda, o etanol sofreu aumento no preço de 6% e a economia global teve um aumento de 0,15% em 2030
Winchester et al. (2013)	EUA	CGE	Impactos econômicos da meta de consumo de biocombustíveis pelo setor aéreo norte-americano	Consumindo 3,8 bilhão de litros de combustível aéreo sustentável por ano, a redução de emissões de GEE é baixa, dada sua participação no consumo. Para alcançar tal produção, a agricultura precisa rotacionar as culturas, além de um subsídio das empresas aéreas.
Zhao et al. (2023)	EUA	CGE (DART-BIO)	Impactos da produção de SAF no uso do solo	Dos 17 caminhos para se produzir SAF, 15 deles poluem menos que o petróleo. O principal fator de emissão é a matéria-prima, sendo que todos que utilizaram os caminhos de celulose apresentaram emissões negativas. Como principal contribuição, o estudo é o primeiro a introduzir a produção do SAF em modelos CGE.
Britz e Hertel (2011)	União Europeia (EU)	CGE	Impacto das políticas de biodiesel no uso da terra e na economia global	Com a expansão da produção do biodiesel de óleo de colza, é esperado um aumento substancial da produção nos EUA e no Brasil deste produto, além de zerar a exportação europeia do mesmo. O preço de todas as matérias-primas de biodiesel sofreram aumento, em especial a colza com o rápido aumento da demanda.
Delzeit et al. (2023)	União Europeia (EU)	CGE (DART-BIO)	Impactos econômicos e do uso do solo das políticas europeias de biocombustíveis	Pela larga produção, a produção de biocombustíveis se concentrará no uso da colza. Políticas de biocombustíveis não são os principais fatores para influenciar a produção mundial de soja. A medida que a produção de biocombustíveis vai selecionando a matéria-prima, a terra vai sofrendo alterações no uso para acompanhar a demanda.
Heimann et al. (2024)	União Europeia (EU)	CGE (DART-BIO)	Impactos econômicos da proibição de biocombustíveis de óleos de palma e de soja	Com a proibição, o principal insumo é o óleo de colza, representando 49% de toda produção europeia, e aumento da importação de outros óleos não alimentícios. A proibição estimula a proteção em algumas regiões como Indonésia e Malásia, porém nos EUA e América do Sul poucas são as alterações

Autores	Região/País	Método	Objetivos	Principais Resultados e conclusões
Gardebroek et al (2017)	Alemanha e França	MQO	Impacto das políticas de biocombustíveis nos preços do óleo de colza.	O preço do biodiesel aumentou em conjunto com o diesel, porém o óleo de colza e a colza não se acompanham. Existe uma relação de troca entre a colza e o trigo. Na Alemanha, políticas de mistura geraram uma queda nos preços do óleo de colza. Na França, a introdução da cota de produção influenciou modestamente os preços da colza. De modo geral, não se apresentou grande influência das políticas nos preços dos insumos dos biocombustíveis.
Doumax-Tagliavini e Sarasa (2018)	França	EGC com Matriz de Contabilidade Fiscal (MCF)	Impactos econômicos sobre a imposição do uso de biocombustíveis de primeira geração em 7% e de biocombustíveis avançados para 10% até 2030.	Uma melhoria na taxa de incorporação de biodiesel e bioetanol por meio de impostos adicionais sobre combustíveis fósseis não necessariamente leva a uma expansão nos setores de biocombustíveis. O aumento dos preços dos biocombustíveis não se traduz em aumento nos preços dos alimentos, o que implica que a segurança alimentar não é desafiada, e os ganhos ambientais de uma redução no consumo de combustíveis fósseis podem ocorrer às custas dos ganhos econômicos ligados ao desenvolvimento rural, sendo um dilema a ser resolvido.
Saikkonen et al. (2014)	Finlândia	EP (Equilíbrio Parcial)	Impactos na produção de diesel verde das leis de importação de óleo de palma.	O preço do diesel verde estabelecido pela política da UE promove sua produção, sendo o único cenário onde é viável. Quando a plantação de óleo de palma ocorre em regiões não florestais, a emissão evitada pelo uso do diesel verde compensa sua produção, tornando-o carbono neutro.
Weng et al. (2019)	China	EGC com Land Use Change (LUC)	Impactos no uso do solo da aplicação mandatória da mistura de 10% de etanol na gasolina.	O aumento na produção de etanol geraria um acréscimo no preço dos alimentos em 0,1%, incentivando a redução no uso da terra para plantio de arroz (0,016%) e aumentando o desmatamento (0,023%). Para frear tal cenário, a revitalização e o uso das terras degradadas podem gerar uma economia de terras agrícolas de 0,217%.
Beckman et al., (2018)	China e Índia	EGC	Impactos econômicos da China alcançar a mistura de 10% de etanol e a Índia de 20% de biodiesel.	Por terem a maior população do mundo, ao alcançar as metas de mistura, Índia e China aumentam o preço da matéria-prima e dos biocombustíveis. Devido a limitações naturais, os países terão de se apoiar no mercado externo e no uso do óleo de cozinha usado para fabricação de biodiesel e etanol. Medidas de proteção das florestas devem ser tomadas, evitando o estímulo ao desmatamento para a produção de biocombustíveis.
Araghi et al. (2023)	Iran	EGC com Matriz de Contabilidade Fiscal (MCF)	Impactos econômicos da produção de etanol para alcançar misturas de 5% e 10%.	Mesmo sendo uma das principais reservas de fontes fósseis no mundo, a grande poluição no país está motivando o incentivo à produção de etanol. A produção interna, utilizando o sorgo sacarino, planta adequada ao clima do Oriente Médio, para alcançar a mistura de 10%, gera um crescimento de 0,4% do PIB e um aumento da renda de 0,5% para a população urbana e 0,17% para a população rural, respectivamente.
Nakanya e Romstad, (2020)	Uganda	EGC com Matriz de Contabilidade Fiscal (MCF)	Impactos econômicos de um mandato de 10% de mistura de etanol na gasolina usando milho, mandioca, cana-de-açúcar e melão como matérias-primas.	A cana-de-açúcar e o milho são mais propensos a promover o crescimento em comparação com a mandioca. O melão apresentou resultados negativos por ser um insumo utilizado em outros setores. O uso de todas as matérias-primas de forma mais distribuída geraria um crescimento mais sustentável, sem criar pressões nos preços dos alimentos. A renda cresce em todos os domicílios rurais e diminui para todo o restante. É sugerida a criação de políticas pró-baixa renda, conseguindo beneficiar mais os participantes do setor do etanol.
Timilsina e Mevel (2013)	Mundo	EGC	Impactos no uso do solo dos mandatos de mistura de diversos países.	Para alcançar a neutralidade de carbono, o mais importante é compreender quais solos serão utilizados para o plantio das matérias-primas. A produção de biocombustíveis possivelmente está incentivando o desmatamento, fazendo com que a neutralidade não ocorra.

Fonte: Elaboração própria

Autores	Região/País	Método	Objetivos	Principais Resultados e conclusões
Filho (2011)	Brasil	EGC	Impactos na demanda por trabalho, na distribuição de renda e na pobreza da expansão projetada da cana-de-açúcar e do etanol no Brasil.	A expansão na demanda por etanol no Brasil reduziria ligeiramente a pobreza, embora aumentasse a desigualdade. A distribuição de renda melhora muito pouco. O aumento da mão de obra ocorrerá principalmente em São Paulo e nas regiões Centro-Oeste, e entre trabalhadores de renda média, com uma diminuição no emprego dos menos qualificados em muitos estados da região Nordeste.
Ferreira Filho e Horridge (2014)	Brasil	EGC	Impactos no uso do solo do aumento da produção de etanol.	Pelas suas dimensões continentais, a expansão não incentivou o desmatamento, tendo em São Paulo um aumento da produtividade, não gerando emissões pela troca do uso do solo. Cada novo hectare para produção de cana-de-açúcar gera-se 0,14 hectares de novas terras e 0,47 de conversão de terras de pastagem.
Santos e Ferreira Filho (2017)	Brasil	EGC	Impactos econômicos da política de substituição de combustíveis fósseis do Plano Nacional de Energia (PNE) 2030.	Os estados com maior participação na produção de soja e cana-de-açúcar apresentaram os maiores crescimentos, e aqueles com maior dependência de petróleo e derivados tiveram uma redução na sua economia. O número de empregos apresentou variações positivas, com aumentos salariais nas parcelas mais pobres. Nas emissões, ocorreu uma redução de 2,56%, causada principalmente pelo uso do biodiesel.
Machado et al. (2020)	Brasil	EGC com Life Cycle Analysis (LCA)	Impactos no uso do solo e nas emissões das NDC estabelecidas pelo Acordo de Paris para o Brasil.	Mesmo com a inserção de novas tecnologias de biocombustíveis (etanol de segunda geração), a redução das emissões não alcança as metas estabelecidas para 2030, principalmente pelo aumento de 12% das emissões devido ao uso, mudança e desmatamento da terra gerado pelas plantações. A principal forma de atingir os objetivos é evitar o desmatamento e incentivar o reflorestamento, principalmente na região Norte.
Carvalho (2022)	Brasil	EGC (BEETS)	Impactos econômicos da implementação de mercados de carbono para os setores produtivos brasileiros.	O Brasil possui elevado potencial de abatimento das emissões de GEE com reduzido custo econômico. A precificação de carbono pode reduzir as emissões em setores como pecuária e transportes. No entanto, o aumento de preços, como em termelétricas, pode gerar queda nas atividades e emissões setoriais. O mercado de carbono, embora eficiente na redução de custos, pode gerar efeitos distributivos negativos, impactando mais as famílias de menor renda.
Pereira Junior et al. (2024)	Brasil	EGC	O efeito distributivo na renda das famílias da precificação de carbono no Brasil	A taxa de carbono não deve distinguir setores pois, se o fizer, terá efeito maior sobre as classes de menor renda, pois gastam proporcionalmente mais com produtos da agropecuária, que são os maiores emissores de GEE.

Fonte: Elaboração própria

Para o Brasil, os estudos utilizam de métodos de EGC para realizar suas análises. Filho (2011) avaliou os impactos da produção de etanol no mercado de trabalho brasileiro e sua capacidade de reduzir a pobreza. Mesmo aumentando o número de trabalhadores, eles recebem menos, gerando um aumento da desigualdade social, principalmente nas regiões de São Paulo, Centro-Oeste e Nordeste. Ferreira Filho e Horridge (2014) avaliou a expansão do etanol no uso da terra e desmatamento, concluindo que, dada as dimensões continentais do país, tal alteração no uso do solo não gera resultados negativos, apenas a conversão de área de pastagem para cultivo da cana-de-açúcar.

Santos e Ferreira Filho (2017) avaliaram as metas do Plano Nacional de Energia 2030 e seus impactos econômicos e sociais. A utilização do biodiesel gerou uma redução de 2,56% das emissões, marca positiva, mas ainda menor que a estabelecida pelos acordos internacionais. Estados cuja produção de soja e cana-de-açúcar são grandes responsáveis pelo crescimento econômico apresentaram resultados positivos, e aqueles que dependem da extração do petróleo, resultados negativos. Machado *et al.* (2020) avaliaram as metas de redução de emissões de GEE do Acordo de Paris com uso dos biocombustíveis e os novos de segunda geração. Como resultado, atingir as metas estabelecidas não ocorre devido as emissões geradas pela mudança de uso de solo e desmatamento da região Norte.

Nos estudos mais recentes, discute-se a utilização da precificação das emissões como uma estratégia para alcançar as metas gerais de redução de Gases de Efeito Estufa (GEE). PEREIRA JUNIOR *et al.* (2024), ao analisarem a implementação de uma taxa sobre as emissões com o objetivo de reduzir os GEE em 10%, observam que as famílias de menor renda experimentam uma perda de bem-estar de 3,5%, seguidas por uma perda de 2,1% para as famílias de renda média e 1,5% para as de alta renda. Com isso, os autores sugerem a formulação de políticas compensatórias a fim de evitar o aumento das desigualdades sociais. CARVALHO (2022) investigou o potencial do Brasil em reduzir suas emissões de GEE a um custo econômico reduzido. De acordo com seus achados, pequenos aumentos no preço do carbono resultam em uma diminuição no nível de atividade nos setores de alta emissão, destacando que as políticas de precificação de carbono são mais eficientes do que as políticas de comando e controle na consecução das metas estabelecidas no Acordo de Paris. O estudo também revela que as famílias de menor renda são mais afetadas por tais políticas do que aquelas de maior renda, evidenciando um potencial aumento das desigualdades econômicas.

Os estudos supracitados abordam de forma abrangente as políticas domésticas de cada país em análise relacionadas aos biocombustíveis, em especial o biodiesel e o aumento de sua participação nas emissões de GEE. Essa abordagem permite comparar os cenários com o uso dos combustíveis fósseis e com aumento dos biocombustíveis, avaliando os impactos econômicos e sociais destas substituições. O modelo de equilíbrio geral computável fornece uma estrutura para analisar as novas políticas de mistura em biocombustíveis, ao mesmo tempo em que oferece uma descrição completa da economia, incluindo as emissões evitadas no transporte rodoviário pela política por cada um dos setores econômicos e o alcance das metas estabelecidas de redução de GEE.

Nesse sentido, o presente estudo adota um modelo EGC dinâmico para economia brasileira com a matriz de transporte aberta para o transportes de carga e de passageiro, explorando os impactos econômicos, sociais e ecológicos das alterações na mistura sobre o diesel com biodiesel, analisando com base no Programa Combustível do Futuro em cenários que possuem aumento do consumo para manter o conteúdo energético e ganhos na eficiência produtiva do diesel B, uma análise indisponível na literatura atual.

### 3 ESTRATÉGIA METODOLÓGICA

O modelo de EGC tem em sua abordagem compreender a economia como inúmeros mercados inter-relacionados em uma alocação Pareto-ótima, ou seja, uma alocação onde não há forma de melhorar a situação de um indivíduo ou setor sem piorar a de pelo menos outro. Dessa forma, os modelos de EGC são sistemas de equações simultâneas resultantes da maximização de todos os agentes presentes na economia (DOMINGUES, 2002). Duas correntes são mais conhecidas quanto a modelagem: a australiana/norueguesa com a abordagem de Johansen, empregando um conjunto de equações linearizadas e com as soluções sendo alcançadas na forma de taxa de crescimento; e a americana com a abordagem de Scarf, adotando um sistema de equações não linearizadas (PROQUE, 2019). Os modelos de EGC de dinâmica recursiva permitem considerar a evolução ao longo do tempo das respostas as mudanças causadas pelas políticas, incorporando mecanismos intertemporais (DIXON; RIMMER, 2002).

Para adquirir características de dinâmica recursiva, o modelo passa a possuir dois tipos de equação capazes de envolver soluções ano a ano acerca das relações entre a acumulação de estoque de capital físico e o fluxo de investimento, com ajuste intertemporal defasado do mercado de trabalho. De modo geral, para adquirir tais soluções recursivas, o modelo parte da hipótese de expectativas estáticas (ou adaptativas), de modo que a solução de cada ano depende do ano corrente e dos anos anteriores (DIXON; RIMMER, 2002). No modelo utilizado, o BIM-RD, há expectativas estáticas (dinâmica recursiva) tratadas a partir de três mecanismos: o ajustamento defasado do mercado de trabalho, envolvendo a relação de salário real e oferta de emprego no país; relação positiva entre investimento e taxa esperada de retorno e o vínculo entre estoque-fluxo entre investimento e capital assumindo um ajustamento defasado de um ano (*backward looking*) (HORRIDGE, 2012). O modelo BIM-RD é uma adaptação nacional do modelo ORANI (DIXON et al., 1982), sendo seguido a abordagem de Johansen, atingindo os resultados em forma de taxas de crescimento, sendo um modelo nacional de EGC multiperíodos, criado para analisar os impactos de certos instrumentos de política na economia brasileira a partir de 2015. (BETARELLI JUNIOR, 2022a, 2022b, 2023; BETARELLI JUNIOR; PEROBELLI; VALE, 2015).

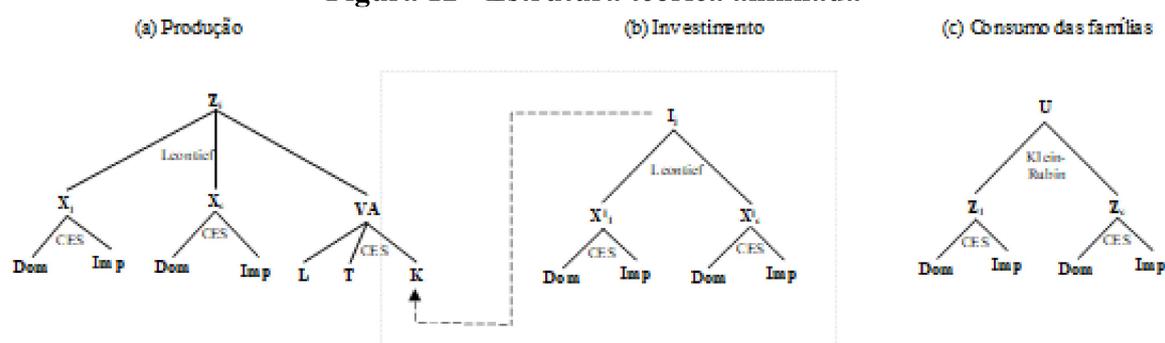
Além desta seção de introdução, este capítulo está organizado em duas seções principais. A primeira detalha a estrutura teórica do modelo EGC, as equações presentes no modelo e o comportamento recursivo. A segunda seção relata o banco de dados utilizado, esclarece as

estimações do custo e da demanda do biodiesel, além das características energéticas e de emissão.

### 3.1 Estrutura teórica

Os agentes econômicos são representados por um sistema de equações cujo comportamento é de otimizar os custos e serem tomadores de preços, supondo um mercado de ambiente competitivo com lucro econômico igual a zero (HORRIDGE, 2000). Concomitantemente, a função de produção se fragmenta na demanda por insumos e fatores de produção e na composição dos produtos fabricados, sendo interconectadas pelo nível de atividade setorial. Por meio de uma função de agregação CET (*Constant Elasticity of Transformation*), os setores ajustam sua oferta ao produzirem bens com preços relativos mais elevados, destinando para o mercado nacional quanto para a exportação. Devido essa capacidade de maximização da receita, setores multiprodutores podem ajustar sua oferta para o mercado mais vantajoso, favorecendo, por exemplo, o mercado nacional em detrimento do externo (PEROBELLI et al., 2017). A demanda dos produtores se comporta com uso de funções do tipo Leontief e funções de elasticidade de substituição constante (*constant elasticity of substitution - CES*) (DIXON et al., 1982) como mostra a Figura 11.

**Figura 12 - Estrutura teórica aninhada**



Fonte: Betarelli Junior et al. (2020).

Na figura 11a, o primeiro nível da estrutura de produção, as indústrias produzem um ou mais bens que combinam diversos insumos intermediários ( $X_i$ ) e fatores primários ( $V_i$ ), em proporções fixas, definida por uma função Leontief, gerando um bem ( $Z_i$ ). No segundo nível da hierarquia, cada composto é proveniente de uma função CES, implicando uma substituição imperfeita entre insumos ou fatores de produção, uma vez que possuem características distintas, dependendo dos preços relativos dos insumos domésticos ( $D_i$ ) ou importados ( $I_i$ ) (Armington, 1969). O valor agregado é resultante de combinações imperfeitas entre os fatores de produção:

trabalho ( $L_i$ ), terra ( $T_i$ ) e capital ( $K_i$ ). A estrutura aninhada da produção em dois níveis é definida por BETARELLI JUNIOR et al. (2020) como:

$$Z_i = \min\left(\frac{X_i}{a_i^X}, \frac{V_i}{a_i^V}\right) \quad (3)$$

A variável  $Z_i$  denota o produto; os termos  $a_i^X$  e  $a_i^V$  são a eficiência produtiva de cada fator;  $X_i$  os insumos intermediários e  $V_i$  é o valor adicionado, respectivamente caracterizados como:

$$X_i = \left[\sum_{s=1}^S \delta_{s,i} X_{s,i}^{-\rho^X}\right]^{-\frac{1}{\rho^X}} \quad \forall s = (D, I) \quad (4)$$

tal que:

$$V_i = \left[\sum_{f=1}^f \delta_{f,i} V_{f,i}^{-\rho^V}\right]^{-\frac{1}{\rho^V}} \quad \forall f = (L, T, K) \quad (5)$$

em que  $\delta$  é um parâmetro que satisfaz  $\sum_{i=1}^f \delta_{f,i} = 1$  ou  $\sum_{i=1}^S \delta_{s,i} = 1$  e  $\rho$  expressa as elasticidades de substituição entre os fatores  $X_i$  e  $V_i$ . A formulação teórica é semelhante para todo os setores produtivos, apresentando variações apenas nas elasticidades de substituição e nas proporções de insumos e fatores primários (BETARELLI JUNIOR et al., 2020).

Na Figura 11b, a demanda por bens de investimento é visualizada empregando uma função Leontief para combinar os insumos em proporções fixas gerando novas unidade de capital. Há um vínculo entre investimento e capital de acordo com o mecanismo dinâmico de acumulação do capital em cada período  $t+1$  (HORRIDGE, 2012):

$$K_{i,t+1} = (1 - \varphi_i)K_{i,t} + I_{i,t} \quad (6)$$

sendo  $K_{i,t}$  a quantidade de estoque de capital disponível para o setor  $i$  no período  $t$ ; e  $\varphi_i$  é a taxa de depreciação (constante ao longo do tempo). A quantidade do estoque de capital do ano base é fornecida de forma exógena. Além disso, de acordo com HORRIDGE (2012), a alocação de investimentos é definida por duas regras básicas (CHEN, 2019):

$$G_i = \frac{I_{i,t}}{K_{i,t}} = F(E_i) \quad (7)$$

$$G_i = Q_i \cdot G_i^{Tend} \cdot \frac{(M_i)^{\xi_i}}{Q_i - 1 + (M_i)^{\xi_i}} \quad (8)$$

de maneira que na eq. (5) a razão investimento/capital ou taxa bruta de crescimento de capital no próximo período estão positivamente relacionados com as taxas de retorno esperadas ( $E_i$ ); e na eq. (6) as taxas de retorno esperadas convergem para as taxas de retorno reais por meio de um mecanismo de ajuste parcial (CHEN, 2019), com  $M_i = E_i/R_i^{Normal}$ , tal que  $R_{j,i}^{Normal}$  é a taxa de retorno normal do capital para o investidor  $i$ ;  $G_i^{Tend}$  é a tendência de crescimento dos estoques de capital,  $Q_{j,i}$  é a relação investimento/capital (máxima/tendência); e  $\xi_i$  denota a elasticidade do investimento.

O comportamento da demanda das famílias (Figura 11c) segue uma função Klein-Rubin ou Stone-Geary para agrupar as commodities, resultando em um sistema linear de gastos (*Linear Expenditure System - LES*). A renda da família é direcionada em uma parcela de necessidades básicas de subsistência enquanto o restante é gasto em “bens de luxo”, fração cujas alterações na renda alteram o consumo (PROQUE, 2019). A função *LES* é definida por:

$$U(Z_i, \dots, Z_c) = \sum_{i=1}^c S_i^{Lux} \ln(Z_i - Z_i^{Sub}) \quad (9)$$

em que  $Z_i$  denota a demanda total pelo produto  $i$ ;  $Z_i^{Sub}$  a demanda das famílias que consideram o produto  $i$  como um bem necessário;  $(Z_i - Z_i^{Sub})$  é a demanda das famílias que consideram o produto  $i$  como um bem de luxo, assim, ela varia de acordo com a renda; e  $S_i^{Lux}$  representa a participação orçamentária do bem de luxo  $i$  em relação aos gastos totais em bens de luxo. Independente da restrição orçamentária, toda a renda não destinada à bens de subsistência será empregada em bens de luxo (PROQUE, 2019). Sendo assim, a função *LES* é caracterizada como não-homotética ou quase-homotética, já que apenas as quantidades demandadas dos bens que excedem os níveis de subsistência variam proporcionalmente à renda. As parcelas dos gastos destinados aos bens essenciais aumentam em resposta à redução de renda e diminuem quando a renda aumenta (BETARELLI JUNIOR et al., 2020; BURFISHER, 2016).

