

Impactos econômicos e ambientais do aumento da taxa *blend* e melhorias de eficiência do diesel B no Brasil¹

Gustavo Luz Coutinho²

Admir Batarelli Júnior³

Edson Domingues⁴

Douglas Sad Oliveira⁵

Resumo: O diesel B, mistura de biodiesel com diesel fóssil, é central na estratégia de descarbonização do transporte no Brasil. Alterações na taxa de mistura e ganhos de eficiência no seu uso, propostas pelo programa Combustível do Futuro (CdF), levantam implicações econômicas e ambientais relevantes. Utilizando o modelo de equilíbrio geral computável BIM-RD, com detalhamento do biodiesel na base de dados, os resultados indicam redução nas emissões, especialmente com a maior eficiência do combustível, além de efeitos redistributivos positivos e estímulo à agropecuária devido à maior demanda por insumos.

Abstract: Biodiesel-blended diesel (diesel B) plays a key role in Brazil's strategy for decarbonizing the transport sector. Changes in the blend ratio and improvements in fuel efficiency, as proposed by the Future Fuel Program (CdF), raise important economic and environmental implications. Using the BIM-RD computable general equilibrium (CGE) model, which includes a disaggregated biodiesel sector, results indicate a reduction in emissions - especially under the efficiency improvement scenario - as well as positive income redistribution effects and growth in agriculture driven by increased demand for biodiesel inputs.

Palavra-chave: Biodiesel, EGC, Programa Combustível do Futuro

Keywords: Biodiesel; CGE; Future Fuel Program.

Área de submissão: Meio ambiente, recursos naturais e sustentabilidade.

JEL: Q42; Q58; C68.

1. Introdução

Desde o acordo de Paris, em 2015, 195 países estabeleceram como meta reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE) globais com objetivo de minimizar o impacto ambiental decorrente das atividades humanas. O crescimento das emissões tem como principal consequência o aumento da temperatura global, podendo gerar insegurança alimentar e hídrica e maior frequência de eventos climáticos extremos. Dentre os países signatários, o Brasil propôs reduzir suas emissões em 48% até 2025 e 53% até 2030, com base nos valores registrados em 2005 (NU, 2015). Como uma das formas de alcançar tais

¹ Agradecemos à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo financiamento ao Projeto nº APQ-02343-22 da Demanda Universal (Edital Nº 001/2022), que tornou possível a realização desta pesquisa.

² Doutorando em Economia no CEDEPLAR/UFMG. E-mail: gustavoluzc@gmail.com

³ Professor no PPGE/UFJF. Email: admir.batarelli@ufjf.br.

⁴ Professor no CEDEPLAR /UFMG. Email: domingues.edson@gmail.com.

⁵ Professor visitante no PPGE/UFJF. Email: douglas.silveira@ufjf.br.

metais, o país vem estimulando a produção de biocombustíveis nacionais com o objetivo de reduzir as emissões do setor de transporte, segunda maior fonte de poluição brasileira, atrás somente das emissões oriundas do uso do solo (SEEG, 2024).

O mercado nacional de biocombustíveis é representado pelo etanol, voltado aos veículos leves, e o biodiesel, para os veículos pesados (Demirbas, 2008). A implementação dos biocombustíveis no Brasil foi impulsionada pela crise do petróleo nos anos de 1970, como forma de reduzir a dependência nacional ao petróleo importado, porém, com a normalização do preço do barril, as pesquisas foram abandonadas (Abreu; Vieira; Ramos, 2006).

Somente no início dos anos 2000, com o Programa Brasileiro de Desenvolvimento Tecnológico de Biodiesel (PROBIODIESEL) e a introdução do carro *flex* que os biocombustíveis foram a crescer no país (P. Ramos et al., 2017). O carro *flex* deu liberdade ao consumidor de escolher qual combustível consumir, a gasolina ou o etanol, a depender do preço e de sua preferência. Tal tecnologia fez com que o Brasil se tornasse um dos maiores consumidores e produtores de etanol no mundo, posicionando os biocombustíveis como principais formas para descarbonização dos veículos no país (EPE, 2023).