Para a demanda por exportações, adota-se a hipótese de pequena economia para o comércio internacional, de forma que as variações no comércio exterior brasileiro não influenciam os preços internacionais. A demanda externa por bens tradicionais muda inversamente ao preço médio em moeda estrangeira das exportações, sendo a taxa de câmbio exógena. O consumo do

governo também é exógeno e os estoques se acumulam de acordo com a variação da produção. O mercado de trabalho possui seu ajuste de forma defasado entre o crescimento real dos salários e a oferta nacional de emprego. Logo, embora o emprego esteja acima de seu nível de tendência em função de choques de política econômica, a taxa real de salários se move cada vez maior que de seu nível de tendência (HORRIDGE, 2012).

A dinâmica recursiva está presente no modelo devido aos parâmetros de elasticidade de investimento ( $\xi_i$ ), elasticidade-salário de emprego e a elasticidade de entrada e saída de empresas no mercado. Desta forma, o modelo é capaz de projetar resultados ao longo do tempo, utilizando não somente a solução inicial como base, mas também a solução requerida (BETARELLI JUNIOR; PEROBELLI; VALE, 2015).

### **3.1.1 Módulo Fiscal**

A Matriz de Contabilidade Social (MCS) é uma versão expandida da matriz de insumo-produto (MIP) e compreende as contas adicionais de transações e transferências entre instituições econômicas em um sistema, como setores produtivos (F), famílias (H), administração pública (G) e o resto de o mundo (RoW), abrangendo a interdependência produtiva existente entre os fatores primários. Sua inserção no modelo utilizado BIM-RD capta o fluxo circular de receitas e despesas de toda economia, mostrando a origem, distribuição e alocação de renda entre os agentes econômicos para diferentes usos (FOCHEZATTO, 2011; MARTINS, 2021; MILLER; BLAIR, 2009). O Quadro 3 ilustra MCS estilizado em equilíbrio geral, cujas contas separadas são escalonadas por índices.

**Quadro 3 - Estrutura da MCS**

		Setores Produtivos	Valor Adicionado			Taxa	Conta Corrente			Conta Capital	Restante do Mundo	Total Rcebido	
		1...i...N	L	R	K	Tx	F	H	G	Investimento	Setor Externo		
Setores Produtivos	1...i...N	Consumo Intermediário					Consumo Final			FBCF	Exportações	$D_i$	
Valor Adicionado	L	VA pago pelos setores produtivos										L	
	R											R	
	K											K	
Taxa	T	$T_i$						$T_H$	$T_G$	$T_I$	$T_E$	T	
Conta Corrente	F		VA recebido pelas instituições			T	Renda de Propriedade e Transferências Correntes				Transferências Correntes recebidas do RM		$Y_F$
	H												$Y_H$
	G												$Y_G$
Conta Capital	Invest.						Poupança			Transferências de Capital	Transferências de Capital recebidas do RM	S	
Restante do Mundo	Setor Externo	Importações	Renda enviada ao RM				Transferências Correntes enviadas ao RM			Transferências de Capital enviadas ao RM		M	
Total pago		$Z_i$	L	R	K	T	$C_F$	$C_H$	$C_G$	I	$C_E$		

Fonte: Martins (2021).

A primeira linha e coluna representam o total de vendas e os custos totais de produção de cada setor  $i$ , tendo a igualdade entre a demanda total ( $D_i$ ) e a produção total ( $Z_i$ ), como descrevem BETARELLI JUNIOR et al. (2021):

$$D_i = \sum_{i=1}^n X_{ii} + X_{i,H} + X_{i,G} + X_{i,I} + X_{i,E} = Z_i = \sum_{i=1}^n X_{ii} + M_i + V_i + T_i \quad (10)$$

sendo  $X_{ii}$  o consumo intermediário de insumos  $i$  pelo setor  $i$ ;  $X_{i,H}$ ,  $X_{i,G}$ ,  $X_{i,I}$  e  $X_{i,E}$  representam o consumo final das famílias (H), do Governo (G), dos investidores (I) e as exportações (E) do bem  $i$ , respectivamente. Já o custo total de produção do setor  $i$  é representado pela soma dos insumos intermediários ( $X_{ii}$ ), importações ( $M_i$ ), Impostos ( $T_i$ ) e pelo valor adicionado ( $V_i$ ) formado pelo trabalho ( $L_i$ ), pela terra ( $R_i$ ) e pelo capital ( $K_i$ ). Dessa forma, conforme BETARELLI JUNIOR et al. (2021) o Produto Interno Bruto ( $PIB_i$ ) antes dos impostos é dado por:

$$\sum_{i=1}^n (X_{i,H} + X_{i,G} + X_{i,I} + X_{i,E} - M_i) = PIB_i = \sum_{i=1}^n V_i = L + R + K \quad (11)$$

Assim, outras identidades matemáticas são possíveis de se extraídas da estrutura da MSC, especialmente entre receitas e pagamentos. BETARELLI JUNIOR et al. (2021) mostram, como exemplo, a receita total do Governo ( $Y_G$ ), representada pela soma da remuneração de capital ( $K_G$ ), da receita tributária (T) e das transferências recebidas de instituições econômicas nacionais ( $Tr_{G,j}$ ) e do exterior ( $Tr_{G,E}$ ). Na outra extremidade da igualdade tem-se o total de

custos do Governo ( $C_G$ ), que por sua vez, é representado pela soma de seus gastos totais (G) e de sua poupança ( $S_G$ ).

$$Y_G = K_G + T + \left(\sum_{j=1} Tr_{G,j}\right) + Tr_{G,E} = C_G = G + S_G \quad \forall j = (H, F, G) \quad (12)$$

Os gastos totais do governo (G) correspondem à soma da sua demanda por bens finais, domésticos ( $X_{i,G}$ ) e importados ( $M_G$ ), com os impostos de commodities ( $T_G$ ) e as transferências totais pagas às famílias ( $Tr_{H,G}$ ) e às firmas ( $Tr_{F,G}$ ):

$$G = \left[\left(\sum_{i=1} X_{i,G}\right) + M_G + T_G + \left(\sum_{j=1} Tr_{j,G}\right)\right] \quad (13)$$

De forma similar, a renda total das famílias é representada pela soma do valor adicionado  $V_H$ , formado pelo trabalho ( $L_H$ ), pela terra ( $R_H$ ) e pelo capital ( $K_H$ ); pelas transferências pagas pelo Governo ( $Tr_{H,G}$ ) e por transferências correntes vindas do exterior ( $Tr_{H,E}$ ). Por outro lado, os custos das famílias são compostos pelos seus gastos totais ( $G_H$ ) e por sua poupança ( $S_H$ ):

$$Y_H = V_H + Tr_{H,G} + Tr_{H,E} = C_H = G_H + S_H \quad (14)$$

O total de gastos das famílias é igual à soma de sua demanda por bens finais, sejam eles domésticos ( $X_{i,H}$ ) e importados ( $M_H$ ), com os impostos pagos ( $I_H$ ). As equações (7) e (8) podem ser derivadas tanto para as famílias quanto para as firmas. Logo, a receita total das firmas possui mesmo formato da equação (9), entretanto com a substituição faz famílias (H) por firmas (F), apresentando a estrutura da equação (10)

$$Y_F = V_F + Tr_{F,G} + Tr_{F,H} + Tr_{F,E} = C_F = G_F + S_F \quad (15)$$

Outra equação de interesse que pode ser extraída da MCS é a poupança total da economia. Como identidade macroeconômica, tem-se que o investimento é igual à poupança, que por sua vez, corresponde à soma da poupança privada (famílias e firmas) com a poupança pública e a poupança do restante de mundo:

$$I = S = S_G + (S_H + S_F) + S_E \quad (16)$$

Todas as equações apresentadas nesta subseção derivam da MCS, o equilíbrio entre elas garante a solução ao longo dos períodos avaliados do modelo de EGC das contas governamentais.

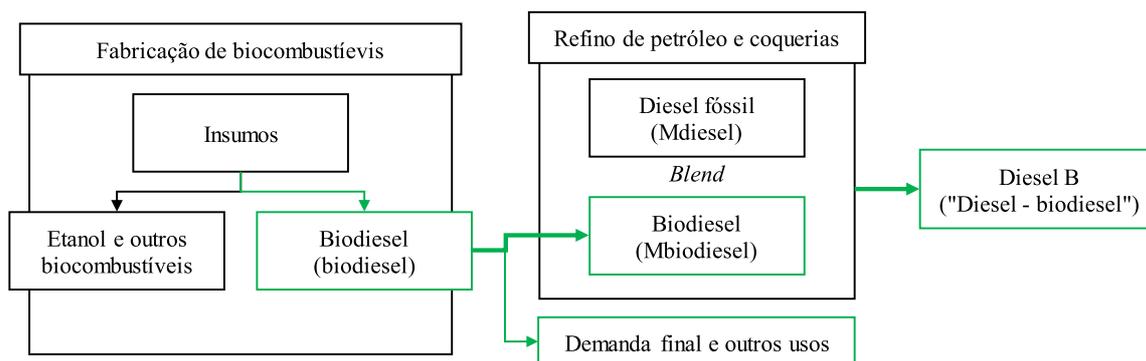
A presença do módulo fiscal na presente dissertação tem como objetivo manter

### **3.2 Base de dados**

Como base para realização do modelo de EGC, a matriz de insumo-produto (MIP), disponibilizada pelo IBGE, foi utilizada. A MIP detalha as operações de produção e consumo por atividade econômica. Originalmente, a matriz é dimensionada por 127 produtos e 67 setores econômicos, com as transações sendo mensuradas em unidades monetárias (R\$ milhões) (IBGE, 2024a). Para análise do produto biodiesel, os produtos “Diesel-Biodiesel” e “Etanol e outros biocombustíveis”, e os setores de “Fabricação de biocombustíveis” e “Refino de petróleo e coquerias” foram desagregados, sendo melhor detalhado tal desagregação ao longo da presente subseção. Com tais desagregações, o banco total apresentou 71 setores e 134 produtos, sendo necessário agrupar os setores em grupos maiores. Dos 71 setores, 21 foram agrupados em “Outros serviços”, gerando 50 setores, sendo estes agregados em 21 grupos e, posteriormente em 3 macro grupos: agropecuária, indústrias e serviços. No Anexo I estão detalhados os grupos e os setores que os compõem.

Ao observar os fluxos de insumos utilizados para ambos os produtos, a produção do Biodiesel está representada pela produção do produto “Etanol e outros biocombustíveis” listado na MIP, havendo consumo de produtos alimentícios, óleos e gordura vegetal e animal, características não captadas pelo vetor do produto “Diesel - Biodiesel”. O biodiesel produzido é comercializado para o setor de “Refino de petróleo e coquerias”, sendo misturado com o diesel fóssil, gerando o produto “Diesel – biodiesel”, sendo o *blend* dos combustíveis. Este produto é a representação da demanda do biodiesel, encaminhado o produto para os consumidores finais. Na figura 12 está o fluxograma de produção e comercialização do biodiesel captado pela MIP.

**Figura 13 – Fluxo do biodiesel na Matriz de Insumo-Produto**



Fonte: Elaboração própria

Dessa maneira, a oferta de biodiesel foi estimada a partir do vetor de insumos do setor de “Fabricação de biocombustíveis” e a demanda via demanda do produto “Diesel - biodiesel”, sendo este o *blend* do diesel fóssil com o biodiesel. Para que a modelagem apresente resultados que consigam captar o comportamento da cadeia do biodiesel, dois produtos foram criados: “biodiesel” e “Mbiodiesel”. O primeiro se trata do produto puro, o que é produzido pela “Fabricação de biocombustíveis” e consumido pelo setor de “Refino de petróleo e coquerias” e podendo ser exportado; o segundo produto se trata da parcela do biodiesel presente no Diesel B. Para realizar tal desagregação, foi utilizado o Sistema de Contas Econômicas Ambientais (SCA), realizado pelo IBGE para o ano de 2015, e diversas referências bibliográficas. Para analisar as emissões, os fatores de um dos combustíveis analisados foram captados na literatura, sendo mais detalhado a forma que tais informações foram utilizadas.

### 3.3.1 Custo do Biodiesel

Para estimação da oferta do biodiesel, os custos unitários do setor de “Fabricação de biocombustíveis” foram estimados com uso dos dados da MIP. Utilizando do vetor de custos do setor foi dividido pelo volume produzido. Como volume total de biocombustíveis, foram considerados a produção de etanol, hidratado e anidro, e biodiesel, disponíveis no anuário estatístico da ANP. Desta forma, obteve-se o custo unitário por insumo do setor, tendo os valores em R\$/m<sup>3</sup> produzido de biocombustível. Da mesma forma, utilizando da matriz insumo-produto diagonalizada em produto x produto (PXP), avaliou-se os custos unitários para o produto “Diesel - biodiesel”, gerando estatísticas para estimação do custo do Diesel B.

Para melhor compreensão, os vetores de custos de produção dos dois produtos foram classificados em seis categorias, tendo como base o estudo de WANG et al. (2019): (I) custo

de matéria-prima; (II) custos de processamento e transformação da matéria-prima; (III) custos de comércio; (IV) custos de transporte e (V) custos de serviços administrativos. Somando todos, atinge-se o custo unitário de insumos intermediários, complementando com as compras de importação, impostos e remuneração dos fatores de produção, tem-se o custo de produção a valor básico. A Tabela 2 expõe os custos unitários e os preços correspondentes de cada tipo de combustível.

**Tabela 2 - Custos unitários e preços para Etanol e outros biocombustíveis e Diesel B, avaliados em 2015**

Classe	Insumos	Etanol e outros biocombustíveis		Diesel B	
		BRL/m3	Part.%	BRL/m3	Part.%
<b>Custo de matéria-prima</b>	Matéria-prima	872	50,27	147	6,46
	Produtos químicos orgânicos e inorgânicos	32	1,82	2	0,08
	Outros insumos industriais	74	4,26	1325	58,28
<b>Custos de processamento e transformação da matéria-prima</b>	Máquinas e equipamentos	0	0,02	0	0,00
	Manutenção, reparação e instalação	21	1,23	3	0,15
	Construção	6	0,37	0	0,01
	Utilidades	1	0,08	0	0,01
	Gestão de água e resíduos	0	0,00	2	0,11
<b>Comércio</b>	Comércio	49	2,84	18	0,77
<b>Transporte</b>	Transporte	142	8,18	37	1,64
	P&D	11	0,63	1	0,05
<b>Administração</b>	Publicidade e Marketing	7	0,39	2	0,07
	Administração	96	5,54	55	2,41
	Outros serviços	10	0,58	3	0,13
<b>Insumos intermediários</b>		<b>1322</b>	<b>76,22</b>	<b>1595</b>	<b>70,18</b>
	Insumos importados	41	2,34	237	10,45
	Impostos de produção	50	2,89	224	9,83
	Folha de pagamento	268	15,47	42	1,87
	Renda do Capital	53	3,07	175	7,68
<b>Produção (preço básico)</b>		<b>1735</b>	<b>100,00</b>	<b>2273</b>	<b>100,00</b>
<b>Custos de venda</b>	Imposto sobre venda	377	21,72	164	9,45
	Despesas de distribuição	325	18,72	357	20,61
<b>Preços ao consumidor</b>	Preço (US\$/L) <sup>a</sup>	0,624		0,716	
	Preço (BRL/L)	2,437		2,795	

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da SCN do IBGE (2016) e da ANP (2016).

Nota: <sup>a</sup>preço convertido a partir da taxa de câmbio anual do Banco Central do Brasil para 2015.

Como o setor de “Refino de petróleo e coquerias” corresponde por um setor de multiprodução, produzindo mais de um produto, foi necessária a transformação em uma matriz PXP. Separando as influências de cada um dos produtos e agrupando cada um de seus custos, atribuindo-se a hipótese que a alocação dos custos de um determinado produto (demanda de insumos)

acompanha a participação de cada atividade setorial na produção do bem<sup>6</sup>. Este pressuposto faz com que seja alcançado uma matriz de monoprodução, onde cada produto é compreendido como seu setor, sendo um método recorrente para realizar a transformação da matriz de produto por setor em uma matriz produto por produto, conseguindo identificar, de forma separada os custos de produção de cada bem.

Como forma de validação, os preços encontrados foram comparados com os preços divulgados pela ANP. Os valores utilizados foram os relatados pelos revendedores de óleo diesel, logo o diesel B, para se avaliar o diesel estimado e para os biocombustíveis foi utilizado uma média dos valores praticados na venda de etanol hidratado e do biodiesel comercializado nos leilões, sendo necessário inserir uma taxa de lucratividade de 10% e de ICMS (Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços) igual a praticada pelo setor de biocombustíveis (igual a 15,08%), refletindo seu valor de mercado. A diferença encontrada foi de -1% entre os preços estimados e os preços reais tanto do diesel quanto do etanol e outros biocombustíveis. Tais valores conferem consistência a metodologia aplicada. A Tabela 2 expõe os custos unitários e os preços correspondentes de cada tipo de combustível.

Em geral, 50% dos custos de produção nacional do etanol e biodiesel são representados pela aquisição da matéria-prima, variando entre 35% a 80% de participação, de acordo com as flutuações dos preços dos insumos utilizados (BRYNGEMARK, 2019; MANIATIS et al., 2018; TOLDRÁ-REIG; MORA; TOLDRÁ, 2020). Os custos de processamento e transformação representa 7,8% dos custos. Para a elaboração dos custos de produção do biodiesel, os custos elencados na Tabela 2 foram utilizados como referências.

Para estimação do custo de produção do biodiesel, o preço coletado pela ANP foi desagregado nas participações elencadas por TIMMERMAN (2006), sendo 75% do custo a aquisição de matéria-prima, 11% de custo de transporte, 7% na aquisição de produtos químicos e o restante em desvalorização, manutenção, trabalho, eletricidade e lucro. As matérias-primas foram desagregadas seguindo suas participações físicas disponíveis na análise de conjuntura dos biocombustíveis, realizado pela Empresa de Pesquisas Energéticas (EPE), sendo 76% óleo de

---

<sup>6</sup> Num processo matemático matricial, pós-multiplica uma matriz transposta de cota de mercado (*market-share*) ( $S_{67 \times 127}$ ), a partir do cálculo das participações de cada setor dentro da produção de um bem com uma matriz de uso da produção doméstica ( $U_{127 \times 67}$ ) e do valor adicionado ( $V_{3 \times 67}$ ). Ou seja, por exemplo, multiplica-se  $U_{127 \times 67}$  por  $S_{67 \times 127}$  para alcançar uma matriz de uso ( $D_{127 \times 127}$ ), organizada em produto por produto.

soja, 19% de gordura animal e 5% de outros óleos (EPE, 2016). Para o óleo de soja, tal insumo foi inserido na aquisição de soja em grãos, uma vez que a extração do óleo ocorre no processo de produção do biocombustível.

A aquisição de produtos químicos foi separada entre químicos orgânicos e inorgânicos tendo como base o relatório da Associação Brasileira de Produtores de Biodiesel do Brasil (APROBIO), que lista os produtos químicos, e suas quantidades, utilizadas na produção de biodiesel: metanol (77%), metilato de sódio (14%), ácido hidrocloreídrico (7%), soda cáustica (0,7%) e ácido fosfórico (0,3%). De modo geral, após classificação de cada um desses produtos, a divisão do custo de produtos químicos foi entre produtos orgânicos (78%) e inorgânicos (22%) (APROBIO, 2015; BORDIN, 2010).

O rendimento de produção utilizado foi de 13,3 m<sup>3</sup> de soja para produção de um m<sup>3</sup> de biodiesel, considerando que somente 60% extraído se torna óleo de soja, já que o restante se torna farinha ou casca de soja. O rendimento para o uso de óleo de soja direto foi de 1,26 m<sup>3</sup> para cada m<sup>3</sup> de biodiesel. Para os químicos, a relação de rendimento foi de 0,13 m<sup>3</sup> de químicos por m<sup>3</sup> de biodiesel, sendo divididos entre 78% de compostos orgânicos e 22% de inorgânicos (APROBIO, 2015).

O custo de produção do biodiesel foi estruturado seguindo os valores encontrados com as desagregações realizadas, para os insumos não listados, utilizou-se os valores de custo unitário do setor de “Fabricação de Biocombustíveis”, seguindo as diretrizes da literatura: Utilização de matéria-prima somente dos produtos listados pela EPE; Não utilização de açúcar, uma vez que isto está relacionado a produção de etanol; O custos alcançados para o transporte foi desagregado baseando-se no comportamento para o setor de “Fabricação de Biocombustíveis”; da mesma forma, os custos de desvalorização, manutenção e eletricidade seguiram a mesma desagregação.

Com o custo estimado, os valores de insumos importados, impostos, custos de distribuição e todas as estatísticas do valor agregado foram replicadas baseando-se na participação desses custos sobre o Valor Bruto da Produção (VBP) do setor de “Fabricação de biocombustíveis”. Com tais estimações, o preço de mercado alcançado foi normalizado com base no valor praticado pelo setor em 2015.

A Tabela 3 apresenta os custos unitários e preço do biodiesel estimado adjunto do diesel B convencional, apresentando os combustíveis utilizados no estudo. Os valores calculados pela análise apresentaram uma diferença de -1,2% e 0,4% com relação ao preço de referência presente na literatura do diesel B e biodiesel, respectivamente.

**Tabela 3 - Custos unitários e preços para Diesel e Biodiesel**

Classe	Insumos	Diesel B		Biodiesel	
		BRL/m3	Part.%	BRL/m3	Part.%
<b>Custo de matéria-prima</b>	Matéria-prima	147	6,46	906	47,25
	Produtos químicos orgânicos e inorgânicos	2	0,08	117	6,09
	Outros insumos industriais	1325	58,28	66	3,45
<b>Custos de processamento e transformação da matéria-prima</b>	Máquinas e equipamentos	0	0,00	0	0,00
	Manutenção, reparação e instalação	3	0,15	0	0,00
	Construção	0	0,01	1	0,03
	Utilidades	2	0,11	21	1,08
	Gestão de água e resíduos	0	0,00	11	0,60
<b>Comércio</b>	Comércio	18	0,77	47	2,46
<b>Trasnporte</b>	Transporte	37	1,64	227	11,85
<b>Administração</b>	P&D	1	0,05	11	0,55
	Publicidade e Marketing	2	0,07	6	0,34
	Administração	55	2,41	62	3,23
	Outros serviços	3	0,13	10	0,51
	<b>Insumos intermediários</b>	<b>1595</b>	<b>70,17</b>	<b>1484</b>	<b>77,44</b>
	Insumos importados	237	10,45	52	2,72
	Impostos de produção	224	9,83	62	3,21
	Folha de pagamento	42	1,87	266	13,87
	Renda do Capital	175	7,68	53	2,75
	<b>Produção (preço básico)</b>	<b>2273</b>	<b>100,00</b>	<b>1917</b>	<b>100,00</b>
<b>Custos de venda</b>	Imposto sobre venda	164	7,21	413	21,54
	Despesas de distribuição	357	15,73	356	18,56
<b>Preços ao consumidor</b>	Preço (US\$/L) <sup>a</sup>	0,716		0,688	
	Preço (BRL/L)	2,794		2,686	

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da SCN do IBGE (2016), TIMMERMAN (2006), BORDIN (2010), PETERSON SOLUTIONS (2015), EPE (2016), MANIATIS et al. (2018).

Nota: <sup>a</sup>preço convertido a partir da taxa de câmbio anual do Banco Central do Brasil para 2015.

Com a estrutura de custos, foi necessário avaliar a demanda de ambos os produtos, compreendendo qual setor e em qual magnitude os insumos serão utilizados para definição do banco de dados.

### 3.3.2 Demanda do Biodiesel

A estimação da demanda do biodiesel recorreu ao SCA de 2015 do IBGE. O SCA, a partir da tabela híbrida, demonstra os fluxos de comércio do biodiesel para o consumidor intermediário e final, dividindo a economia brasileira em 10 setores e os componentes da demanda final. Além dos valores dos fluxos de comércio em R\$ milhão, o SCA também possui os fluxos em

Tonelada Equivalente de Petróleo (*tep*), unidade com base na energia gerada pela combustão de uma tonelada de petróleo padrão.

Pelos dados do SCA, a produção interna do biodiesel totalizou R\$ 7.619 milhões, sendo R\$ 30 milhões voltados à exportação, R\$ 308 milhões ao consumo de estoques do ano anterior e R\$ 7.897 milhões voltada a cadeia produtiva nacional, todos em valores básicos. O valor utilizado para calcula da demanda por biodiesel no diesel B corresponde aos R\$ 7.897 milhões, visto que o biocombustível não é consumido internamente de forma direta, sendo necessário mistura com o diesel fóssil para formação do diesel B.

Utilizando os valores em *tep*, com auxílio dos fatores de conversão disponíveis no anuário estatístico da ANP, obteve-se os valores do biodiesel em m<sup>3</sup> comercializados para cada setor. O volume de biodiesel voltado para o consumo intermediário foi de 3.946 mil m<sup>3</sup> e, comparado ao valor divulgado pela ANP, possui diferença de 0,28%, conferindo consistência entre os bancos de dados utilizados. Tal divergência pode ser causada pela contabilidade da ANP, que consta como produção ou consumo, não considerando variações de estoque.

Os dados presentes na MIP 2015 para o consumo, a preços básicos, do produto “Diesel – biodiesel” foram agregados na mesma estrutura do SCA, utilizando a agregação setorial seguindo as notas metodológicas disponibilizadas pelo IBGE, como demonstrado no Quadro 4. Com o volume calculado via conversão de *tep* para o biodiesel com os dados do SCA, o volume total de diesel B foi estimado como sendo o 100% referente aos 7% do volume de biodiesel estimado, sendo estimado 56.365 mil m<sup>3</sup> de diesel B demandados internamente. Realizando a divisão entre o valor total do “Diesel – biodiesel”, em R\$ milhões, sobre o volume estimado de diesel B, estimou-se um preço médio. Utilizando tal valor, o volume consumido de diesel B por setor foi estimado, dividindo o valor em R\$ milhões do produto “Diesel – biodiesel” pelo preço médio, sendo a parcela de biodiesel o volume já estimado pela conversão em *tep* para m<sup>3</sup> do SCA e o restante sendo diesel fóssil.

Estimado o volume consumido por cada setor de cada um dos componentes do diesel B, o valor apresentado na MIP em R\$ milhões de consumo setorial do “Diesel – biodiesel” foi dividido, encontrado o preço setorial de cada componente. Para o biodiesel, o valor transacionado foi referente a 7% ao valor informado no produto “Diesel – biodiesel” e para o diesel fóssil foram os 93% restantes.

Com os volumes e os preços setoriais do biodiesel (denominado como “Mbiodiesel” pois é o consumo de biodiesel referente a parcela presente no diesel B) e do diesel fóssil (“Mdiesel”) presentes no diesel B, foi realizada a reestruturação da demanda estimada na agregação do SCA para a divisão setorial da MIP 2015. O volume foi realocado nos setores da MIP 2015 captando o valor estimado setorialmente na ótica do SCA e distribuído baseando-se na participação do setor MIP dentro do setor SCA referente ao valor da demanda, em R\$ milhões, do produto “Diesel – biodiesel”. Seguindo a mesma forma, os volumes de “Mbiodiesel” foram redistribuídos nos setores da MIP 2015, e os valores de “Mdiesel” foram calculados como sendo o valor restante.

Utilizando-se dos volumes encontrados, para o “Mbiodiesel” e “Mdiesel”, foi realizada a multiplicação dos volumes pelos preços médios por setores encontrado anteriormente. Desta forma, a demanda de diesel B, representada pelo produto “Diesel – biodiesel”, foi desagregada nos componentes “Mbiodiesel” e “Mdiesel”, podendo ser avaliada quanto alterações as taxas de misturas. Utilizando da metodologia proposta, os valores encontrados estão de acordo com aqueles apresentados na MIP 2015, sendo consistente com os valores originais.

### Quadro 4 – Relação da classificação do SCA e dos setores da MIP

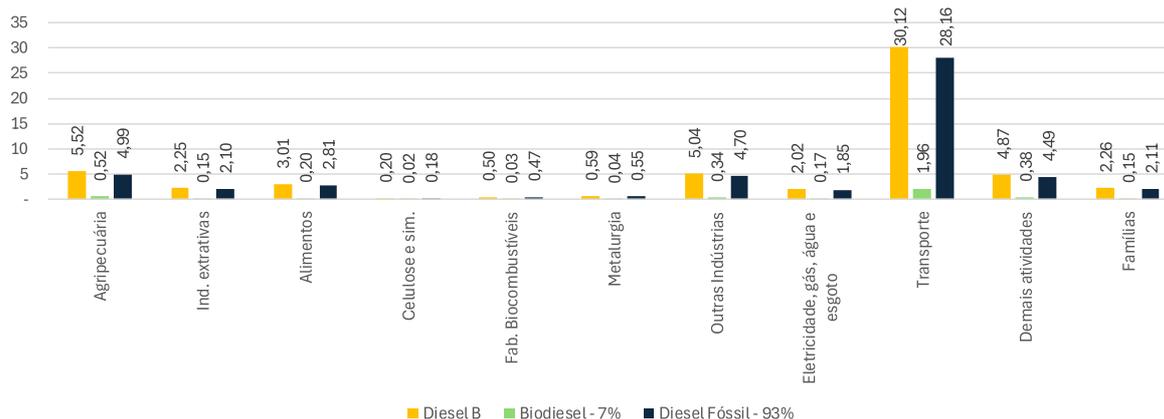
Classificação do SCA	Classificação da MIP
Agricultura, pecuária, produção florestal, pesca e aquicultura	Agricultura, inclusive o apoio à agricultura e a pós-colheita Pecuária, inclusive o apoio à pecuária Produção florestal; pesca e aquicultura
Indústrias extrativas	Extração de carvão mineral e de minerais não metálicos Extração de petróleo e gás, inclusive as atividades de apoio Extração de minério de ferro, inclusive beneficiamentos e a aglomeração Extração de minerais metálicos não ferrosos, inclusive beneficiamentos
Alimentos e bebidas	Abate e produtos de carne, inclusive os produtos do laticínio e da pesca Fabricação e refino de açúcar Outros produtos alimentares Fabricação de bebidas
Fabricação de celulose, papel e produtos de papel	Fabricação de celulose, papel e produtos de papel
Fabricação de biocombustíveis	Fabricação de biocombustíveis
Metalurgia e fabricação de produtos de metal, exceto máquinas e equipamentos	Produção de ferro gusa/ferroligas, siderurgia e tubos de aço sem costura Metalurgia de metais não ferrosos e a fundição de metais Fabricação de produtos de metal, exceto máquinas e equipamentos
Outras Indústrias	Fabricação de produtos do fumo Fabricação de produtos têxteis Confecção de artefatos do vestuário e acessórios Fabricação de calçados e de artefatos de couro Fabricação de produtos da madeira Impressão e reprodução de gravações Refino de petróleo e coquerias Fabricação de químicos orgânicos e inorgânicos, resinas e elastômeros Fabricação de defensivos, desinfestantes, tintas e químicos diversos Fabricação de produtos de limpeza, cosméticos/perfumaria e higiene pessoal Fabricação de produtos farmoquímicos e farmacêuticos Fabricação de produtos de borracha e de material plástico Fabricação de produtos de minerais não metálicos Fabricação de equipamentos de informática, produtos eletrônicos e ópticos Fabricação de máquinas e equipamentos elétricos Fabricação de máquinas e equipamentos mecânicos Fabricação de automóveis, caminhões e ônibus, exceto peças Fabricação de peças e acessórios para veículos automotores Fabricação de outros equipamentos de transporte, exceto veículos automotores Fabricação de móveis e de produtos de indústrias diversas Manutenção, reparação e instalação de máquinas e equipamentos Construção
Eletricidade, gás, água e esgoto	Energia elétrica, gás natural e outras utilidades Água, esgoto e gestão de resíduos
Transporte	Transporte terrestre Transporte aquaviário Transporte aéreo Armazenamento, atividades auxiliares dos transportes e correio
Demais atividades	Comércio por atacado e varejo Alojamento Alimentação Edição e edição integrada à impressão Atividades de televisão, rádio, cinema e gravação/edição de som e imagem Telecomunicações Desenvolvimento de sistemas e outros serviços de informação Intermediação financeira, seguros e previdência complementar Atividades imobiliárias Atividades jurídicas, contábeis, consultoria e sedes de empresas Serviços de arquitetura, engenharia, testes/análises técnicas e P & D Outras atividades profissionais, científicas e técnicas Aluguéis não imobiliários e gestão de ativos de propriedade intelectual Outras atividades administrativas e serviços complementares Atividades de vigilância, segurança e investigação Administração pública, defesa e seguridade social Educação pública Educação privada Saúde pública Saúde privada Atividades artísticas, criativas e de espetáculos Organizações associativas e outros serviços pessoais Serviços domésticos
Famílias	Consumo das famílias
Acumulação	Formação bruta de capital fixo Variação de estoque
Exportações	Exportação de bens e serviços

Fonte: Elaboração própria a partir das Notas Técnicas do IBGE para Contas econômicas ambientais de energia : produtos da biomassa (2021)

Com a desagregação dos valores da demanda de diesel B e seus componentes, a Figura 13 apresenta os valores encontrados. A demanda por diesel B se concentra principalmente no setor

de transporte, representando 53,4% do total consumido, e no setor da agropecuária, representando 9,8%, sendo consumido por ambos os setores 35,6 milhões de m<sup>3</sup> de diesel B, 63% do total. Para o biodiesel, a concentração é similar, tendo seu consumo representado por 62,9% de ambos os setores, sendo o agropecuário referente a 13,2% do total e 49,7% do transporte, sendo 97,3% deste valor referente ao transporte terrestre.

**Figura 14 - Demanda setorial de diesel B e seus componentes (milhões de m<sup>3</sup>)**



Fonte: Elaboração própria a partir do Sistema de Contas econômicas Ambientais e da MIP 2015 (IBGE)

Com a demanda por biodiesel ("biodiesel") detalhada entre exportação, estoque e produção de diesel B, assim como o consumo de biodiesel ("Mbiodiesel") e de diesel fóssil ("Mdiesel") por cada um dos setores consumidores do diesel B, essa desagregação permite modificar a proporção de mistura presente no diesel B ao longo dos anos.

### 3.3.3 Dados de Componente Energético e Emissões

O uso dos biocombustíveis tem relação com o cumprimento das metas de redução de carbono, sendo necessário a coleta dos parâmetros de intensidade de emissões de cada um deles na literatura aplicada. Para o Diesel e Biodiesel, os valores de referências utilizados foram os mesmos dos praticados pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE). O biodiesel está em conformidade com as premissas estabelecidas nesta dissertação, sendo produzido a partir de óleos e gorduras vegetais e animais, tendo a soja como principal matéria-prima (EPE, 2022b; BOUSSO; BOSE, 2024).

A intensidade de carbono de cada um dos combustíveis avaliados está presente na Tabela 4, apresentando também o conteúdo energético específico, a variação da emissão do

biocombustível em relação ao diesel fóssil, o valor da tonelada equivalente de petróleo (*tep*) de cada um e a taxa de substituição entre o diesel e o biodiesel para a redução de 1% das emissões.

**Tabela 4 – Indicadores de emissão, conteúdo energético e tonelada equivalente de petróleo do diesel fóssil e do biodiesel**

Combustíveis	Unidade	Diesel	Biodiesel
Densidade	Kg/m <sup>3</sup>	840,00	880,00
Conteúdo energético específico	MJ/m <sup>3</sup>	0,05	0,04
Emissão total de GEE	TonCO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup>	3,07	0,80
Tonelada Equivalente de Petróleo	tep/m <sup>3</sup>	0,85	0,79
Var.% das emissões em relação à Diesel	%	-	-73,90
% Bio na mistura para redução de 1% da emissão líquida de CO <sub>2</sub> e	% de blend	-	1,35

Fonte: Elaboração Própria a partir dos dados da EPE (2022)

O biodiesel é o que apresenta maior densidade e menor poder energético, emitindo 73,9% menos que o diesel fóssil a cada m<sup>3</sup> queimado. O cálculo da substituição do combustível fóssil com relação ao biocombustível é definido como:

$$Blend_{\%} = \frac{GEE_{DIESEL} * (\frac{Meta}{100})}{Dif * (\frac{Meta}{100})} \quad (10)$$

em que  $GEE_{DIESEL}$  representa o nível de emissão total de GEE gerado pela queima de diesel fóssil;  $Meta$  corresponde a meta percentual de redução de GEE;  $Dif$  refere-se à diferença de emissão de GEE entre diesel fóssil e o biocombustível. Logo, no caso do biodiesel, a equação (10) apresentaria o seguinte valor para atingir uma redução de 1% das emissões líquidas de GEE:

$$Blend_{\%} = \frac{GEE_{DIESEL} * (\frac{Meta}{100})}{Dif * (\frac{Meta}{100})} = \frac{3,07 * (0,01)}{(3,07 - 0,80) * (0,01)} = 1,35 \quad (11)$$

Desse modo, para a redução de 1% das emissões de GEE no consumo de diesel fóssil, é necessário um *blend* de 1,35% de biodiesel no diesel B. Porém, com a saída de diesel fóssil, ocorre uma redução no nível energético do diesel B, tendo que aumentar o consumo do combustível para manter o conteúdo energético total.

Tendo como referências os *blend* previstos pelo Programa Combustível do Futuro, os aumentos na participação de biodiesel acarretam uma redução do poder energético, sendo necessário

aumentar o consumo de diesel B para manter os padrões de 2015. Os aumentos necessários são apresentados na Tabela 5.

**Tabela 5 – Conteúdo Energético do Diesel B com os blends de Biodiesel previstos pelo Programa Combustível do Futuro**

Ano	Diesel	Biodiesel	Conteúdo energético Diesel B (MJ/m <sup>3</sup> )	Aumento de consumo (%)
2015	93%	7%	0,0498	-
2016	93%	7%	0,0498	-
2017	92%	8%	0,0498	0,13%
2018	90%	10%	0,0496	0,40%
2019	90%	11%	0,0496	0,53%
2020	89%	11%	0,0495	0,61%
2021	88%	12%	0,0494	0,79%
2022	90%	10%	0,0496	0,46%
2023	89%	12%	0,0495	0,68%
2024	86%	14%	0,0493	1,07%
2025	85%	15%	0,0492	1,22%
2026	84%	16%	0,0491	1,38%
2027	83%	17%	0,0491	1,53%
2028	82%	18%	0,0490	1,69%
2029	81%	19%	0,0489	1,85%
2030	80%	20%	0,0488	2,00%
2031	80%	20%	0,0488	2,00%
2032	80%	20%	0,0488	2,00%
2033	80%	20%	0,0488	2,00%
2034	80%	20%	0,0488	2,00%
2035	80%	20%	0,0488	2,00%
2036	80%	20%	0,0488	2,00%
2037	80%	20%	0,0488	2,00%

Fonte: Elaboração Própria baseado na PL 4196/2023 e nos dados da EPE (2022)

Com o aumento do biodiesel no diesel B, é necessário um aumento do consumo de diesel B de 2% no ano de 2030 para se obter o mesmo conteúdo energético de 2015. Caso o Conselho Nacional de Políticas Energéticas (CNPE) libere a mistura de 25%, o consumo aumentará 2,8%. Com a inserção do banco de dados contendo a desagregação do Diesel B em biodiesel e diesel fóssil, o modelo BIM-RD foi utilizado para realização dos choques e geração os cenários.

## 4 ANÁLISE DE POLÍTICAS

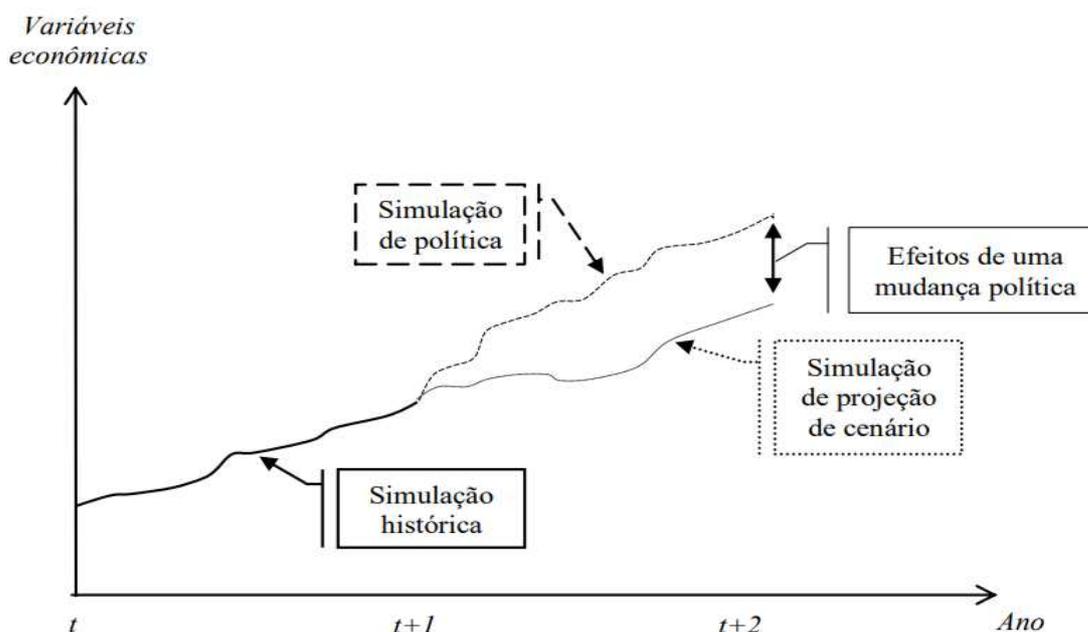
Esta dissertação analisa os efeitos do aumento de *blend* do biodiesel no diesel B programados na política Combustível do Futuro a partir de três perspectivas distintas baseando-se no cenário de referência para economia nacional até 2040. Na primeira subseção, é apresentado o cenário de referência, as variáveis utilizadas para atualização dos indicadores econômicos e o fechamento realizado no modelo. Posteriormente, as simulações são apresentadas e os resultados são apresentados, inicialmente sobre as variáveis voltadas a produção de diesel B e seus impactos nas emissões e no componente energético geral; em seguida há as alterações macroeconômicas, como PIB, renda, emprego e investimento, devido cenários propostos; seguido do impacto setorial e, por fim, o impacto nas famílias. Essa estratégia possibilita analisar sobre como essa política mais impacta a economia brasileira de forma mais abrangente. Os resultados serão apresentados como variações percentuais com relação ao cenário base definido na subseção anterior.

### 4.1 Cenário de simulação

A especificação do fechamento, em modelos ECG, é um elemento chave que define o ambiente econômico da simulação em questão (DIXON; RIMMER, 2002). Em modelos de EGC, normalmente, o número de equações presentes é menor que de variáveis, fazendo com que algumas variáveis tenham que ser exógenas, sendo estas as que recebem os choques propostos em cada um dos cenários, assegurando solução para todo o sistema. Os modelos de EGC de dinâmica recursiva possuem 4 tipos possíveis de fechamentos: histórico; de decomposição; prospectivo e de política (PROQUE, 2019; BETARELLI JUNIOR, 2013).

A Figura 12 demonstra como o efeito dos choques são apresentados em modelos de EGC dinâmico. A primeira sequência é denominada *baseline* ou *business-as-usual*, não havendo alterações nas variáveis, sendo composta somente por informações já disponíveis (informação histórica) e por previsão básica (*forecast simulation*), sendo considerado o cenário base. A próxima sequência incorpora as alterações projetadas pela política, sendo o cenário que incorpora o choque político proposto. Desta forma, as diferenças entre o cenário com a implementação da política e o cenário de referência são os efeitos causados pela implementação da política em análise aumento dos biocombustíveis na economia (DIXON; RIMMER, 2002).

**Figura 15 - Simulações em modelos de EGC dinâmicos**



Fonte: Betarelli Junior (2013)

A simulação histórica tem seus coeficientes alterados pelo comportamento observado no ano (t) para o próximo ano (t+1). Quando não há mais dados observados, como em 2024 adiante nesta dissertação, realiza-se a simulação de cenário, apresentando uma imagem futura da economia. Desta forma, a simulação histórica atualiza o banco de dados, situado originalmente em 2015, para representar os desenvolvimentos e relações recentes da economia, enquanto a simulação de cenários avalia os efeitos dos choques em períodos futuros, observando os desdobramentos de tais alterações com relação ao *baseline* (PROQUE, 2019; BETARELLI JUNIOR, 2013). No método de soluções recursivas, a solução de cada período é condicionada ao período atual e aos períodos anteriores, partindo a modelagem de expectativas estáticas (adaptativas) (DIXON; RIMMER, 2002; PROQUE, 2019).

Como os modelos de EGC utilizam preços relativos, é necessário o estabelecimento de um preço base para ser o numerário do modelo. O preço base utilizado foi a taxa de câmbio, sendo considerada variável exógena em todas as simulações, tendo todos os outros preços nominais medidas relacionadas a este numerário.

O Quadro 4 apresenta as variáveis utilizadas em cada uma das estimações realizadas, nomeando aquelas que sofrem o *swap*, quando a variável é exógena em determinado cenário de simulação e passa a ser endógena em outro fechamento. As variáveis que sofrem choques nas estimações

históricas devido seus valores observados são o PIB, o investimento, consumo das famílias, índice de volume exportado, consumo do governo, o emprego agregado e a demanda por cada um dos componentes do diesel B das famílias e dos setores (biodiesel e diesel fóssil). Cada uma dessas variáveis tem suas contrapartidas endógenas. No fechamento das políticas, as variáveis de demanda por diesel B serão trocadas (*swap*) por seus pares exógenos de acordo com cada simulação, conforme resumido no Quadro 5.