O PROBIODIESEL, que foi reestruturado em 2004 como Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB), estruturou a implementação do biodiesel, chamado de B100 em sua forma pura, na matriz energética nacional, estabelecendo taxas de misturas obrigatórias, chamadas taxas de *blend*, do biocombustível com seu equivalente fóssil, o diesel fóssil, gerando o diesel B (Aguiar, 2023). Em 2013, o PNPB estabeleceu a mistura obrigatória de 5% de *blend*, aumentando ao longo do período para atingir 12% em 2023. Tal obrigatoriedade fez com que a produção de biodiesel no Brasil aumentasse o volume produzido de 2,9 milhões de litros para 7,5 milhões de litros, um crescimento de 159% (ANP, 2024).

Em 2023, o projeto de lei (PL) 4.196 formulou o programa “Combustível do Futuro” (CdF), visando a criação de programas para estudos, exploração e incentivo a fabricação de novos biocombustíveis, como o combustível de aviação sustentável (QAV), biometano e diesel verde; e o estabelecimento de novos percentuais de mistura do etanol na gasolina e do biodiesel no diesel fóssil. Em outubro de 2024, a lei 14.993, cujo programa CdF faz parte, é aprovada e suas diretrizes de melhorias técnicas e aumento de misturas dos biocombustíveis são postas em prática, tendo como objetivo substituir os combustíveis fósseis no transporte terrestre, marítimo e aéreo por combustíveis sustentáveis, sendo considerado o maior programa de descarbonização da matriz de transporte e mobilidade do planeta. As métricas estabelecidas pelo programa CdF foram de aumento anual de 1% na taxa de mistura do diesel B entre 2025 a 2030, atingindo a marca de 20% em 2030, ficando a cargo do Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) revogar ou acelerar o comprimento da política (BRASIL, 2024; Júnior, 2024).

Outro ponto aprovado pela lei foi a integração da Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio), do Programa Mobilidade Verde e Inovação (Programa Mover), Programa de Controle de Emissões Veiculares (Proconve) e o Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular (PBEV) para promover a mobilidade sustentável de baixo carbono. Um dos pontos discutidos ocorrerá pelo incremento da eficiência dos combustíveis líquidos já

existentes através de melhorias produtivas ou em seu uso, através de alterações nos veículos. (BRASIL, 2024).

Este estudo avalia os impactos da alteração na taxa de mistura do biodiesel no diesel B e de melhorias em sua eficiência energética, por meio do modelo de Equilíbrio Geral Computável BIM-RD (Brazilian Intersectoral Model with Recursive Dynamic). A desagregação do diesel B em seus componentes permite simular diferentes taxas de blend, contribuindo para a literatura ao analisar uma política em implementação. O modelo é nacional, parte de 2015 e projeta efeitos até 2040 sobre setores, famílias e consumo.

A Seção 2 revisa conceitos da economia verde e aplicações de EGC aos biocombustíveis. A Seção 3 apresenta a metodologia, desagregação do diesel B e os cenários simulados. A Seção 4 avalia e discute os resultados. A Seção 5 discute as principais implicações da política Combustível do Futuro sobre o diesel B.

2. Contexto e estudos relacionados

2.1. Teoria do crescimento sustentável

As emissões de GEE são compreendidas como externalidades negativas podendo ser internalizadas através de políticas e regulamentações governamentais. As questões ambientais e crescimento econômico são compreendidas como um *trade-off* visto que tais externalidades são incorporadas como um acréscimo no custo de produção da economia (Montibeller-Filho, 2007; Mwangi et al., 2015; Souza, 2022; Zaimes et al., 2015).

A internalização das emissões cabe a cada países, formulando um planejamento adaptado as suas principais fontes emissoras e utilizando de instrumentos diversos. O *Plan Nacional de Descarbonización* da Costa Rica tem como foco a neutralidade total das emissões até 2050, planejando um reestruturação de toda a economia do país; o *Bundes-Flimaschutzgesetz* da Alemanha estrutura um mercado de carbono interno e estabelece metas setoriais de redução, disponibilizando recursos governamentais para auxiliar em novas tecnologias que propiciem redução no impacto ambiental; e *Low Carbon Fuel Standard* na Califórnia - EUA, que é focado somente no setor de transporte do estado, criando créditos de carbono e focado na redução de 20% até 2030; por exemplo. (CARB, 2011; DB, 2019; MAE, 2019).