Quadro 5 - Variáveis no modelo e tipo de fechamento

		Variáveis macroeconômicas	
Fechamento		Exógenas	Endógenas
Simulação Histórica			
Baseline	Produto Interno Bruno ( $x0gdpxp$ )		Produtividade geral dos fatores primários ( $aprimtot$ )
	Investimento real agregado ( $x2tot_i$ )		Deslocamento do investimento ( $invslack$ )
	Consumo das famílias ( $x3toth$ )		Deslocamento do consumo das famílias ( $f3toth$ )
	Índice do volume de exportações ( $x4tot$ )		Deslocamento na demanda por exportações ( $f4qtot$ )
	Demanda agregada real do governo ( $x5tot$ )		Deslocamento da demanda do governo ( $f5tot$ )
	Emprego agregado ( $employ_i$ )		Deslocamento que aciona o mecanismo de juste salarial ( $delwage$ )
		Demanda intermediária do Diesel B ( $x1$ "Mbiodiesel" e "Mdiesel")	
	Demanda das famílias de Diesel B ( $x3$ "Mbiodiesel" e "Mdiesel")		Alteração de demanda das famílias de Diesel B ( $a3$ "Mbiodiesel" e "Mdiesel")
Baseline ReRun	Produtividade geral dos fatores primários ( $aprimtot$ )		Produto Interno Bruno ( $x0gdpxp$ )
	Deslocamento do investimento ( $invslack$ )		Investimento real agregado ( $x2tot_i$ )
	Deslocamento do consumo das famílias ( $f3toth$ )		Consumo das famílias ( $x3toth$ )
	Deslocamento na demanda por exportações ( $f4qtot$ )		Índice do volume de exportações ( $x4tot$ )
	Deslocamento da demanda do governo ( $f5tot$ )		Demanda agregada real do governo ( $x5tot$ )
	Deslocamento que aciona o mecanismo de juste salarial ( $delwage$ )		Emprego agregado ( $employ_i$ )
		Alteração tecnológica na demanda intermediária do Diesel B ( $a1com$ "Mbiodiesel" e "Mdiesel")	
	Alteração de demanda das famílias de Diesel B ( $a3$ "Mbiodiesel" e "Mdiesel")		Demanda das famílias de Diesel B ( $x3$ "Mbiodiesel" e "Mdiesel")
Simulação de política			
	Demanda intermediária do Diesel B ( $x1$ "Mbiodiesel" e "Mdiesel")		Demanda das famílias de Diesel B ( $x3$ "Mbiodiesel" e "Mdiesel")

Fonte: Elaboração própria

O ambiente econômico de referência (*business-as-usual* - BAU) é estruturado tendo como base os valores observados dos principais componentes da demanda final, utilizando dos valores reais até 2023 e suas previsões até 2050. Para a análise proposta, foi utilizado o Valor Bruto da Produção (VBP) do diesel B na economia brasileira, melhor adequando as simulações históricas aos valores reais.

Desta forma, a Tabela 10 apresenta as variações anuais, em percentual (%) das principais variáveis macroeconômicas (Produto Interno Bruto (PIB) real, investimento, consumo das famílias, demandas do governo, volume de exportação e emprego agregado). Desta forma, o

cenário de referência tem como base os valores prospectivos do crescimento do PIB, do emprego e da população, abrangendo o período de 2024 a 2050.

Tabela 6 - Variações reais (%) dos principais indicadores econômicos

Indicadores econômicos	Observado									Prospectivo <sup>a</sup>
	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2024-2040 (a.a.)
PIB	-3,3	1,3	1,8	1,2	-3,3	4,8	3,0	3,2	3,3	2,2
Consumo das famílias	-3,8	2,0	2,4	2,6	-4,6	3,0	4,2	3,2	5,1	-
Consumo do governo	0,2	-0,7	0,8	-0,4	-3,7	3,5	2,1	3,8	2,1	-
Exportações	0,9	4,9	4,1	-2,6	-2,3	4,4	5,7	8,9	4,1	-
Investimentos	-12,1	-2,6	5,2	4,0	-1,8	12,9	1,1	-3,0	6,6	-
Emprego Nacional	-1,6	1,3	2,7	1,6	-6,4	5,9	3,8	1,6	2,8	-
Emprego Tendencial	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2
População	0,8	0,7	0,7	0,6	0,7	0,6	0,5	0,4	0,4	0,2
VBP Diesel B	-5,1	1,8	2,1	3,0	0,3	8,7	-	-	-	-

Fonte: Elaboração própria a partir de IBGE (2015, 2022, 2022c, 2024c, 2025).

Nota: <sup>a</sup> Valores ocultos ("-") denotam que as variáveis são endógenas no período.

Entre 2016 a 2022, as variações aplicadas são aquelas observadas pelas informações estatísticas oriundas do Sistema de Contas Nacionais (SCN) do IBGE (2022c). Para 2023 e 2024, os componentes irão variar seguindo o comportamento dos do Sistema de Contas Nacionais Trimestrais (SCNT) do próprio IBGE (2024c). O emprego nacional acompanha os dados do SNC e da Pesquisa Nacional de Amostra de Domicílios (PNAD) do IBGE (2015, 2022c) tendo o emprego tendencial seguindo o comportamento estacionário da economia de 2,2%. O valor da produção deflacionado do diesel B, disponibilizado pelo SCN do IBGE (2022) apresenta crescimento desde 2017, ocorrendo uma retração no crescimento no ano pandêmico, com crescimento de 0,3%, apresentando maior crescimento no último ano disponível de 8,7%, permanecendo endógeno após 2021.

O cenário BAU para 2024 a 2040 é projetado utilizando estimativas das variáveis observadas e respeitando a estabilidade macroeconômica, tendo variação endógena entre renda e consumo das famílias. O PIB apresenta taxa de crescimento homogêneo (2,2% a.a.), tendo os gastos do governo evoluindo 70% da taxa de arrecadação real de imposto entre 2025 e 2040, seguindo parcialmente o arcabouço fiscal do governo. A população cresce a taxa de 0,2% a.a., mesma apresentada nos últimos dados disponíveis pelas projeções do IBGE até 2070 combinadas com as apresentadas pelo SCN (IBGE, 2022, 2025).

## 4.2 Análise de política

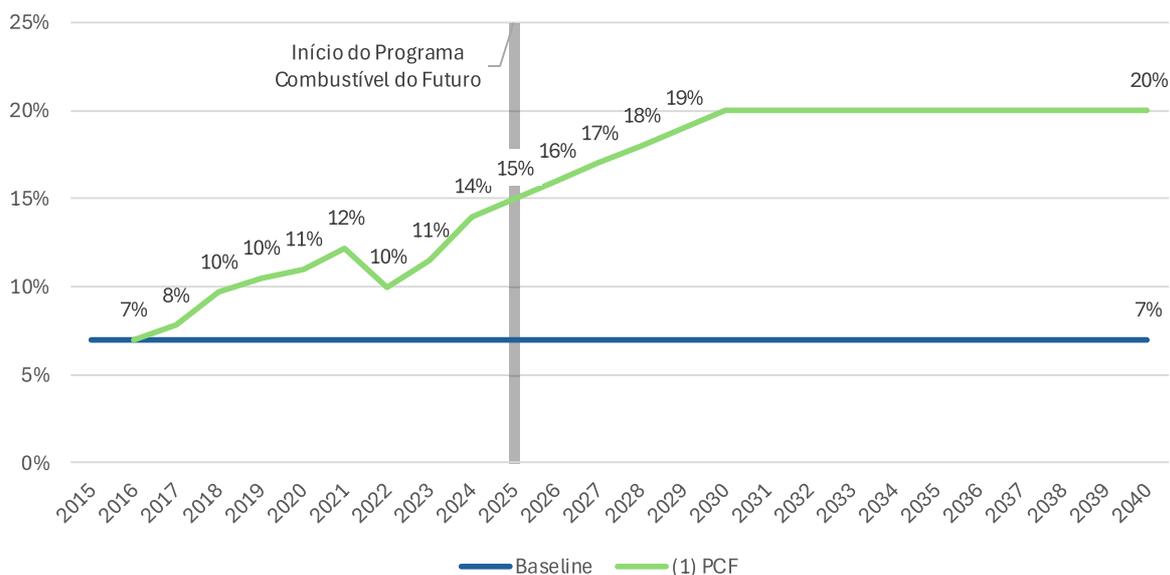
Em posse das variáveis que estruturam o cenário de *baseline*, as variáveis macroeconômicas são endogenizadas – consumo das famílias, consumo do governo, exportações, investimentos e emprego nacional – para que reflitam as flutuações geradas pelos choques políticos. A partir do modelo estruturado, o PCF foi modelado. Apesar do diesel verde também estar contemplado pela política, foram realizados esforços para sua inclusão, porém, visto a falta de disponibilidade da matéria-prima e a incerteza quanto a implementação dos produtores, seus acréscimos ao diesel B não foram avaliados, sendo necessário acompanhar a estruturação do novo mercado no Brasil, realizando trabalhos aplicados fidedignos a realidade do novo setor.

Tendo como base a política “Combustível do Futuro” (PL n.4196/2023), as simulações consideram três cenários:

1. *Blend* proposto pelo PCF no diesel B:
2. *Blend* proposto pelo PCF com manutenção do conteúdo energético de 2015:
3. Aumento da eficiência energética do biodiesel de 5% até 2040.

Para inserção dos choques, a projeção de *baseline* foi estimada, apresentando os volumes produzidos de diesel B até 2040 com a mesma taxa de *blend* do ano base do modelo, de 7% de biodiesel como praticado em 2015. Com os valores estimados, aplicou-se os percentuais de *blend* realizados até 2024 e os previstos para os anos de 2025 a 2030 pelo PCF, finalizando a projeção em 2040 de 20% de mistura, gerando as variações no *blend* como apresentado na Figura 14. Utilizando desses volumes, foi captado a taxa de variação ano a ano e inserida no modelo como choque, sendo esse os resultados da primeira simulação (C1), denominada como “(C1) PCF”.

**Figura 16 – Variação da taxa de *blend* no cenário base e no cenário (1) PCF (% de biodiesel no diesel B)**



Fonte: Elaboração Própria baseado na PL 4196/2023

A segunda simulação (C2), denominada “(C2) PCF + Rend.”, utiliza do baseline como projeção do volume demandado de cada componente do diesel B, porém, multiplicando o volume pelo fator energética de cada combustível, presente na Tabela 4, obteve-se o conteúdo energético total utilizando do blend de 7%. Como o blend se altera durante o tempo, é necessário maior consumo do diesel B para manter o valor energético, aumentando o consumo projetado pelo modelo ano a ano nos percentuais apresentados na Tabela 5.

A terceira simulação (C3) considera um aumento de eficiência total acumulado de 5% até 2040, correspondendo a uma variação anual de 0,2%, impulsionada pela introdução de novas tecnologias. Este choque está associado ao know-how disponível no país e ao início da produção dos novos biocombustíveis propostos pelo PCF, resultando em ganhos indiretos para a produção nacional de biodiesel. Entre as diretrizes do PCF voltadas à promoção da mobilidade sustentável, destaca-se a integração de políticas públicas (e.g. Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores, Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular), cujo objetivo é induzir ganhos de eficiência energética na produção de combustíveis líquidos e em sua utilização. O valor de 5% foi escolhido como forma de avaliar o comportamento da economia com tais melhorias através de uma pequena melhoria na eficiência energética do diesel B. Os avanços têm ocorrido prioritariamente na fabricação de veículos e no processo de

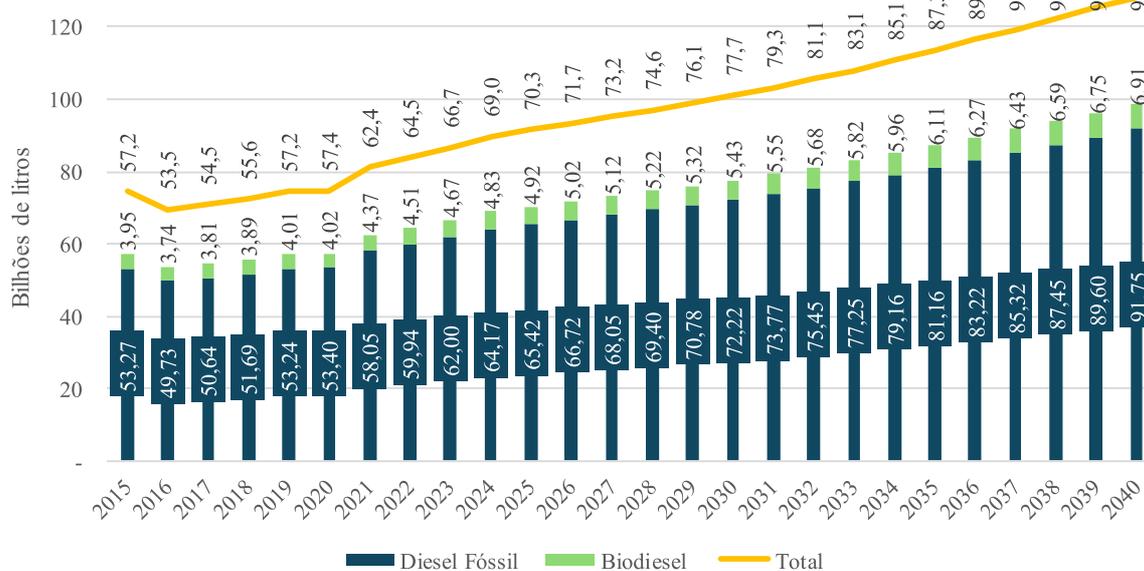
combustão (EPE, 2024b). No cenário em questão, a melhoria será observada na produção do diesel B.

De modo geral, os choques foram inseridos como aumentos percentuais na demanda ano a ano dos produtos “*Mbiodiesel*” e “*Mdiesel*”, os dois produtos presentes na mistura para produção de diesel B. Tais choques foram realizados com uso do modelo de Equilíbrio Geral Computável BIM-RD, apresentando os resultados ao longo do tempo. Como ambas as políticas ocorrem ao longo do tempo, as análises realizadas com o módulo de dinâmica recursiva responderam questões de curto e longo prazo.

### 4.3 Resultados do Diesel B

No cenário base, a produção de diesel B apresentou crescimento de 1,9% ao ano, entre 2015 e 2023, estatística próxima ao realizado de 1,7% ao ano. Como o modelo tem como base o ano de 2015, a proximidade das taxas reais, apresentadas pelos dados da ANP, com os valores apontados pelo modelo demonstram consistência dos cenários avaliados. Após o ano de 2023 até 2040, o cenário BAU da produção de diesel B apresentaria crescimento de 2,26%, similar ao do PIB inserido de 2,2% ao ano, mantendo a taxa de *blend* de 7%, como apresentado pela Figura 15.

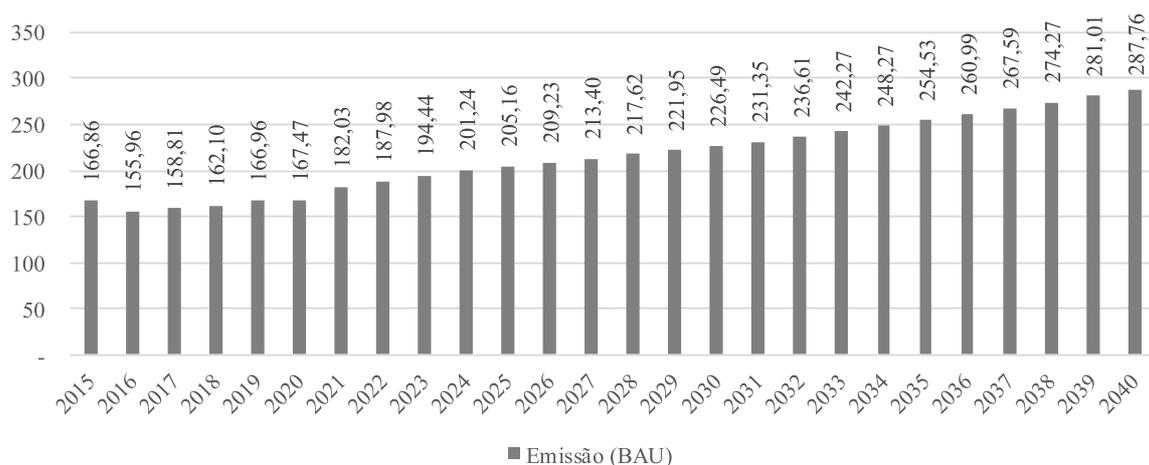
**Figura 17 - Produção de Diesel B e seus componentes no cenário BAU (Bilhões de litros)**



Fonte: Resultados da pesquisa

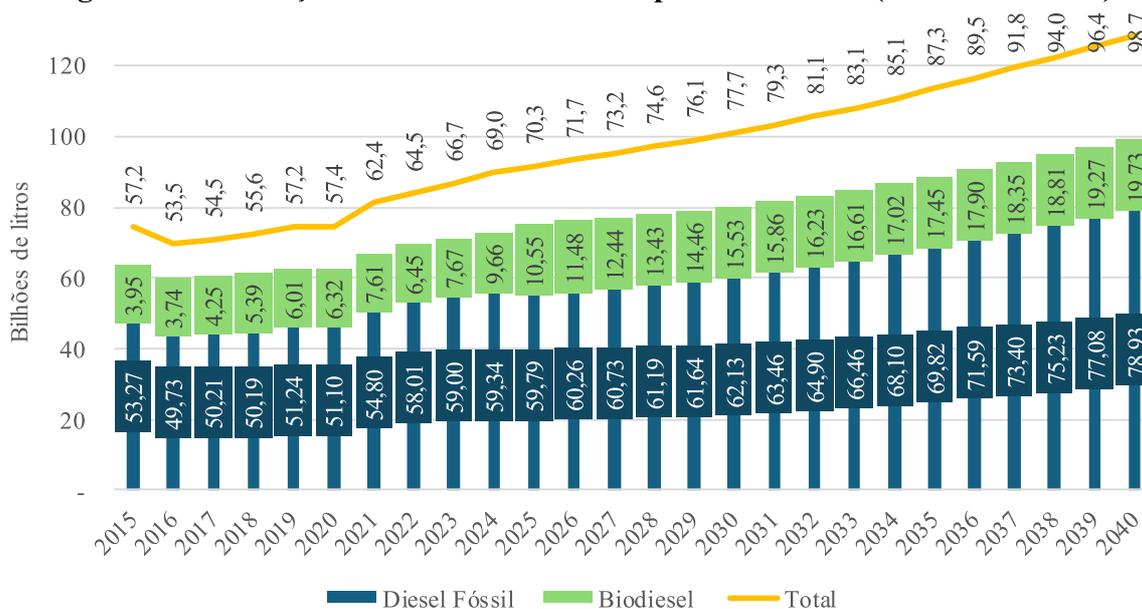
Mantendo-se constante a participação do biodiesel, o diesel B produzido em 2040 seria 72% superior ao ano de 2015, atingindo 98,7 bilhões de litros, sendo 6,9 bilhões de litros de biodiesel. Tal volume, considerando seus fatores de emissão presentes na Tabela 4, emite um total de 5.622 milhões de toneladas de CO<sup>2</sup> equivalente entre 2015 e 2040, crescendo 2,2% ao ano, como apresentado na Figura 16. Em 2040, as emissões atingiriam a marca de 287,76 milhões de TonCO<sup>2</sup>Eq., um aumento de 72,2% quando comparado as emissões de 2015.

**Figura 18 - Emissões anuais do diesel B no cenário BAU (milhões de Ton CO<sup>2</sup>Eq)**



Fonte: Resultados da pesquisa

Com as políticas de *blend* implementadas entre 2015 e 2030, a participação do biodiesel aumenta de 7% em 2015 para 20% em 2030, permanecendo assim até 2040. Na Figura 17 está o valor produzido de diesel B considerando os aumentos da mistura, como avaliado no primeiro choque (1).

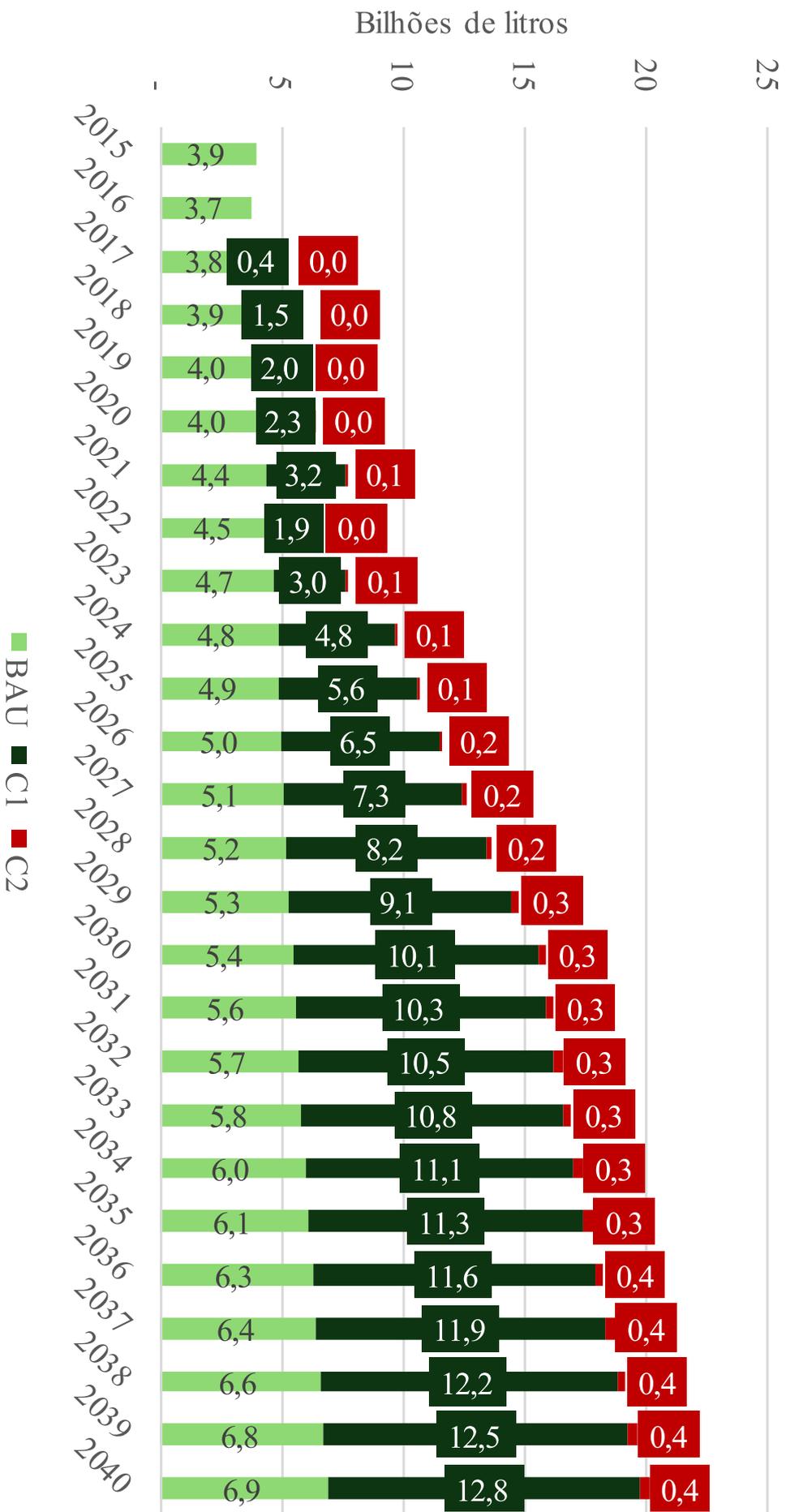
**Figura 19 - Produção de Diesel B e seus componentes no C1 (Bilhões de litros)**

Fonte: Resultados da pesquisa

Observando as Figuras 17 e 19, o total produzido de diesel B no país é o mesmo, variando somente a taxa de *blend*, como proposto para análise da política. Comparando os valores de biodiesel entre 2015 e 2023 com os valores da produção real, há diferença de 2% entre os valores reais e os estimados.

Com o aumento da taxa de mistura, a produção de biodiesel no país apresenta valor 186% superior ao projetado pelo cenário base em 2030, possuindo uma diferença de 10,1 bilhões de litros, demonstrando o impacto das políticas de *blend* para estímulo além da tendência do setor. Considerando a queda energética pelo aumento de biodiesel na mistura, o volume de diesel B necessário para manter o conteúdo energético aos patamares do *blend* de 2015 até 2040 representa um acréscimo de 1,66% na produção acumulada, sendo necessário um acréscimo de 5,18 bilhões de litros no cenário base no período avaliado.

A Figura 20 ilustra a evolução do volume de biodiesel utilizado para mistura no diesel B produzidos para atender a taxa de 7% (BAU), as novas taxas de *blend* (C1) e o volume acrescido para manutenção energética aos patamares da mistura em 7% mesmo com variação de *blend* (C2).



Fonte: Resultados da pesquisa

Figura 20 – Produção de biodiesel nos cenários BAU, C1 e C2 (bilhões de litros)

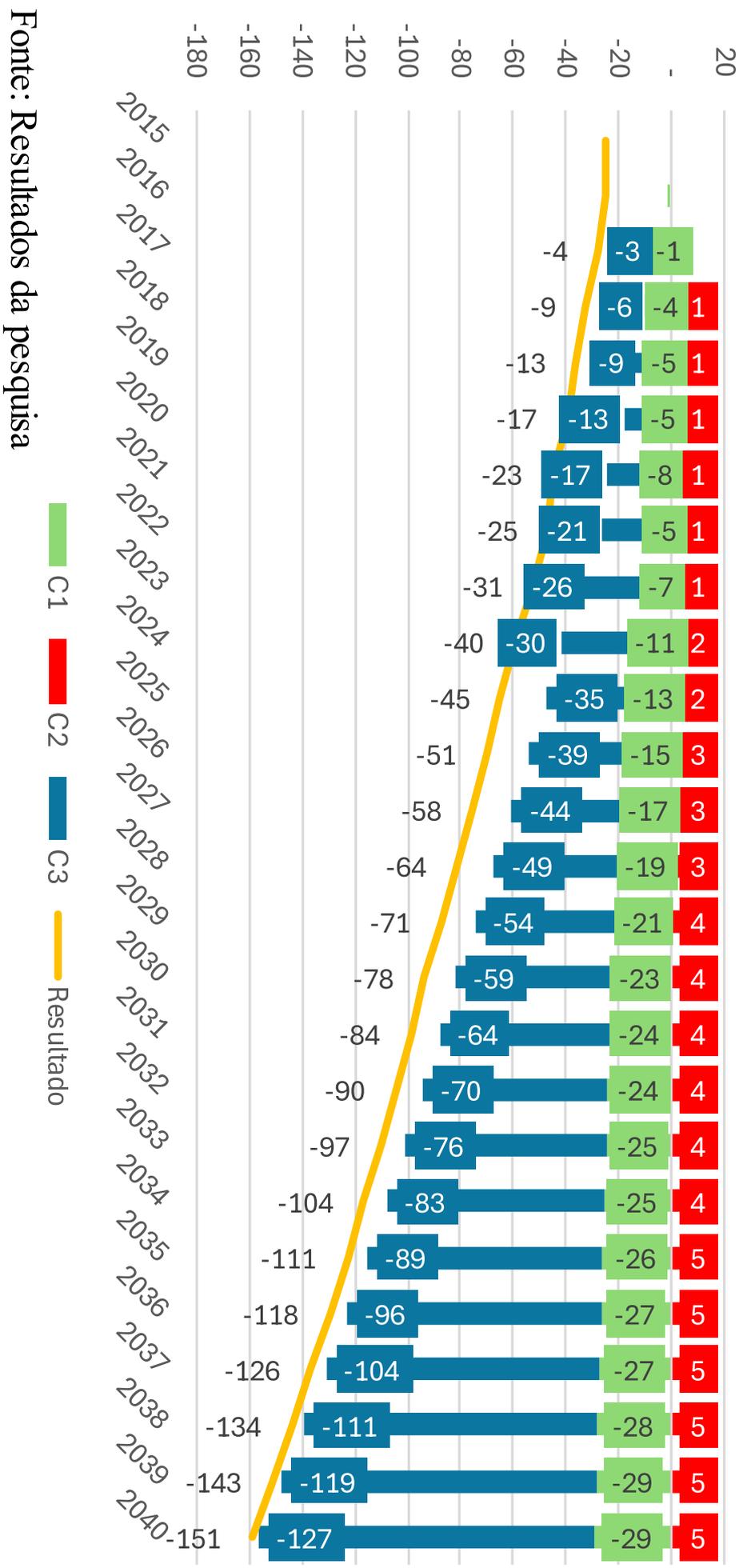
O volume referente ao C1 é a diferença entre o volume apontado para o cenário com aumento da taxa de blend e o volume apontado pelo cenário BAU, resultando no acréscimo de produção decorrente do aumento da taxa de *blend*. A simulação C2 representa o volume apontado pelo C2 subtraído pelo volume do cenário C1, restando o acréscimo da produção para a manutenção do conteúdo energético como se o *blend* permanecesse aos níveis de 7% do ano de 2015.

Com o aumento da taxa de mistura, considerando somente o aumento da taxa de *blend* (C1), a produção nacional de biodiesel em 2040 é igual a 19,7 bilhões de litros, 185% superior ao valor apresentado pelo baseline para o mesmo ano. Entre 2015 e 2030, a produção apresentaria crescimento de 10,8% ao ano e, entre 2016 e 2040, 6,65% ao ano, demonstrando o impacto dos aumentos na taxa de mistura para o crescimento da produção. O acréscimo de volume devido perda energética representa um aumento de 1,45% no consumo de diesel B. Considerando o C1 e C2, os aumentos das taxas de *blend* representa 56% do volume total e o volume produzido devido aumento no consumo para manutenção energética é de 2%.

Na terceira simulação (C3), o ganho de eficiência, sem alterações no *blend* proposto de 7% em 2015, geraria efeitos de redução no consumo de biodiesel e do diesel B. Com o aumentando do seu fator energético em 5% até 2040, o consumo do diesel B é reduzido e, de forma análoga, menores são os valores registrado na emissão de sua queima, considerando os mesmos fatores de emissão da Tabela 4. Com o ganho de eficiência, a produção de diesel B seria reduzida em 2,36% ao ano com relação ao cenário base até 2040. Os volumes acumulados seriam reduzidos em 461,17 bilhões de litros de diesel B, sendo 32,52 bilhões de biodiesel e 428,65 bilhões de litros de diesel fóssil.

Considerando o acréscimo de biodiesel na mistura adjunto da melhoria de eficiência, ocorre uma redução nas emissões apresentadas pela queima do uso de diesel B. A Figura 21 apresenta a evolução do volume anual evitado de toneladas de CO<sup>2</sup> equivalentes, comparando as emissões no cenário base, apresentada na Figura 18, com as políticas avaliadas.

Figura 21 – Redução anual das emissões por cenários (milhões de toneladas de CO<sup>2</sup> equivalente)



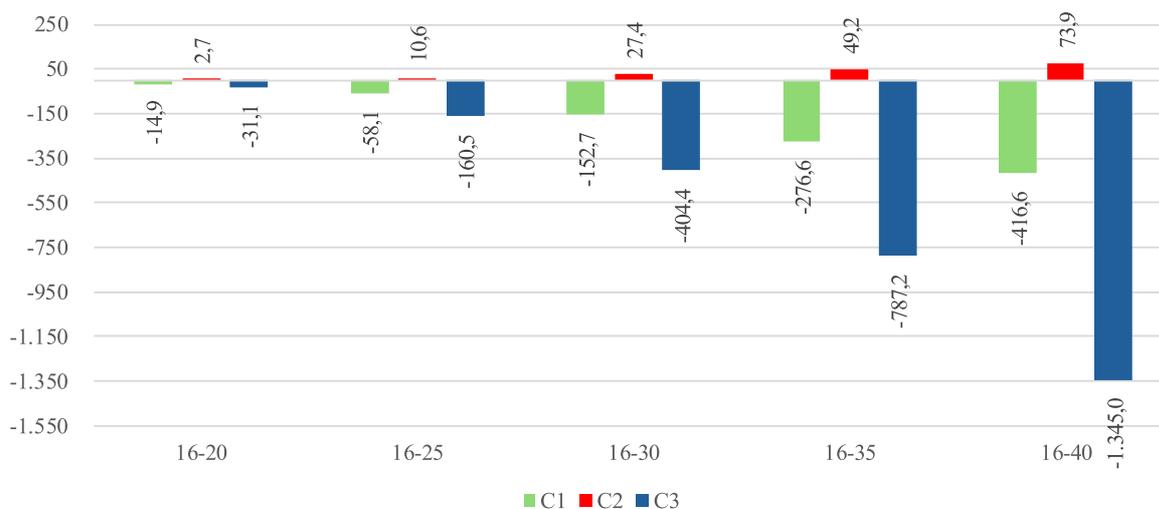
Entre 2016 e 2030, período de vigência das alterações na taxa de blend de biodiesel no diesel B, a emissão evitada acumulada foi estimada em 530 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente (TonCO<sub>2</sub>Eq). Desse total, 404 milhões de TonCO<sub>2</sub>Eq decorrem da melhoria na eficiência do uso do diesel B (C3) e 153 milhões de TonCO<sub>2</sub>Eq são atribuíveis ao aumento da proporção de biodiesel na mistura (C1). Por outro lado, o aumento do consumo de diesel B em função da perda energética associada à maior proporção de biodiesel (C2) resultou em um acréscimo de 27 milhões de TonCO<sub>2</sub>Eq nas emissões. No entanto, esse impacto negativo é amplamente compensado pelas reduções obtidas com o aumento do blend e a melhora na eficiência energética.

No período analisado (2016 a 2040), as emissões evitadas apresentaram uma taxa média de crescimento anual de 33,6%. Esse valor foi ainda mais expressivo durante os anos de elevação da taxa de blend, com uma média de 56,8% ao ano. Entre 2030 e 2040, quando a taxa de blend se estabiliza, a taxa média de crescimento das emissões evitadas caiu para 6,8% ao ano. Esses resultados evidenciam o papel relevante do aumento da participação do biodiesel na redução do impacto ambiental associado ao consumo de diesel B.

Mesmo considerando o aumento no consumo de diesel B decorrente da menor densidade energética do biodiesel, a política de elevação da taxa de blend revela-se efetiva na mitigação de emissões. A necessidade de maior volume de diesel B para manter o nível energético resulta em um aumento das emissões, porém, esse consumo adicional refere-se a um combustível com menor intensidade de carbono. Estima-se que esse efeito de compensação energética represente uma redução de 17,1% no total das emissões evitadas pelo aumento do blend. Ainda assim, o balanço líquido da política é positivo, com uma redução acumulada de 343 milhões de TonCO<sub>2</sub>Eq nas emissões associadas ao uso de diesel B entre 2016 e 2040.

Na Figura 22 estão os resultados acumulados de cada um dos cenários avaliados de cinco em cinco anos, partindo do ano e 2016. Tal agregação temporal ocorreu para se obter melhor visualização dos resultados obtidos.

**Figura 22 - Alteração acumulada das emissões por cada política (milhões de toneladas de CO2 equivalente)**



Fonte: Resultados da pesquisa

Avaliando o período de aumento das taxas de *blend*, entre 2016 e 2030, e o período completo avaliado, é perceptível o impacto positivo do aumento do biodiesel no diesel B como política para evitar emissão dos GEE. Considerando os resultados acumulado do aumento de *blend* e o aumento do consumo devido perda energética (C1 e C2), as reduções crescem 44% ao ano entre 2016 a 2030, mesmo com aumento do consumo para garantir igualdade energética, já entre 2030 a 2040, momento de estabilidade das taxas, as reduções crescem 11% ao ano, em menor velocidade comparado ao aumento das taxas.

A melhoria na eficiência do combustível em 5% até 2040 é o choque que apresenta os maiores impactos para a redução das emissões da queima do diesel B. Com tal melhoria, o consumo do combustível é reduzido, ocasionando menores emissões. Entre 2016 a 2040, o efeito de tal melhoria reduz as emissões em 30,42% ao ano, velocidade superior a média do aumento da *blend* com aumento de consumo para o mesmo período (redução das emissões em 28,42% ao ano).

De modo geral, o aumento do *blend* apresenta-se como política eficiente para redução das emissões atreladas a queima de diesel B, porém, ao observar os objetivos traçados pelo país no Acordo de Paris, a redução de 53% das emissões não o corre, visto que todos os cenários apontam redução nas emissões considerando o crescimento delas com relação ao cenário base. A única simulação que apresentou redução real nas emissões de forma líquida, mesmo considerando o crescimento de consumo para os próximos anos devido crescimento do país, foi o cenário de

melhoria na eficiência energética do produto, projetando redução no consumo dado melhoria de 5% até 2040, causando redução nas emissões de 1345 milhões de TonCO<sup>2</sup>Eq.

#### 4.4 Resultados macroeconômicos

Elucidado os impactos ambientais da implementação de aumento da taxa de biodiesel com relação ao cenário base, a presente seção tem como foco avaliar tais impactos sobre os indicadores macroeconômicos da economia brasileira, fornecendo uma visão abrangente sobre os resultados de tais políticas. O *trade-off* entre as questões ambientais e o crescimento econômico é averiguado, apresentando os resultados com relação ao cenário de referência.

Com a substituição do diesel fóssil pelo biodiesel, uma redução no preço do diesel B ocorreria, dado que um insumo de maior custo, R\$2,79 por litro, estaria sendo substituído por outro de menor custo, R\$2,69 por litro, conforme apresentado na Tabela 3. A redução de custo no diesel B seria transmitida de forma sistêmica pelos canais de oferta e demanda, ocasionando uma diminuição nos preços internos de toda a economia brasileira (abordagem de competitividade-custos), gerando o resultado classificado como *efeito-preço*. Como hipótese desta dissertação, com a queda de preços, os produtos nacionais estariam menos custosos frente o mercado internacional, incentivando a exportação.

Com a queda de preços, por sua vez, ocorreria o aumento da demanda em diversos mercados, interno e externo, elevando também a demanda por insumos pelos setores produtivos. O aumento da produção elevaria, pois, os preços dos fatores produtivos, como trabalho e capital, gerando assim aumento de custos, como, por exemplo, os salários. Essa relação contribuiria para o aumento da arrecadação tributária e para a intensificação da atividade econômica, caracterizando o fenômeno denominado *efeito-atividade*. Ademais, pelas identidades macroeconômicas estabelecidas na especificação teórica do modelo entre renda e despesa, o dispêndio também cresceria entre as instituições econômicas.

Desta forma, a intensidade entre o *efeito-preço* e o *efeito-atividade* definiram a direção e magnitude dos efeitos das políticas simuladas. O comportamento das variáveis econômicas no modelo é diferente entre as três simulações realizadas nesta dissertação, devida diferenças em magnitude e nas variáveis utilizadas nos choques propostos, apresentando os resultados presentes na Tabela 7.

O primeiro cenário (C1) considera o aumento do biodiesel no diesel B, sendo realizado através de choques anuais na produção de biodiesel e diesel fóssil até 2030, estabilizando a taxa de *blend* em 20% entre 2030 e 2040. Sobre o nível de atividade econômica, o efeito-preço é refletido pelo comportamento do PIB e seu deflator. No curto prazo, ocorre redução do PIB em 0,09% e alcança o resultado acumulado de 0,18% em 2040. O deflator desacelera seu crescimento ao longo dos anos, partindo de 0,84% em 2030 para 0,24% em 2040. Desta forma, ao longo do período avaliado, o aumento do *blend* promove um crescimento econômico crescente a um aumento de preços que vai reduzindo sua intensidade mas que é superior ao crescimento do PIB.

Do ponto de vista do setor externo, observa-se uma melhora gradual da balança comercial, que passa de uma redução inicial de -0,19% em 2025 para um superávit de 0,69% em 2040, resultado de um aumento nas exportações (1,65%) e contenção nas importações (-0,50%). Esses resultados são coerentes com o pressuposto da competitividade-custos, no qual a redução de preços internos torna os produtos nacionais relativamente mais baratos frente ao mercado internacional.

No cenário 2 ocorre aumento do *blend* e do consumo para manter os níveis energéticos caso a mistura permanecesse em 7%. Essa exigência por volumes adicionais resulta em choques mais intensos de demanda, o que se reflete em maior pressão sobre os preços e nos fatores de produção. O PIB neste cenário apresenta trajetória semelhante à do cenário anterior (-0,14% em 2025; 0,02% em 2030; 0,10% em 2040), embora o crescimento no longo prazo seja levemente inferior, sugerindo uma compensação entre maior estímulo à produção e elevação de custos. O deflator do PIB, por sua vez, apresenta valores mais elevados que no cenário 1, atingindo 0,89% em 2030 e 0,34% em 2040. A pressão sobre os preços, oriunda da maior demanda de insumos para manter o conteúdo energético do diesel B, foi suficiente para gerar elevações nos custos e, conseqüentemente, nos preços finais, mesmo que a produção não tenha acompanhado na mesma proporção. Mesmo o PIB apresentando crescimento, tal efeito-demanda não foi capaz de superar os efeitos de transmissão de preço da economia.

Os efeitos sobre o setor externo apresentam as exportações acumulando crescimento de 1,51% até 2040, enquanto as importações com retração de -0,47%, resultando em ganhos comerciais

menos robustos do que no cenário anterior. Isso se deve, em grande parte, ao maior dinamismo econômico gerado pela expansão do volume demandado, apesar da elevação relativa dos custos.

No cenário 3 (C3), o PIB cresce de forma robusta ao longo do tempo, atingindo 0,06% em 2025, 0,10% em 2030 e 0,18% em 2040, demonstrando o predomínio do efeito-atividade neste cenário. Os ganhos de produtividade permitem uma expansão da produção com menor pressão sobre os custos, gerando um ciclo virtuoso de crescimento econômico. Essa dinâmica também se reflete no deflator do PIB, que apesar de apresentar crescimento até 2030 (0,08% em 2025 e 0,06% em 2030), apresenta queda no longo prazo (-0,02% em 2040). Isso indica que os efeitos deflacionários dos ganhos de eficiência superam as pressões inflacionárias oriundas do crescimento econômico, contribuindo para a contenção dos preços internos.

O desempenho do setor externo é representado pelas exportações, que aumentam em 0,17%, enquanto as importações permanecem praticamente estáveis (0,001%), resultando em expressiva melhora da balança comercial (0,10%). A maior competitividade internacional dos produtos nacionais, aliada à elevação da produtividade, sustenta esse desempenho positivo.

A análise dos impactos sobre as famílias revela comportamentos similares nos cenários C1 e C2, embora o C2 apresente resultados acumulados de maior intensidade negativa quando comparado ao C1. Entre 2015 e 2030 ocorre uma melhora no consumo das famílias (C1 apresenta crescimento acumulado de 0,14% e no cenário C2 de 0,08%), seus salários (0,23% e 0,13%, respectivamente), sua utilidade (0,11% e 0,10%) e quantidade de emprego (0,25% e 0,18%). No longo prazo ocorre reversão dos ganhos obtidos, fazendo com que todos os indicados citados apresentem resultados negativos para o ano de 2040. Isso indica que, embora a política de substituição do diesel fóssil pelo biodiesel proporcione algum estímulo econômico no curto prazo, seus efeitos tendem a se dissipar ao longo do tempo quando não acompanhados por ganhos de eficiência ou por medidas adicionais que sustentem o crescimento da atividade econômica.

**Tabela 7 – Efeitos sobre as principais variáveis macroeconômicas (Var. %)**

Variáveis	C1			C2			C3				
	Período	2015 - 25	2015 - 30	2015 - 40	2015 - 25	2015 - 30	2015 - 40	2015 - 25	2015 - 30	2015 - 40	
PIB	-	0,09	0,09	0,18	-	0,14	0,02	0,10	0,06	0,10	0,19
Investimento	-	0,08	1,02	- 1,56	-	0,17	0,91	- 1,64	0,15	0,19	0,31
Consumo das famílias	-	0,11	0,14	- 0,00	-	0,14	0,08	- 0,06	0,06	0,10	0,20
Utilidade das famílias		0,07	0,23	- 1,26	-	0,01	0,13	- 1,37	0,12	0,19	0,34
Emprego agregado	-	0,04	0,11	- 0,16	-	0,05	0,10	- 0,16	0,01	0,02	0,02
Salário Real		0,04	0,25	- 0,01	-	0,01	0,18	- 0,10	0,07	0,12	0,23
Estoque de capital		0,02	0,16	0,62		0,01	0,11	0,56	0,03	0,07	0,15
Renda total do governo	-	0,15	0,79	0,41	-	0,20	0,79	0,47	0,12	0,14	0,10
Receita tributária do governo	-	0,17	0,67	0,37	-	0,21	0,68	0,45	0,10	0,10	0,04
Deflator do PIB	-	0,02	0,84	0,24	-	0,05	0,89	0,34	0,08	0,06	- 0,02
Termos de comércio		0,14	0,96	- 1,69		0,16	1,06	- 1,55	- 0,00	- 0,04	- 0,17
Balança comercial	-	0,19	- 0,48	0,69	-	0,21	- 0,53	0,63	0,02	0,04	0,10
Exportação	-	0,21	- 1,11	1,65	-	0,23	- 1,21	1,51	0,00	0,04	0,17
Importação	-	0,16	0,31	- 0,50	-	0,18	0,32	- 0,47	0,05	0,05	0,00

Fonte: Resultado da pesquisa

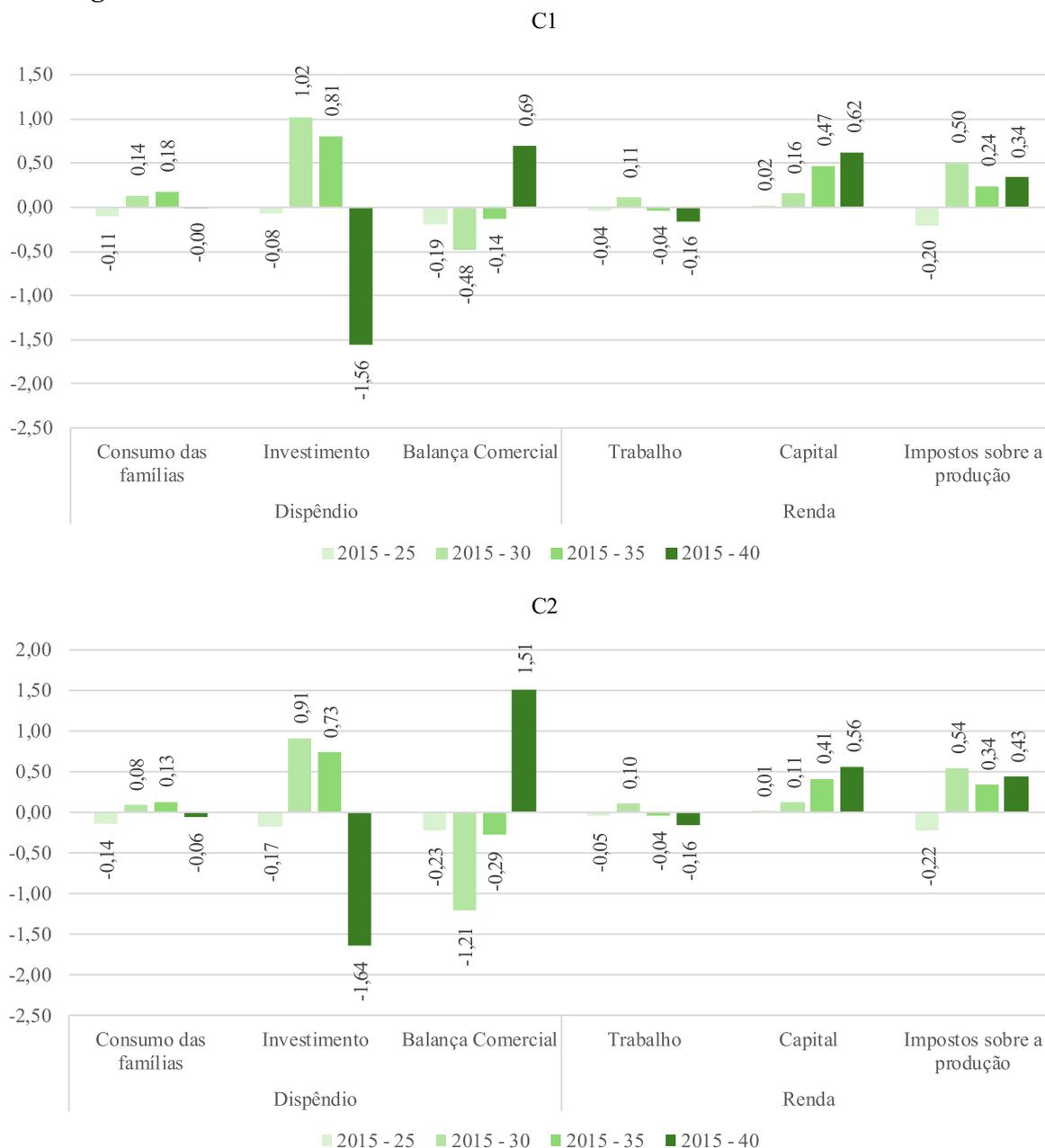
Nota: desvios % acumulados em relação ao cenário de referência

O aumento da eficiência do diesel B apresenta, diferente dos cenários anteriores, resultados positivos para as famílias no médio e longo prazo, gerando 0,19% de empregos, com aumento de 2,31% do salário real, aumentando o consumo das famílias em 1,98%, gerando uma utilidade 0,34% acima do cenário de referência. A melhoria na eficiência ocorreria considerando a disponibilidade dos recursos monetários para sua realização, não gerando contrapartidas para economia, culminando em resultados positivos para as famílias, como aumento do salário emprego e bem-estar.