Essas políticas foram formuladas sob as perspectivas dos anos 70 que, com a crise do petróleo e aumento vertiginoso das emissões dos países desenvolvidos, tinham preocupações quanto a disponibilidade dos recursos ambientais para a continuação do sistema social vivenciado. O relatório “Os Limites do Crescimento” (Meadows; Club of Rome; Potomac Associates, 1974) manifesta tais preocupações, concluindo ser necessário a inclusão dos fatores ecológicos no sistema econômico global, rejeitando a ótica de sistema linear na economia, sendo o final do produto seu descarte, para um sistema aberto, onde produtos utilizados devem ser reaproveitados mediante uso das ferramentas geradas pelo avanço tecnológico (Mejias, 2019; Salles; Matias, 2022).

Dentre os conceitos estabelecidos nos anos 70, o primeiro a ser utilizado para formulação de políticas foi o da economia ambiental, uma vertente ligada aos conceitos da economia clássica que atribui valores monetários aos bens naturais. Por essa ótica, a autorregulação da oferta e demanda iria estabelecer um ambiente ótimo, considerando que todos os produtos movimentados nesta economia teriam em seus preços impostos *pigouvianos* que

iriam equalizar os custos marginais privados e os custos sociais marginais. Com a implementação de tais políticas, as emissões não apresentaram grandes reduções, gerando a economia ecológica, uma ótica vista como um contraponto da economia ambiental, defendendo o estacionamento ou decréscimo da economia global. Utilizando da economia ambiental e da economia ecológica, em 2008 é formulada a economia verde, propondo o crescimento sustentável, alcançado pelo avanço tecnológico, gerando formas mais eficientes dos recursos naturais serem utilizados na produção, e a erradicação da pobreza (Oliveira, 2017; Salles; Matias, 2022).

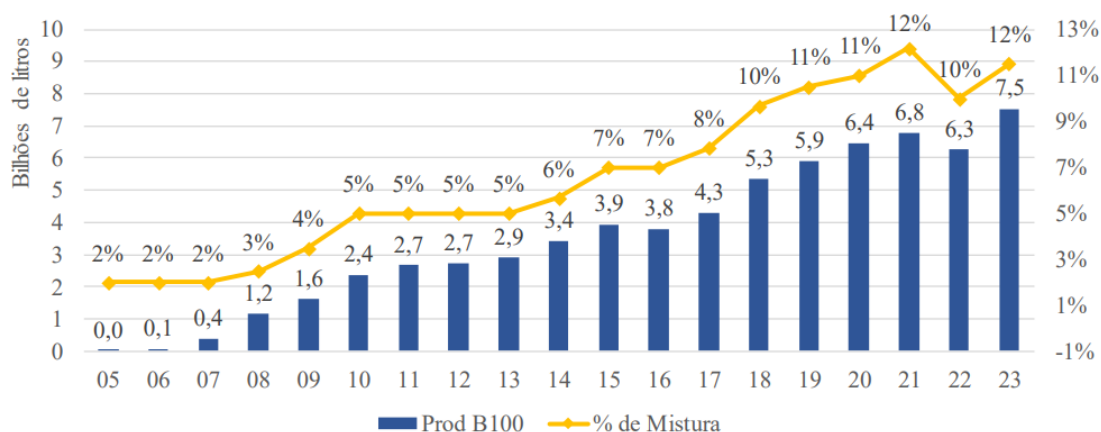
O avanço tecnológico almejado pela economia verde é a biotecnologia, gerando novos produtos com diversas aplicações, como os painéis solares na produção de energia elétrica, sementes transgênicas para alimentação humana e os biocombustíveis para o setor de transporte, por exemplo (Dias; Filho, 2017; Mejias, 2019; Silva; Pereira; Martins, 2018).