A Figura 23 analisa a contribuição de cada componente do dispêndio e da renda do PIB, apresentando os efeitos do aumento da mistura (C1) e do aumento do consumo considerando as alterações na mistura (C2) sobre esses componentes. Sob a ótica da renda, o crescimento de longo prazo do PIB estaria associado ao crescimento do capital, que registrariam aumento de 0,62% no C1 e 0,56% no C2, em relação ao cenário de referência. Como é necessário maior produção de biodiesel na economia, será necessário o crescimento do capital para gerar investimento.

Quando a taxa de mistura se estabiliza, tal investimento não é mais necessário, fazendo com que a taxa de investimento na economia apresente resultados negativos. Do lado do dispêndio, o crescimento do PIB estaria relacionado à expansão da balança comercial. Esse desempenho reflete o efeito-preço vivenciado pela economia, com altos preços e baixo investimento, a demanda externa é a que consegue consumir da produção interna, resultando em uma balança comercial positiva. No cenário 2, com aumento no consumo de diesel B, a balança comercial sustenta o resultado do PIB de crescimento de 0,10% no longo prazo, sendo necessário maior consumo do mercado externa dada maior produção em tal cenário.

Tanto o consumo das famílias quando o nível de trabalho da economia não apresenta grande flutuações, resultando, no longo prazo, em resultados negativos em ambos os cenários quando comparado ao cenário base de manutenção de 7% da taxa de *blend*.

**Figura 23 - Efeito do aumento do *blend* e do aumento de consumo sobre o PIB**

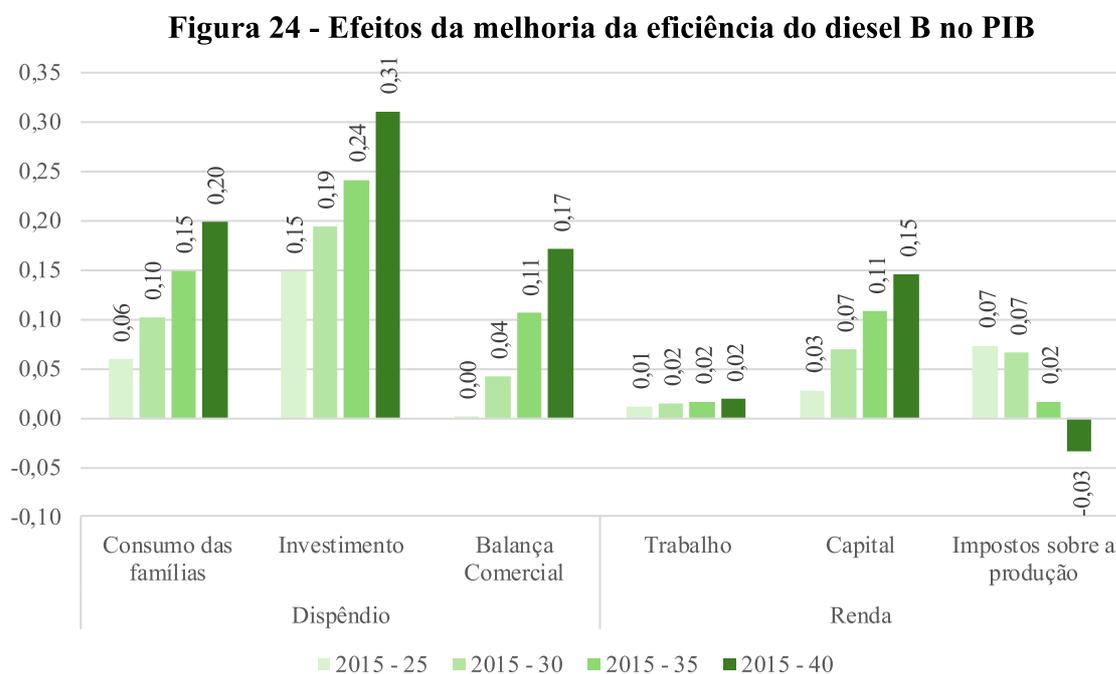
Fonte: Resultados da pesquisa

Nota: desvios % acumulados em relação ao cenário de referência.

No C3, as alterações do PIB são decompostas pela ótica da renda e do dispêndio na Figura 24. Sob a ótica da renda, o crescimento de longo prazo do PIB estaria associado ao capital, que aumentaram 0,15% acima do cenário base, e sob a ótica do dispêndio, o investimento, crescendo 0,31%, e o consumo das famílias, 0,20%, são os principais fatores para o crescimento do PIB.

Com a melhoria na eficiência sem alguma contrapartida, menos custoso é a produção do diesel B para os consumidores, gerando maior disponibilidade de renda das famílias, estimulando o

consumo de outros produtos e, para as empresas, gerando maiores investimentos que, devida característica recursiva do modelo, irão estimular o crescimento do capital de forma defasada.



Fonte: Resultados da pesquisa

Nota: desvios % acumulados em relação ao cenário de referência.

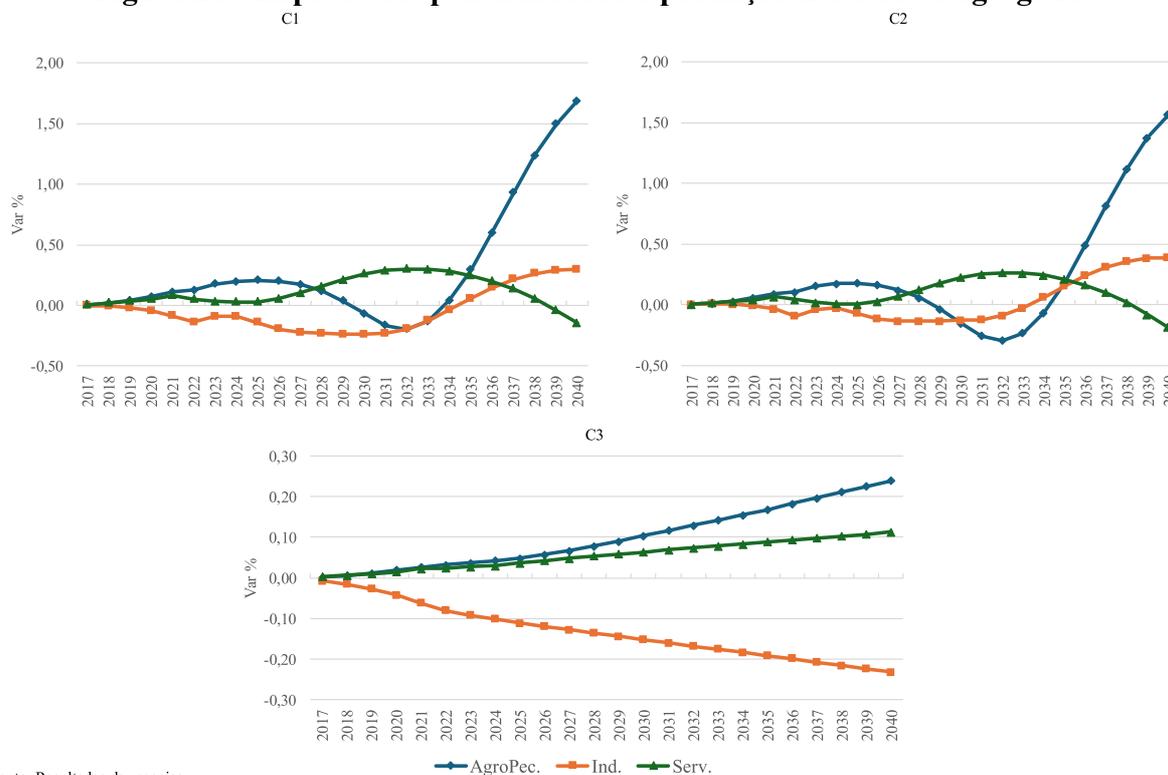
De modo geral, em todos os três cenários avaliados ocorreria crescimento do PIB, porém, os cenários que avaliam o aumento de *blend*, C1 e C2, apresentariam crescimento pouco expressivo e alavancados pelo mercado externo, gerando, em contrapartida, redução dos empregos e do consumo das famílias. No C3, com melhoria de eficiência, todos os indicadores macroeconômicos apresentam melhoras, mesmo com a manutenção do *blend* em 7%, distribuindo os ganhos de tal eficiência em todos os agentes econômicos, melhorando os indicadores das famílias, do mercado externo e do mercado interno.

#### 4.5 Resultados para os setores

A presente seção complementa a análise anterior, esclarecendo as repercussões setoriais de cada uma das políticas modeladas. A Figura 25 ilustra a evolução do impacto sobre a produção das três grandes atividades econômicas. Pelos cenários C1 e C2 serem choques de produção, o setor industrial, fabricante do biodiesel, apresentaria crescimento, e o principal fornecedor de matéria-prima, a agropecuária, também. O aumento de *blend* dos dois cenários apresenta crescimentos dos dois setores, tendo o setor de serviço apresentando tendência de queda em

todo período analisado. Para o cenário 3, a melhoria de eficiência reduziria a produção do biodiesel, acarretando a queda do setor industrial, e aumentaria a renda disponível para o consumo de outros produtos, apresentando crescimento no setor de serviços e agropecuária.

**Figura 25 - Impacto das políticas sobre a produção dos setores agregados**



Fonte: Resultados da pesquisa

Nota: desvios % acumulados em relação ao cenário de referência.

Com o aumento da participação do biodiesel no diesel B (C1), o setor agrícola tem crescimento acumulado de 1,69% entre 2017 a 2040 devido aumento da demanda de biomassa para produção do biocombustível, apresentando taxas negativas após estabilização da taxa de *blend* em 2030 até 2034, momento que o setor volta a crescer, apresentando valores superiores aos anteriores com foco no abastecimento do mercado internacional, devido aumento do efeito-preço em seus produtos. No C2, o setor agropecuário apresenta o mesmo comportamento, porém em menor escala, apresentando crescimento acumulado de 1,57% em 2040.

O setor industrial apresenta, no C1, queda de -0,23% durante 2017 a 2031 devido substituição do diesel fóssil pelo biodiesel, impactando a cadeia produtiva do diesel, que possui maiores encadeamento na economia nacional com relação a cadeia do biodiesel. Após estabilização da taxa de *blend*, o setor cresce a altas taxas, apresentando resultado acumulado de 0,30% acima do cenário base. No C2, as indústrias reagem da mesma forma, mas em maior escala,

apresentando resultado acumulado de -0,12% em 2030 e, após estabilização da mistura, apresenta 0,39% em 2040.

Os serviços apresentariam crescimento de 0,29%, no C1, e de 0,25%, no C2, entre 2017 a 2032 e, entre 2017 a 2040, apresentariam -0,15%, no C1, e -0,19%, no C2. No momento de estabilização da taxa de mistura, os setores de agropecuária e das indústrias apresentaram queda nas suas produções, fazendo com que o setor de serviço aumente sua produção devida redução no preço dos fatores de produção porém, com a normalização do mercado frente a taxa de blend de 20%, ambos os setores voltam a crescer e geram a redução na produção do setor de serviço, fazendo com que ele apresentasse valores acumulados negativos em 2040.

No cenário 3 (C3), o aumento do fator energético do diesel B tem, pela ótica do modelo, efeito de redução na produção, visto que é necessário menor quantidades de biodiesel e diesel fóssil para produção do mesmo valor de unidade produtiva, e barateamento no preço para seus consumidores. Desta forma, o setor industrial, contendo a fabricação de diesel B, apresenta redução em 0,23% até 2040. Os setores de serviços e agropecuário cresceram 0,11% e 0,24%, respectivamente, devida captação dos fatores de produção do setor industrial e barateamento dos custos com insumos cujo diesel B participa.

De forma complementar, a Tabela 8 apresenta os impactos das políticas avaliadas na produção e nos empregos de setores de interesse, como o principal demandante de diesel B, o setor de transporte terrestre, e os setores produtores de insumos relacionados ao biocombustível.

Com o aumento da utilização de biodiesel no diesel B, C1, a produção do biocombustível aumentaria 185,56% com relação ao cenário base, vista a relação direta do aumento de *blend* com necessário aumento da produção. Como o aumento se dá pela substituição do diesel fóssil pelo biodiesel, a produção do componente fóssil reduz em 8,99% até 2040. No C2, como ocorre maior consumo da mistura, a produção do biocombustível cresce 191,27% e do diesel fóssil reduz em 7,90%. As diferenças nos percentuais do biodiesel com relação ao diesel fóssil estão atreladas ao mercado consumidor de cada um dos componentes. O consumo de biodiesel no país se dá exclusivamente, 99%, para o mercado interno através da mistura com o diesel fóssil, já o consumo de diesel puro ocorre por outros modais de transporte, como fonte energética para geração de eletricidade e outras aplicações nas indústrias químicas, plásticos e outras, não tendo tamanha dependência da produção de diesel B em sua demanda. Desta forma, a troca de diesel

fóssil por biodiesel impacta em maior magnitude o mercado de biodiesel, que é menor em comparação ao do diesel fóssil, que de seu composto não sustentável.

A produção agrícola, principal fonte energética do biocombustível com a produção da soja, registraria um aumento de 1,69% com relação ao cenário base no C1, e de 1,57% no C2 no longo prazo. Como a produção da soja é grande pauta de exportação no país, o aumento do consumo pela produção do biodiesel pode ser abastecida somente com redirecionamento da produção do mercado externo para o mercado nacional.

O óleo vegetal produz 1,34% acima do cenário de referência no C1 e 1,62% no C2. Os produtos químicos crescem sua produção em 1,20% n C1 e 1,10% no C2. Ambos esses produtos aumentam sua produção mais no médio prazo, devido expectativa de aumento na taxa de mistura, mas, quando ocorre a permanência desta taxa em 20% em 2030, a taxa acumulada de crescimento cai.

A demanda de diesel B é concentrada nos serviços de transporte terrestre, representando 52% do total, sendo significativo para a composição de custos desse serviço cada um desses serviços, sendo 40% de todo o seu custo. Com aumento da adição de biodiesel, observar-se uma redução no preço da mistura, impactando no aumento da produção do transporte, porém, no longo prazo, ocorre redução do aumento do setor. O transporte terrestre apresentaria crescimento de 0,85% no longo prazo. Ao longo dos períodos, menor é a velocidade que o setor cresce, sendo que no cenário 2 (C2), a o crescimento é menor, apresentando 0,71% de produção a mais com relação ao cenário base.

**Tabela 8 – Efeitos setoriais das políticas avaliadas**

Cenários	C1			C2			C3		
Período	2015 - 25	2015 - 30	2015 - 40	2015 - 25	2015 - 30	2015 - 40	2015 - 25	2015 - 30	2015 - 40
Setores	Produção								
Agropecuária	- 0,07	0,29	1,69	- 0,15	0,18	1,57	0,10	0,17	0,24
Agricultura	- 0,68	- 0,51	1,95	- 0,74	- 0,60	1,85	0,06	0,12	0,18
Indústrias	- 0,24	0,06	0,30	- 0,13	0,16	0,39	- 0,15	- 0,19	- 0,23
Extração	- 3,50	- 2,34	1,31	- 3,19	- 2,06	1,56	- 0,51	- 0,64	- 0,69
Alimentar	0,88	1,29	1,29	0,76	1,14	1,15	0,17	0,27	0,36
Óleo Vegetal	1,47	1,46	1,34	1,38	1,36	1,23	0,16	0,24	0,33
Diesel B	16,46	15,89	15,98	17,27	16,73	16,82	- 0,59	- 0,84	- 1,08
Fóssil	- 9,41	- 9,45	- 8,99	- 8,39	- 8,38	- 7,90	- 1,52	- 2,14	- 2,75
Biodiesel	183,94	184,63	185,56	189,66	190,35	191,27	- 2,62	- 3,52	- 4,43
Químicos	- 0,20	0,21	1,20	- 0,28	0,12	1,10	0,08	0,13	0,17
Serviços	0,26	0,25	- 0,15	0,23	0,21	- 0,19	0,06	0,09	0,11
Transp. Terrestre	1,23	1,14	0,85	1,11	1,00	0,71	0,20	0,28	0,36
	Emprego								
Agropecuária									
Agricultura	- 1,22	0,27	2,80	- 1,27	0,19	2,71	0,04	0,09	0,16
Indústrias									
Fóssil	- 10,96	- 8,38	- 8,09	- 9,94	- 7,28	- 7,05	- 1,93	- 2,57	- 3,21
Biodiesel	140,46	166,75	147,80	146,33	171,81	152,43	- 2,69	- 4,11	- 4,86
Serviços									
Transp. Terrestre	1,35	0,67	0,74	1,24	0,57	0,65	0,18	0,24	0,30

Fonte: Resultados da pesquisa

Nota: desvios % acumulados em relação ao cenário de referência.

No cenário 3 (C3), com a melhoria na eficiência do diesel B, menor é sua produção, reduzindo em 2,75% e 4,43% a fabricação de diesel fóssil e biodiesel, respectivamente, com relação ao cenário base acumulado. No total, a produção de diesel B reduz em 1,08% até 2040. Com o menor uso de insumos, outros setores apresentam crescimento dada maior disponibilidade de renda e capital para gastar e investir em outros setores, renda esta que estava comprometida para aquisição do diesel B. O setor de agropecuária apresentaria crescimento de 0,24% com relação ao *baseline*, e o setor de serviços, um aumento de 0,02%. Dentre os setores que mais aumentam sua produção está o setor açucareiro, crescendo 0,70% no acumulado com relação ao cenário base, o de minério de ferro, com 0,60%, o de pecuário, com 0,36% e o de transporte terrestre, com 0,36%.

A melhora desses setores está relacionada ao aumento da renda disponível para as famílias, que vão consumir outros bens e estimular áreas diversas da economia. O transporte de passageiros, com a otimização energética o diesel B, incorrerá com menor custo e terá uma redução de preço, aumentando sua produção devido efeito-demanda.

#### **4.6 Resultados para as famílias**

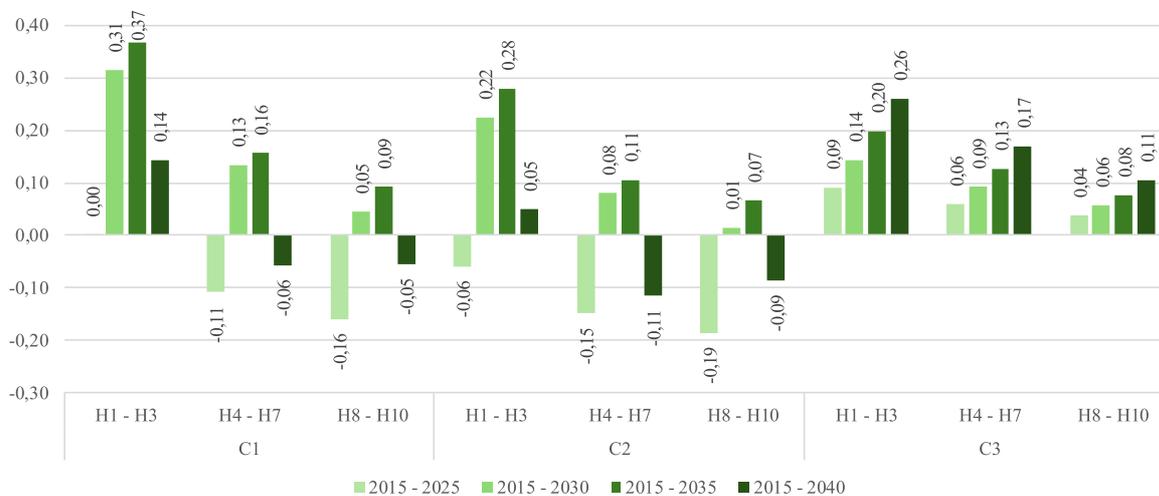
Por fim, é necessário avaliar os impactos para as famílias típicas da economia brasileira. O modelo reconhece dez famílias entre faixas de rendimento, sendo o H<sub>1</sub> as famílias de menores rendas e H<sub>10</sub> as de maiores. Pela literatura, famílias com poder aquisitivo maior demandam mais combustíveis para os deslocamentos diários, fazendo com que uma redução de preço privilegia aquelas de maior renda (PENG; ZHU; SONG, 2008). Esta seção tem por objetivo avaliar os efeitos redistributivos sobre as famílias decorrente das políticas de aumento de *blend* e de melhoria de eficiência. A Figura 26 apresenta os efeitos sobre a renda real das famílias representativas em cada um dos cenários.

De modo geral, as famílias de renda menores (H<sub>1</sub>-H<sub>3</sub>) são aquelas que apresentariam crescimento da renda real em todas as simulações, obtendo maior ganho no cenário de melhoria de eficiência energética do diesel B (C3). Com o aumento da taxa de mistura do biodiesel no diesel B (C1), ocorre perda nos extratos de renda média (H<sub>4</sub>-H<sub>7</sub>) e alta (H<sub>8</sub>-H<sub>10</sub>) no curto prazo, setores que consomem mais esta mistura, possuindo veículos que utilizam tal mistura. No médio e longo prazo, com aumento e estabilização da taxa de mistura, as rendas das famílias aumentam devido menor preço do diesel B com a troca do fóssil, de maior preço por m<sup>3</sup>, pelo biodiesel,

de menor valor. No geral, devida perda inicial do aumento do *blend*, as rendas das famílias caem no acumulado, principalmente a de rendas médias e altas (H<sub>4</sub>-H<sub>10</sub>)

No terceiro cenário (C3), a medida que a melhoria da eficiência energética do diesel B aumenta, maior é a renda disponível para todos os extratos de famílias. As famílias de menor renda (H<sub>1</sub>-H<sub>3</sub>) possuem aumento de 0,26%, as de média renda (H<sub>4</sub>-H<sub>7</sub>) de 0,17% e as de alta renda (H<sub>7</sub>-H<sub>10</sub>) de 0,11%. De modo geral, o aumento da eficiência tem como resultado a redistribuição de renda, aumentando os extratos de menor renda de forma maior que as de menor renda.

**Figura 26 - Impactos acumulados na renda real das famílias**



Fonte: Resultados da pesquisa

Nota: desvios % acumulados em relação ao cenário de referência.

A diferença entre as famílias e suas rendas está relacionada ao consumo delas. Um aumento do biodiesel no diesel B tem como consequência a redução do preço do combustível, resultando em uma queda geral dos preços, principalmente por o modal terrestre ser o principal para a distribuição de mercadorias. Desta forma, as famílias de menor renda, aquelas que possuem seu relacionamento com o diesel B com as mercadorias, apresentam crescimento de sua renda real. As famílias de média e alta renda possuem relações além das mercadorias, consumindo o diesel B através da participação em outros setores que apresentaram quedas na produção devida substituição do diesel fóssil com o biodiesel, como o setor de extração mineral e refino de petróleo.

Na Tabela 9 estão as variações acumuladas até 2040 sobre a utilidade das famílias e a renda real disponível em cada um dos perfis de famílias definidos. Neste modelo, a variação de

utilidade das famílias tem como base a variação das mudanças de consumo considerando a parcela acima dos bens de subsistência, como especificado nas funções do sistema linear de gastos (LES).

Nos cenários de aumento de *blend*, as famílias de renda H<sub>8</sub> são as que apresentariam maior variação negativa de suas utilidades em 2,06%, seguido das famílias H<sub>5</sub> e H<sub>6</sub> com queda de 1,82% e 1,50%, respectivamente, até 2040, impactando negativamente as famílias de maior renda. Com o aumento de consumo visando manutenção energética, as famílias de menor renda (H<sub>1</sub>-H<sub>3</sub>) são as que possuem maior redução de suas utilidades quando comparado com o C1, tendo uma queda de 0,16%.

**Tabela 9 - Efeito das políticas sobre a utilidade das famílias e renda real**

Famílias	Desvio % acumulado					
	Utilidade			Renda real disponível		
	C1	C2	C3	C1	C2	C3
H1	- 0,70	- 0,86	4,75	0,22	0,13	2,64
H2	- 0,86	- 1,03	4,94	0,15	0,05	2,74
H3	- 1,15	- 1,29	4,49	0,06	- 0,03	2,43
H4	- 0,60	- 0,72	3,83	- 0,01	- 0,08	2,06
H5	- 1,82	- 1,94	3,68	- 0,05	- 0,12	1,89
H6	- 1,50	- 1,59	3,13	- 0,10	- 0,15	1,56
H7	- 1,38	- 1,46	2,69	- 0,08	- 0,12	1,31
H8	- 2,06	- 2,13	2,55	- 0,11	- 0,14	1,17
H9	- 1,34	- 1,41	2,28	- 0,04	- 0,07	1,13
H10	- 1,19	- 1,23	1,87	- 0,02	- 0,04	0,86

Fonte: Resultados da pesquisa

Nota: desvios % acumulados em relação ao cenário de referência.

Avaliando o comportamento da renda real disponível, as famílias que possuem baixa renda (H<sub>1</sub>-H<sub>3</sub>) apresentariam crescimento em todos os cenários avaliados, aumentando, em média, 0,14% e 0,05% no C1 e no C2, respectivamente. O aumento do consumo de diesel B faz com que todos os crescimentos de renda sejam menores, impactando mais as famílias de menores rendas. A Tabela 10 avalia a variação do consumo acumulado em 2040 por cada família de diesel B e de transporte de passageiros em cada cenário.

**Tabela 10 - Efeito das políticas sobre a demanda das famílias de diesel B e transporte de passageiros**

Famílias	Desvio % acumulado					
	Demanda Diesel B			Demanda Transp. de Passageiro		
	C1	C2	C3	C1	C2	C3
H1	4,49	4,52	13,72	1,33	1,10	7,92
H2	4,81	4,85	12,99	1,25	1,02	7,84
H3	5,14	5,18	12,08	0,99	0,80	7,21
H4	5,37	5,43	11,18	0,98	0,84	6,40
H5	5,51	5,57	10,67	0,43	0,31	6,05
H6	5,66	5,73	10,15	0,41	0,31	5,47
H7	5,78	5,85	9,50	0,31	0,25	4,90
H8	5,97	6,04	8,96	0,03	0,08	4,57
H9	6,13	6,21	8,34	0,14	0,12	4,08
H10	6,27	6,35	7,93	0,11	0,11	3,65

Fonte: Resultados da pesquisa

Nota: desvios % acumulados em relação ao cenário de referência.

De modo geral, o aumento do *blend* traz aumento o consumo das famílias mais ricas sobre o diesel B e, com compensação da perda energética por um maior consumo, essas mesmas famílias serão aquelas que mais consumirão o diesel B. No C3, com melhoria na eficiência, as famílias de menor renda serão as que mais consumirão do diesel B. Para os transporte de passageiros, as famílias de menor renda, sendo as que mais consomem, são as mais afetadas com o aumento do biodiesel na mistura, aumentando sua demanda pelo transporte e, no caso da melhoria de eficiência, o aumento da demanda chega próximo a 8%.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente dissertação tem como contribuição apresentar os efeitos de curto, médio e longo prazo do aumento da taxa de mistura do biodiesel presente no diesel B e a melhoria energética do combustível na economia brasileira. Na literatura acadêmica sobre o tema, são poucos os estudos que exploram a cadeia produtiva do biodiesel de forma clara. Poucos apresentam o diesel B desagregado em cada um de seus componentes, considerando os vínculos de produção e demanda existentes no sistema produtivo nacional. Políticas de substituição de produtos mais custosos por outros de menor valor alteram as estruturas de custo em toda a cadeia. Isso também afeta o preço dos produtos analisados e pode incentivar o uso de diesel B, contribuindo para o aumento das emissões de GEE.

As projeções realizadas podem ajudar quanto a validade das políticas de *blend* exercidas no país, dado ocorrem desde 2005 com o biodiesel, e avaliando estratégias de melhorias tecnológicas voltadas ao setor. De forma inédita, esta dissertação teve como objetivo avaliar os aumentos de *blend* que ocorreram entre 2015 e 2024 e projetar os efeitos do *blends* propostos pelo Programa Combustível do Futuro até o ano de 2040. Para realizar esta análise, a dissertação propôs três cenários. O primeiro (C1) considera as taxas de blends propostas pelo PCF, alterando o valor estimado no cenário base. O segundo (C2) inclui, além do aumento da mistura, um aumento no consumo de diesel B para manter o nível energético equivalente ao blend de 7%. Por fim, o terceiro cenário (C3) projeta uma melhoria de 5% na eficiência energética do diesel B até 2040. Portanto, a presente dissertação se diferencia ao abordar debates recentes do aumento de *blend*, avaliando também seus impactos na economia e nas emissões geradas pelo consumo de diesel B.

Para atender ao problema proposto, foi utilizado um modelo de EGC na versão de dinâmica recursiva, possuindo módulo fiscal oriundo da MCS. Com tal abordagem, é permitido avaliar as consequências no arrecadamento governamental de forma sistemática, impactando outros setores e agentes. O modelo de EGC reflete o comportamento maximizador dos agentes econômicos, incluindo famílias, empresas e famílias.

O banco de dados utilizado tem como referência o ano de 2015. Com isso, foram utilizados os comportamentos observados das variáveis macroeconômicas — como PIB, emprego e exportação — até 2023. Com foco em retratar as alterações de blend ocorrido entre 2015 e 2023, a variação deflacionada do VBP do diesel B foi utilizado, tendo o cenário de 2023 similar ao real observado. A estimativa do cenário base considerou as perspectivas de crescimento do PIB, da população e do emprego. O volume produzido de diesel B no cenário base utilizou como *blend* o praticado em 2015, sendo 7%. Para inserção das alterações de *blend*, a produção estimada no cenário base foi alterada pelas alterações de *blend*, inserindo os percentuais de variações para geração do cenário 1 (C1) até 2040. Com aumento do biodiesel na mistura, o diesel B perde capacidade energética, sendo necessário maior consumo para obter mesmo valor energético, gerando o cenário 2 (C2). Para fins de análise, o cenário 3 (C3) teve como foco melhorar a eficiência produtiva do diesel B em 5% até 2040, considerando constante o *blend* de 7%, obtendo os impactos devido melhorias tecnológicas no setor.

De modo geral, o maior consumo devida perda energética altera a econômica em margens baixas quando comparado ao C1, sendo um crescimento total acumulado entre 2015 a 2040 de 1,45% no volume total produzido, gerando impactos não significativos para toda economia ou para as emissões. O aumento do *blend* é responsável por um aumento na produção de biodiesel de 181,3 milhões de litros no acumulado quando comparado ao cenário base, um crescimento de 134,4% na produção. A melhoria na eficiência de 5% gera uma redução na produção de diesel B de 23,92% acumulada entre 2015 a 2040. Tais alterações no blend (C1), mesmo contabilizando o aumento de consumo (C2) e a melhoria na eficiência energética (C3) contribuem, de forma conjunta, para a redução de 1687,75 milhões de TonCO<sup>2</sup>Eq., sendo 20% e 80% a participação dessa política de aumento de blend considerando o aumento de consumo (C1 e C2) e o aumento na eficiência energética (C3), respectivamente.

Embora os resultados evidenciem progressos substanciais, é importante destacar que as reduções obtidas não foram suficientes para alcançar os objetivos nacionais estabelecidos no Acordo de Paris, que visam uma redução de 53% das emissões. A única simulação que apresentou redução líquida das emissões, considerando manutenção e crescimento da demanda energética, foi a o cenário de melhorias na eficiência (C3), que reduziu as emissões em somente 31,44%, não atingindo a meta global.

O Produto Interno Bruto (PIB) cresceu em todos os três cenários no longo prazo, sendo o cenário de eficiência energética o de maior crescimento, com 0,19% acima do cenário de referência. Nos C1 e C2, o emprego agregado, o nível de salário real e o consumo e utilidades das famílias apresentaram quedas de 0,16%, 0,01%, 0,003% e 1,26%, respectivamente. No C2, com maior consumo de diesel B, o crescimento do PIB, do consumo e utilidade das famílias apresentou pioras quando comparado ao C1.

Setorialmente, com o aumento de *blend* (C1), o setor de indústrias apresentou crescimento de 0,30% e a agropecuária de 1,69%, representado principalmente pelos produtores dos componentes de diesel B e suas matérias-primas (e.g. produção de biocombustíveis, refino de petróleo, produção agrícola). O setor de serviços apresentou queda de 0,15%, principalmente pelo comportamento do setor de construção civil. No cenário 2 (C2), os resultados setoriais que apresentaram queda no C1 registraram variações negativas ainda mais acentuadas, enquanto aqueles que haviam apresentado variação positiva mostraram incremento ainda maior em seus resultados. A simulação de ganho de eficiência, o setor de indústria apresenta queda de 0,23%

pela menor produção de diesel B, tendo os setores de produção de biodiesel e diesel fóssil apresentando variação de -2,75% e -4,43, respectivamente, e apresenta crescimento de 0,24% e 0,11% os setores de agropecuária e serviços com relação ao cenário base. Tais crescimentos se concentram em setores que utilizam do diesel B como insumo na execução do serviço (transporte terrestre com +0,36%) e utilizam de meios terrestres para circulação de sua produção (pecuário, com +0,36% e produção florestal e aquicultura, com +0,33%)

Com relação as famílias, o aumento de *blend* impacta mais as classes com renda média e alta (H<sub>4</sub>-H<sub>10</sub>), reduzindo suas utilidades, em média, -1,42% e -1,50%, no cenário C1 e C2, respectivamente. A renda real disponível variou, em média, -1,42% e -1,50% no cenário C1 e C2 até 2040. O cenário de melhora de eficiência (C3) apresenta crescimento da utilidade e da renda de todas as famílias, sendo maior para as de menor renda (H<sub>1</sub>-H<sub>3</sub>). De modo geral, a eficiência, além de apresentar crescimento em todos os perfis de renda, se concentra nos de menor renda, indo contra o comportamento da política de aumento de *blend*, que possui como característica reduzir a utilidade de todas as famílias e impactar a renda real disponível de forma não linear, reduzindo as famílias de média renda (H<sub>4</sub>-H<sub>7</sub>), depois de alta (H<sub>8</sub>-H<sub>10</sub>) e, por fim, as de baixa renda (H<sub>1</sub>-H<sub>3</sub>).

Em síntese, os resultados apresentados demonstram que as políticas de aumento da taxa de *blend* e de eficiência energética possuem potencial para contribuir tanto para a mitigação das emissões de GEE quanto para o crescimento econômico, embora enfrentem desafios significativos para alcançar plenamente os compromissos internacionais e promover ganhos econômicos amplos. O aumento da participação do biodiesel no diesel B revelou-se eficaz na redução das emissões e no estímulo ao setor agropecuário, mas apresentou limitações no que tange à redistribuição de ganhos econômicos entre os setores e para as famílias de menores rendas.

A aplicação de misturas acima de 20% é compreendida como necessária para maior mitigação dos GEE porém, a viabilidade de tais aplicações causam danos aos motores e alterações nas taxas de emissão do diesel B, podendo ocorrer maior volume de poluentes, sendo necessário averiguar tais alterações, compreendendo melhor a validade de tais implementações. A melhoria da eficiência energética, por sua vez, destacou-se como a política com maior potencial para gerar benefícios ambientais e econômicos simultaneamente, reduzindo custos, aumentando a competitividade e promovendo reduções líquidas de emissões. Portanto, para maximizar os

benefícios das políticas avaliadas, recomenda-se a adoção de uma abordagem integrada que combine o aumento da participação do biodiesel com investimentos em tecnologias que melhorem a eficiência energética, alterando tanto o diesel B quanto os veículos movidos a tal combustível, e reduzam os custos de produção.

Pelo efeito apresentado na renda das famílias, como já apontados pelos estudos de PEREIRA JUNIOR et al. (2024) e CARVALHO (2022), políticas de estímulo ao biocombustível devem apresentar como complemento políticas de redistribuição de renda, em vista dos efeitos de aumento das desigualdades apontado na presente dissertação.

Portanto, a presente dissertação contribui como inovações para a literatura a desagregação do diesel B em cada um dos seus componentes na estrutura de um modelo EGC, analisando o PCF e seus impactos ambientais, econômicos e sociais. No entanto, vale ressaltar as limitações inerentes a ausência da ótica do uso do solo no modelo, a quantificação das emissões de modo integral a toda economia nacional, a não participação dos outros biocombustíveis participantes do PCF e a análise regional. Como sugestão para futuras pesquisas, seria interessante explorar o aumento de *blend* considerando a introdução do diesel verde na mistura, seguindo os percentuais do PCF, com módulos de emissão, captando as reduções do *blend* frente o total da economia nacional, e uso do solo, avaliando se aumento de biocombustíveis gera aumento nos preços dos alimentos, podendo gerar insegurança alimentar. Isso proporcionaria uma análise integral sobre os impactos dos biocombustíveis na economia brasileira, perpassando sobre questões como *fuel versus food*, incentivo a queimadas via produção de biocombustíveis e a veracidade das metas de redução do Brasil frente sua estrutura produtiva.

## 6 REFERÊNCIAS

ABREU, F. R. E; VIEIRA, J. N. DE S.; RAMOS, S. Y. Programa Nacional para a Produção e Uso do Biodiesel: diretrizes, desafios e perspectivas. - Portal Embrapa. 2006.

AGUIAR, A. B. et al. Biocombustíveis e descarbonização: oportunidades político-regulatórios para a transição energética Brasileira. 3 abr. 2023.

ALLAN, G. J. The Regional Economic Impacts of Biofuels: A Review of Multisectoral Modelling Techniques and Evaluation of Applications. **Regional Studies**, v. 49, n. 4, p. 615–643, 3 abr. 2015.

ANP, A. N. DO P., Gás Natural e Biocombustíveis. **RESOLUÇÃO ANP Nº 920, DE 4 DE ABRIL DE 2023 - DOU - Imprensa Nacional**. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/web/dou>>. Acesso em: 10 maio. 2024.

ANP, A. N. DO P., Gás Natural e Biocombustíveis. **Painel Dinâmico de Produtores de Biodiesel**, 2024. Disponível em: <<https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/paineis-dinamicos-da-anp/paineis-e-mapa-dinamicos-de-produtores-de-combustiveis-e-derivados/painel-dinamico-de-produtores-de-biodiesel>>. Acesso em: 21 ago. 2024

APROBIO. **BIODIESEL – A (R)EVOLUÇÃO NAS MÃOS DO BRASIL**. [s.l.] Associação dos Produtores de Biodiesel do Brasil – APROBIO, ago. 2015. Disponível em: <[https://aprobio.com.br/arquivos/2015\\_08\\_Biodiesel-A-R\\_Evolu%C3%A7%C3%A3onasM%C3%A3osdo-Brasil\\_Peterson\\_Aprobio.pdf](https://aprobio.com.br/arquivos/2015_08_Biodiesel-A-R_Evolu%C3%A7%C3%A3onasM%C3%A3osdo-Brasil_Peterson_Aprobio.pdf)>.

ARAGHI, M. K.; BARKHORDARI, S.; HASSANNIA, R. Economic impacts of producing bioethanol in Iran: A CGE approach. **Energy**, v. 263, p. 125765, 15 jan. 2023.

ASSAD, A. L. D. et al. **Programa de Biotecnologia e Recursos Genéticos**. Brasília Secretaria de Políticas e Programas de Ciência e Tecnologia do MCT, , fev. 2002. Disponível em: <[https://www.redetec.org.br/wp-content/uploads/2015/02/mct\\_programa\\_biotecnologia.pdf](https://www.redetec.org.br/wp-content/uploads/2015/02/mct_programa_biotecnologia.pdf)>. Acesso em: 21 ago. 2024

BECKMAN, J. et al. Market impacts of China and India meeting biofuel targets using traditional feedstocks. **Biomass and Bioenergy**, v. 108, p. 258–264, 1 jan. 2018.

BETARELLI JUNIOR, A. A. **Um modelo de equilíbrio geral com retornos crescentes de escala, mercados imperfeitos e barreiras à entrada: aplicações para setores regulados de transporte no Brasil**. [s.l.] Universidade Federal de Minas Gerais, 2013.

BETARELLI JUNIOR, A. A. et al. Research and development, productive structure and economic effects: Assessing the role of public financing in Brazil. **Economic Modelling**, v. 90, p. 235–253, ago. 2020.

BETARELLI JUNIOR, A. A. et al. COVID-19, public agglomerations and economic effects: Assessing the recovery time of passenger transport services in Brazil. **Transport Policy**, v. 110, p. 254–272, set. 2021.

BETARELLI JUNIOR, A. A. **Caracterização da indústria nacional de SAF por suas diversas regiões a partir do padrão de custos e de demanda estabelecidos no sistema econômico, considerando especialmente os principais serviços de abastecimento dos aeroportos.**: Estudos acerca das alternativas do setor aéreo relacionados ao uso de SAF, Sustainable Aviation Fuel. Juiz de Fora: Universidade Federal de Juiz de Fora, 2022a.

BETARELLI JUNIOR, A. A. **Efeitos econômicos da renovação dos contratos de concessão das empresas ferroviárias no sistema produtivo mineiro.** Juiz de Fora: Universidade Federal de Juiz de Fora, 2022b.

BETARELLI JUNIOR, A. A. **Facilitação de comércio, sistemas produtivos e efeitos regionais: uma modelagem para a avaliação das políticas do setor portuário no Brasil.** Juiz de Fora: Universidade Federal de Juiz de Fora, 2023.

BETARELLI JUNIOR, A. A.; PEROBELLI, F. S.; VALE, V. DE A. **RECURSIVO (EGC-RD) PARA O BRASIL NO ANO DE 2011 (BIM-RD).** Juiz de Fora: LATES – Laboratório de Análises Territoriais e Setoriais, 2015.

BÉZIAT, E. “Biofuel mania” takes hold of France. **Le Monde.fr**, 24 jul. 2022.

BHUIYA, M. M. K. et al. Biodiesel production and characterisation of poppy (*Papaver somniferum* L.) seed oil methyl ester as a source of 2nd generation biodiesel feedstock. **Industrial Crops and Products**, v. 152, p. 112493, set. 2020.

BIODIESELBR. **EUA: Produção de diesel de biomassa cresceu 38% em 2023.** Disponível em: <<https://www.biodieselbr.com/noticias/inter/eua/eua-producao-de-diesel-de-biomassa-cresceu-38-em-2023-300424>>. Acesso em: 13 maio. 2024.

BORDIN, P. Análise dos custos de produção do biodiesel obtidos através da soja, do girassol e da canola no Rio Grande do Sul. 2010.

BOUSSO, R.; BOSE, S. BP to buy out Bunge’s stake in Brazilian biofuels JV in \$1.4 bln deal. **Reuters**, 20 jun. 2024.

BRASIL. 11.097. Lei nº 11.097. . 13 jan. 2005.

BRASIL. **RESOLUÇÃO Nº 798, DE 1º DE AGOSTO DE 2019.** Disponível em: <<https://www.in.gov.br/web/dou>>. Acesso em: 12 maio. 2024.

BRASIL. Projeto de Lei nº 528, de 2020. . 2020.

BRASIL. **Marco Regulatório.** Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/petroleo-gas-natural-e-biocombustiveis/biodiesel/pnpb/marco-regulatorio/marco-regulatorio>>. Acesso em: 7 mar. 2025a.

BRASIL. 4196. PL 4196/2023. . 29 ago. 2023.

BRASIL. **Legislação Informatizada - LEI Nº 14.993, DE 8 DE OUTUBRO DE 2024 - Publicação Original.** Disponível em: <<https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2024/lei-14993-8-outubro-2024-796443-publicacaooriginal-173317-pl.html>>. Acesso em: 26 jan. 2025.

BRASIL, I. 7. Resolução nº 7, de 20 de abril de 2021. . 20 abr. 2021 b.

BRYNGEMARK, E. Second generation biofuels and the competition for forest raw materials: A partial equilibrium analysis of Sweden. **Forest Policy and Economics**, v. 109, p. 102022, dez. 2019.

BURFISHER, M. E. **Introduction to Computable General Equilibrium Models**. 2. ed. [s.l.] Cambridge University Press, 2016.

BUSCH, J. et al. Effects of demand-side restrictions on high-deforestation palm oil in Europe on deforestation and emissions in Indonesia. **Environmental Research Letters**, v. 17, n. 1, p. 014035, 1 jan. 2022.

CALERO, J. et al. An overview on glycerol-free processes for the production of renewable liquid biofuels, applicable in diesel engines. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 42, p. 1437–1452, fev. 2015.

CALVIN, K. et al. **IPCC, 2023: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland**. [s.l.] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 25 jul. 2023. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>>. Acesso em: 23 maio. 2024.

CARB, C. A. R. B. **Low Carbon Fuel Standard | California Air Resources Board**. Disponível em: <<https://ww2.arb.ca.gov/our-work/programs/low-carbon-fuel-standard>>. Acesso em: 21 ago. 2024.

CARDOSO, L. DA C. **Caracterização de óleo de peixe e potencial de produção de biodiesel**. masterThesis—[s.l.] Universidade Estadual de Maringá, 2017.

CARREGOSA, L.; CLAVERY, E. **Câmara aprova projeto que estabelece mistura de até 25% de biodiesel no diesel; entenda | Política | G1**. Disponível em: <<https://g1.globo.com/politica/noticia/2024/03/13/camara-aprova-texto-base-de-projeto-que-estabelece-mistura-de-ate-25percent-de-biodiesel-no-diesel-entenda.ghtml>>. Acesso em: 11 jun. 2024.

CARVALHO, M. M. DE. Efetividade econômica, social e ambiental da precificação de carbono na economia brasileira para o alcance de metas de redução de emissões de gases de efeito estufa. 24 fev. 2022.

CHEN, Z. Measuring the regional economic impacts of high-speed rail using a dynamic SCGE model: the case of China. **European Planning Studies**, v. 27, n. 3, p. 483–512, 4 mar. 2019.

CHIAPPINI, G. **Projetos de diesel verde e SAF no Brasil dependem do fim de barreiras comerciais, avalia Aprobio. eixos**, 7 jan. 2025. Disponível em: <<https://eixos.com.br/politica/projetos-de-diesel-verde-e-saf-no-brasil-dependem-do-fim-de-barreiras-comerciais-avalia-aprobio/>>. Acesso em: 26 jan. 2025

COSTA, A. O. DA et al. **RenovaBio: Biocombustíveis 2030 Nota Técnica: Papel dos biocombustíveis na matriz.** , 24 fev. 2017. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-155/EPE%20-%20NT1%20-%20PAPEL%20DOS%20BIOCOMBUST%3%8DVEIS%20-%20ARQUIVO%201.pdf>>. Acesso em: 16 mar. 2024

COSTA, A. O. DA et al. **Combustíveis renováveis para uso em motores do ciclo Diesel**. Rio de Janeiro: EPE - Empresa de Pesquisa Energética, mar. 2020.

DB, D. B. Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG). . **November**, 15 nov. 2019.

DELZEIT, R.; MARKOFF, S.; THUBE, S. **D2.4 Economic scenarios outputs based on policy workshops**. , 8 nov. 2023. Disponível em: <<https://preprints.arphahub.com/article/115385/>>. Acesso em: 14 maio. 2024

DEMIRBAS, A. Biofuels sources, biofuel policy, biofuel economy and global biofuel projections. **Energy Conversion and Management**, v. 49, n. 8, p. 2106–2116, ago. 2008.

DIAS, R. F.; FILHO, C. A. A. DE C. Bioeconomia no Brasil e no mundo: panorama atual e perspectivas. **Revista Virtual de Química**, v. 9, n. 1, 2017.

DIXON, P. B. et al. **ORANI: a multisectorial model of the Australian economy**. Amsterdam: North-Holland: [s.n.].

DIXON, P. B.; RIMMER, M. T. **Dynamic general equilibrium modelling for forecasting and policy: a practical guide and documentation of MONASH**. 1st ed ed. Amsterdam ; Boston: Elsevier, 2002.

DOMINGUES, E. P. **Dimensão regional e setorial da integração brasileira na Área de Livre Comércio das Américas**. Doutorado em Teoria Econômica—São Paulo: Universidade de São Paulo, 24 out. 2002.

DUARTE, V. et al. Biocombustíveis: uma revisão sobre o panorama histórico, produção e aplicações do biodiesel. 16 nov. 2022.

EI, E. I. **Resources and data downloads**. , 2024. Disponível em: <<https://www.energyinst.org/statistical-review/resources-and-data-downloads>>. Acesso em: 13 maio. 2024

EPE, E. DE P. E. **Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis – Ano 2015**. Empresa de Pesquisa Energética – EPE, , 10 maio 2016. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-398/An%C3%A1lise%20de%20Conjuntura%20dos%20Biocombust%C3%ADveis1%20-%20Ano%202015.pdf>>

EPE, E. DE P. E. **BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL 2022: Ano base 2021**. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-675/topico-638/BEN2022.pdf>>. Acesso em: 9 jan. 2025a.

EPE, E. DE P. E. Descarbonização do Setor de Transporte Rodoviário Intensidade de carbono das fontes de energia. set. 2022b.

EPE, E. DE P. E. **Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis – Ano 2022**. Empresa de Pesquisa Energética – EPE, , ago. 2023a.

EPE, E. DE P. E. **Panorama de Biometano**. dez. 2023b. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados->

abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-781/Panorama%20de%20Biometano.pdf>. Acesso em: 9 jan. 2025

EPE, E. DE P. E. **Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis – Ano 2023.** , ago. 2024a.

EPE, E. DE P. E. Demanda de Energia dos Veículos Leves: 2025-2034. **Demanda de Energia dos Veículos Leves: 2025-2034**, dez. 2024b.

FERREIRA FILHO, J. B. D. S.; HORRIDGE, M. Ethanol expansion and indirect land use change in Brazil. **Land Use Policy**, v. 36, p. 595–604, jan. 2014.

FILHO, J. B. DE S. F. The rise in global demand for ethanol and poverty in Brazil. jun. 2011.

FOCHEZATTO, A. Estrutura da Demanda Final e Distribuição de Renda no Brasil: Uma Abordagem Multissetorial Utilizando uma Matriz de Contabilidade Social. 2011.

GLISIC, S. B.; PAJNIK, J. M.; ORLOVIĆ, A. M. Process and techno-economic analysis of green diesel production from waste vegetable oil and the comparison with ester type biodiesel production. **Applied Energy**, v. 170, p. 176–185, maio 2016.

GOLDEMBERG, J. Ethanol for a Sustainable Energy Future. **Science**, v. 315, n. 5813, p. 808–810, 9 fev. 2007.

GONCALVES, M. F. et al. OS DESCOMPASSOS DO PROGRAMA NACIONAL DE PRODUÇÃO E USO DE BIODIESEL (PNPB) NO NORDESTE. 2008.

HEAD, M. et al. Temporally-differentiated biogenic carbon accounting of wood building product life cycles. **SN Applied Sciences**, v. 3, n. 1, p. 62, 10 jan. 2021.

HEIMANN, T. et al. Phasing out palm and soy oil biodiesel in the EU : What is the benefit? **GCB Bioenergy**, v. 16, n. 1, p. e13115, jan. 2024.

HOLANDA, A. **Biodiesel e inclusão social**. Brasília: Câmara dos Deputados: [s.n.].

HORRIDGE, M. **ORANI-G: A General Equilibrium Model of the Australian Economy**. [s.l: s.n.].

HORRIDGE, M. The TERM Model and Its Database. Em: WITTEWER, G. (Ed.). **Economic Modeling of Water**. Global Issues in Water Policy. Dordrecht: Springer Netherlands, 2012. v. 3p. 13–35.

IBGE. **Matriz de Insumo-Produto** | IBGE. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/contas-nacionais/9085-matriz-de-insumo-produto.html?=&t=conceitos-e-metodos>>. Acesso em: 16 jul. 2024a.

IBGE, I. B. DE G. E E. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD). Séries Históricas**. , 2015. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9127-pesquisa-nacional-por-amostra-de-domicilios.html?=&t=series-historicas>>. Acesso em: 15 abr. 2025

IBGE, I. B. DE G. E E. **Sistema de Contas Nacionais: Brasil | IBGE**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/contas-nacionais/9052-sistema-de-contas-nacionais-brasil.html>>. Acesso em: 2 ago. 2024.

IBGE, I. B. DE G. E E. **Tabelas de recursos e usos - Nível 68 – 2010-2021 – Nível de atividade de divulgação mais desagregado.** , 2024b. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/contas-nacionais/9052-sistema-de-contas-nacionais-brasil.html>>. Acesso em: 12 maio. 2024

IBGE, I. B. DE G. E E. **Sistema de Contas Nacionais Trimestrais | IBGE.** , 2024c. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/contas-nacionais/9300-contas-nacionais-trimestrais.html?=&t=o-que-e>>. Acesso em: 15 abr. 2025

IBGE, I. B. DE G. E E. **Projeções da População | IBGE.** , 2025. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9109-projecao-da-populacao.html>>. Acesso em: 15 abr. 2025

IBP, I. B. DE P. E G. **Brasil e a liderança em biocombustíveis. Além da Superfície**, 15 out. 2024. Disponível em: <<https://www.alemadasuperficie.org/ibp/brasil-e-a-lideranca-em-biocombustiveis/>>. Acesso em: 26 jan. 2025

JOTA, E. **Combustível do Futuro: mistura de diesel verde por produtores reduziria custos.** Disponível em: <<https://www.jota.info/coberturas-especiais/combustivel-do-futuro-mistura-de-diesel-verde-por-produtores-reduziria-custos>>. Acesso em: 9 jan. 2025.

JULIO, A. A. V. et al. Techno-economic and environmental potential of Renewable Diesel as complementation for diesel and biodiesel in Brazil: A comprehensive review and perspectives. **Journal of Cleaner Production**, v. 371, p. 133431, out. 2022.

KRISTIANA, T.; BALDINO, C. Potential biofuel production pathways in Indonesia: Overview of processes, feedstocks, and types of fuel. **INTERNATIONAL COUNCIL ON CLEAN TRANSPORTATION**, abr. 2021.

KULITCH, A. et al. DIRETRIZES PROCONVE E EURO: UMA ANÁLISE DA EVOLUÇÃO DAS REGULAMENTAÇÕES E AVANÇOS TECNOLÓGICOS NO CONTROLE DE EMISSÕES DE VEÍCULOS A DIESEL. **Conhecimento Interativo**, v. 18, n. 1, p. 299–314, 30 jul. 2024.

LEITE, R. C. D. C.; LEAL, M. R. L. V. O biocombustível no Brasil. **Novos Estudos - CEBRAP**, n. 78, p. 15–21, jul. 2007.

MACHADO, M. C. **Combustível do Futuro vai a plenário com flexibilidade para emissões de gás natural.** **MegaWhat**, 3 set. 2024. Disponível em: <<https://megawhat.energy/politica-energetica/combustivel-do-futuro-vai-a-plenario-com-flexibilidade-para-emissoes-de-gas-natural/>>. Acesso em: 9 jan. 2025

MACHADO, N. **Por que governos ao redor do mundo estão reduzindo a mistura de biodiesel? agência epbr**, 7 dez. 2021. Disponível em: <<https://epbr.com.br/por-que-governos-ao-redor-do-mundo-estao-reduzindo-a-mistura-de-biodiesel/>>. Acesso em: 17 jun. 2024

MACHADO, P. G. et al. The potential of a bioeconomy to reduce Brazilian GHG emissions towards 2030: a CGE-based life cycle analysis. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, v. 14, n. 2, p. 265–285, 2020.

MAE, M. DE A. Y E. **Plan Nacional de Descarbonización. Dirección de Cambio Climático**, 24 fev. 2019. Disponível em: <<https://cambioclimatico.minae.go.cr/plan-nacional-de-descarbonizacion/>>. Acesso em: 21 ago. 2024

MANIATIS, K. et al. **Building up the future, cost of biofuel: sub group on advanced biofuels : sustainable transport forum**. [s.l.] Publications Office of the European Union, 2018.

MARTINS, M. A. Lei de informática, sistema produtivo e efeitos econômicos: uma análise das diretrizes requisitadas pela OMC no Brasil. 25 mar. 2021.

MDIC, M. DO D., Indústria, Comércio e Serviços. **Comex Stat.** , 2024. Disponível em: <<https://comexstat.mdic.gov.br/pt/home>>. Acesso em: 21 ago. 2024

MEADOWS, D. H.; CLUB OF ROME; POTOMAC ASSOCIATES (EDS.). **The limits to growth: a report for the club of rome's project on the predicament of mankind**. 2. ed ed. New York: Universe books, 1974.

MEJIAS, R. G. Bioeconomia e suas aplicações. **ÍANDÉ : Ciências e Humanidades**, v. 2, n. 3, p. 105–121, 4 jul. 2019.

MILANEZ, A. Y. et al. Biodiesel e diesel verde no Brasil : panorama recente e perspectivas. set. 2022.

MILLER, R. E.; BLAIR, P. D. **Input-Output Analysis: Foundations and Extensions**. 2. ed. [s.l.] Cambridge University Press, 2009.

MOKHTAR, M. et al. Towards nationwide implementation of 40% biodiesel blend fuel in Indonesia: a comprehensive road test and laboratory evaluation. **Biofuel Research Journal**, v. 10, n. 03, p. 1876–1889, 1 set. 2023.

MONTIBELLER-FILHO, G. CRESCIMENTO ECONÔMICO E SUSTENTABILIDADE. **Sociedade & Natureza**, v. 19, n. 1, 1 nov. 2007.

MWANGI, J. K. et al. An overview: Energy saving and pollution reduction by using green fuel blends in diesel engines. **Applied Energy**, v. 159, p. 214–236, dez. 2015a.

MWANGI, J. K. et al. An overview: Energy saving and pollution reduction by using green fuel blends in diesel engines. **Applied Energy**, v. 159, p. 214–236, dez. 2015b.

NAKAMYA, M.; ROMSTAD, E. Ethanol for an agriculture-based developing economy: A computable general equilibrium assessment for Uganda. **Energy for Sustainable Development**, v. 59, p. 160–169, 1 dez. 2020.

NEVES, T. J.; HARDER, M. N. C. Diesel verde: a nova era dos biocombustíveis em uma revisão. **Bioenergia em Revista: Diálogos (ISSN: 2236-9171)**, v. 11, n. 2, 23 dez. 2021.

NU, N. U. **Paris Agreement**. 2015. Disponível em: <[https://unfccc.int/sites/default/files/english\\_paris\\_agreement.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf)>. Acesso em: 18 abr. 2024

NU, N. U. NO B. **O que são as mudanças climáticas? | As Nações Unidas no Brasil**. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/175180-o-que-s%C3%A3o-mudan%C3%A7as-clim%C3%A1ticas>, <https://brasil.un.org/pt-br/175180-o-que-s%C3%A3o-mudan%C3%A7as-clim%C3%A1ticas>>. Acesso em: 1 abr. 2024.

OLADOSU, G. Estimates of the global indirect energy-use emission impacts of USA biofuel policy. **Applied Energy**, v. 99, p. 85–96, nov. 2012.

OLIVEIRA, E. D. Economia verde, economia ecológica e economia ambiental: uma revisão. **Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade**, v. 13, n. 6, 15 dez. 2017.

ONG, H. C. et al. Recent advances in biodiesel production from agricultural products and microalgae using ionic liquids: Opportunities and challenges. **Energy Conversion and Management**, v. 228, p. 113647, jan. 2021.

OUMER, A. N. et al. Bio-based liquid fuels as a source of renewable energy: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 88, p. 82–98, maio 2018.

P. RAMOS, L. et al. Biodiesel: Raw Materials, Production Technologies and Fuel Properties. **Revista Virtual de Química**, v. 9, n. 1, p. 317–369, 2017.

PECEQUILO, C. S. **Temas da agenda internacional O Brasil e o mundo**. [s.l.: s.n.].

PENG, Z.-R.; ZHU, Y.; SONG, S. Mobility of the Chinese Urban Poor: A Case Study of Hefei City. **The Chinese Economy**, v. 41, n. 1, p. 36–57, jan. 2008.

PEREIRA JUNIOR, A. O. et al. **Texto para Discussão 3008**. [s.l.] Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea), 2024.

PEROBELLI, F. S. et al. Impactos Econômicos do Aumento das Exportações Brasileiras de Produtos Agrícolas e Agroindustriais para Diferentes Destinos. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 55, n. 2, p. 343–366, jun. 2017.

PINTO, D. S. **Programa computacional para avaliação econômico/financeira de processos para produção de biodiesel**. Rio de Janeiro: UFRJ/EQ, 2014.

PLANTE, L. et al. Bioenergy from biofuel residues and waste. **Water Environment Research**, v. 91, n. 10, p. 1199–1204, out. 2019.

POMPELLI, M. F. et al. Crise energética mundial e o papel do Brasil na problemática de biocombustíveis. **Agronomía Colombiana**, v. 29, n. 2, p. 423–433, jun. 2011.

PROQUE, A. L. **Estrutura Produtiva, Renda e Consumo: Os Efeitos Econômicos da Cide e Contrapartidas ao Transporte Rodoviário de Passageiros no Brasil**. Juiz de Fora: Universidade Federal de Juiz de Fora, 2019.

QUESSADA, T. P. et al. **OBTENÇÃO DE BIODIESEL A PARTIR DE ÓLEO DE SOJA E MILHO UTILIZANDO CATALISADORES BÁSICOS E CATALISADOR ÁCIDO**. 2010.

RITCHIE, H.; ROSADO, P.; ROSER, M. Breakdown of carbon dioxide, methane and nitrous oxide emissions by sector. **Our World in Data**, 5 jan. 2024.

ROMIO, R. **Discussão sobre a utilização dos 'fatores de ajuste de consumo de combustível' do programa brasileiro de etiquetagem veicular em veículos híbridos: estudo de caso com o veículo Toyota Prius**. Mestrado em Análise e Planejamento Energético—São Paulo: Universidade de São Paulo, 28 jan. 2021.

SAHARA et al. Economic impacts of biodiesel policy in Indonesia: a computable general equilibrium approach. **Journal of Economic Structures**, v. 11, n. 1, p. 22, 9 nov. 2022.

SALLES, A. O. T.; MATIAS, A. L. Uma análise da teoria das externalidades de Pigou e Coase e suas aplicações na abordagem teórica da Economia Ambiental. **INFORME ECONÔMICO (UFPI)**, v. 44, n. 1, 29 jun. 2022.

SANTOS, J. A. DOS; FERREIRA FILHO, J. B. DE S. Substituição de combustíveis fósseis por etanol e biodiesel no Brasil e seus impactos econômicos : uma avaliação do Plano Nacional de Energia 2030. <http://ppe.ipea.gov.br>, dez. 2017.

SCHAFFEL, S. B. **EM BUSCA DA ECO-SÓCIO EFICIÊNCIA NO CASO DA AGRICULTURA FAMILIAR VOLTADA PARA A PRODUÇÃO DE BODIESEL NO BRASIL**. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, ago. 2010.

SILVA, M. F. DE O. E.; PEREIRA, F. DOS S.; MARTINS, J. V. B. A bioeconomia brasileira em números. mar. 2018.

SINGH, D. et al. A review on feedstocks, production processes, and yield for different generations of biodiesel. **Fuel**, v. 262, p. 116553, fev. 2020.

SOUZA, G. C. P. DE. CRESCIMENTO ECONÔMICO, DESMATAMENTO E EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA: ANÁLISES PROSPECTIVAS PARA OS BIOMAS BRASILEIROS NUMA PERSPECTIVA DE SUSTENTABILIDADE. 21 fev. 2022.

TAHERIPOUR, F.; TYNER, W. E. US biofuel production and policy: implications for land use changes in Malaysia and Indonesia. **Biotechnology for Biofuels**, v. 13, n. 1, p. 11, dez. 2020.

TAYARI, S.; ABEDI, R.; RAHI, A. Comparative assessment of engine performance and emissions fueled with three different biodiesel generations. **Renewable Energy**, v. 147, p. 1058–1069, mar. 2020.

TIMMERMAN, L. **Can biodiesel compete on price?** Disponível em: <<https://www.seattletimes.com/business/can-biodiesel-compete-on-price/>>. Acesso em: 24 jun. 2024.

TOLDRÁ-REIG, F.; MORA, L.; TOLDRÁ, F. Trends in Biodiesel Production from Animal Fat Waste. **Applied Sciences**, v. 10, n. 10, p. 3644, 25 maio 2020.

TSITA, K. G. et al. Next generation biofuels derived from thermal and chemical conversion of the Greek transport sector. **Thermal Science and Engineering Progress**, v. 17, p. 100387, jun. 2020.

USDA. **USDA ERS - U.S. Bioenergy Statistics**. USDA - United States Department of Agriculture, , 22 abr. 2024. Disponível em: <<https://www.ers.usda.gov/data-products/u-s-bioenergy-statistics/>>. Acesso em: 13 maio. 2024

VAN BELLEN, H. M. Desenvolvimento sustentável: uma descrição das principais ferramentas de avaliação. **Ambiente & Sociedade**, v. 7, n. 1, p. 67–87, jun. 2004.

VIDAL, M. DE F. **PRODUÇÃO E USO DE BIOCOMBUSTÍVEIS NO BRASIL**. 2019.

VIDAL, M. DE F. **Indústria: Biocombustíveis - Biodiesel e Etanol**. out. 2022.

WANG, Z. et al. Socioeconomic effects of aviation biofuel production in Brazil: A scenarios-based Input-Output analysis. **Journal of Cleaner Production**, v. 230, p. 1036–1050, set. 2019.

WENG, Y. et al. Exploring the impacts of biofuel expansion on land use change and food security based on a land explicit CGE model: A case study of China. **Applied Energy**, v. 236, p. 514–525, fev. 2019.

WINCHESTER, N. et al. Economic and emissions impacts of renewable fuel goals for aviation in the US. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 58, p. 116–128, dez. 2013.

WMO, W. M. O. **WMO Greenhouse Gas Bulletin No. 19 – 15 November 2023**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://library.wmo.int/idurl/4/68532>>. Acesso em: 23 maio. 2024.

ZAIMES, G. et al. Design of Sustainable Biofuel Processes and Supply Chains: Challenges and Opportunities. **Processes**, v. 3, n. 3, p. 634–663, 20 ago. 2015.

ZHAO, X. et al. Estimating induced land use change emissions for sustainable aviation biofuel pathways. **Science of The Total Environment**, v. 779, p. 146238, jul. 2021.

## Erro! Indicador não definido. I – Agrupação dos setores

Macro grupos	Grupos	Setores
Agropecuária	Agropecuária	Agricultura
		Pecuária
		Produção florestal
	Extrativa	Carvão mineral e de minerais não metálicos
		Petróleo e gás
		Minério de ferro
		Minerais metálicos não ferrosos
	Alimentos	Abate e produtos de carne
		Abate e produtos de carne
		Outros produtos alimentares
		Bebidas
	Têxtil e calçados	Produtos do fumo
		Produtos têxteis
		Confecção de artefatos do vestuário e acessórios
Madeira e derivados	Calçados e de artefatos de couro	
	Produtos da madeira	
	Celulose	
Diesel B	Impressão e reprodução de gravações	
	Refino de petróleo e coquerias	
Indústria	Biocombustíveis	Biodiesel para consumo das refinarias
		Diesel Verde para consumo das refinarias
		Etanol e outros biocomb.
	Químicos	Biodiesel
		Diesel Verde
	Perfumaria e farmacêuticos	Químicos orgânicos e inorgânicos
		Defensivos
	Borracha e plástico	Produtos de limpeza
		Farmoquímicos e farmacêuticos
	Metalurgia e Siderurgia	Produtos de borracha e de material plástico
		Produtos de minerais não metálicos
Produção de ferro gusa/ferroligas		
Eletrônica/comunicação	Metalurgia de metais não ferrosos e a fundição	
	Fabricação de produtos de metal	
Maquinas e equipamentos (Maq.Eq.)	Fabricação de equipamentos de informática	
	Fabricação de maq.eq.elétricos	
Fabricação de transportes	Fabricação de maq.eq. mecânicos	
	Automóveis	
	Peças e acessórios para veículos automotores	
Diversos	Outros equipamentos de transporte	
	Fabricação de móveis e de produtos de indústrias diversas	
Serviços	SIUP	Manutenção
		Energia elétrica
		Água
	Construção Civil	Construção
		Comércio
	Transporte Geral	Comércio por atacado e varejo
		Transporte terrestre
	Transp. Aéreo	Transporte aquaviário
		Transporte aéreo
	Armazenagem	Armazenamento
Serviços diversos		
		Outros serviços

Fonte: Elaboração própria