2.2.A produção de biodiesel no Brasil e no Mundo

A produção de biodiesel no país, biocombustível utilizado pelos veículos de grande porte, ocorre desde 2005 através de sua mistura com o diesel fóssil no composto diesel B. Após 2015, como forma de estimular o mercado de biodiesel além das políticas de *blend*, o CNPE autorizou a comercialização de diesel B acima do percentual definido. Como forma de demonstrar autonomia e maturidade do mercado, o biodiesel deixou de ser comercializado através de leilões e, após 2022, passou a ocorrer de forma direta, fazendo com que o produtor e distribuidor negociassem os volumes necessários para atingir as metas de mistura. Com a abertura de comercialização, os produtores de biodiesel começaram a explorar o mercado externo, exportando 1,5% do volume total produzido porém, mesmo com essa flexibilização, a produção possui fortes ligações com a taxa de *blend* definida no país (Figura 1) (EPE, 2023; MDIC, 2024; Milanez et al., 2022).

A produção de biodiesel brasileiro ocorre através do uso da soja, que representa em média 70% da matéria-prima, passando por um processo de transesterificação, gerando o biocombustível e a glicerina, subproduto exportado e utilizado pela indústria de cosméticos e farmacêutica (ANP, 2024). A neutralidade de carbono da produção do biodiesel está atrelada a toda a cadeia produtiva, estando interligada com as emissões atreladas ao uso do solo para o plantio da soja, podendo ser classificado como um produto de alto impacto ambiental a depender de todas as emissões atreladas ao seu processo produtivo (FAO, 2018).

Figura 1 - Produção nacional de biodiesel e taxa de mistura obrigatória entre 2005 a 2023



Fonte: ANP 2024

Internacionalmente, a expansão da produção de biodiesel na Indonésia, maior produtora global, tem sido associada ao desmatamento de florestas nativas, gerando críticas da comunidade global (EPE, 2023). Na China e na Índia, a produção de biocombustíveis exige a recuperação de terras degradadas e o uso de óleos residuais, como estratégia para evitar a pressão sobre áreas florestais (Beckman et al., 2018; Weng et al., 2019).

Outra discussão tangente aos biocombustíveis refere-se ao dilema “*food versus fuel*”, em que sua produção compete por insumos com a cadeia alimentar. No caso brasileiro, embora existam tensões sobre o uso de recursos hídricos e o avanço da fronteira agrícola, a disponibilidade de terras de pastagem tem mitigado os riscos à segurança alimentar. Entretanto, faltam evidências quantitativas conclusivas. Entre 2021 e 2023 (Figura 1), o CNPE reduziu temporariamente o percentual de mistura do biodiesel no diesel B diante alta no preço internacional da soja, elevando a disponibilidade interna, controlando os preços internos (Milanez et al., 2022; Mitsue et al., 2024; Silva, 2024).

Em 2022, a Indonésia liderou a produção global de biodiesel, com volume 26% superior ao do Brasil, terceiro maior produtor. Desde 2023, o país adota uma mistura obrigatória de 40%, com meta de alcançar 50%, utilizando principalmente óleo de palma e outros insumos (BiodieselBR, 2025; Wirawan et al., 2024). Os Estados Unidos, segundo maior produtor, aplicam o biodiesel de forma descentralizada, com taxas de blend majoritariamente facultativas e definidas por cada estado. Em 2022, o governo norte-americano anunciou um investimento de US\$ 23 bilhões na promoção de veículos elétricos, sinalizando uma mudança de foco na estratégia de descarbonização do transporte (Costa et al., 2020; EPE, 2023).

2.3. Estudos aplicados

Estudos sobre a produção de biocombustíveis, utilizando modelos de EGC, apontam consequências diversas devido ao estímulo produtivo do setor em contrapartida com a queda do setor produtor de derivados de petróleo. Santos; Ferreira Filho (2017), ao avaliarem o Plano Nacional de Energia 2030 do Brasil por um modelo de EGC, concluem que a substituição dos combustíveis fósseis (gasolina e diesel) pelos seus pares ecológicos (etanol e biodiesel) causa uma redução de 2,56% das emissões totais do país e uma desconcentração econômica, estimulando a região do Centro-Oeste e queda nos estados

que produzem petróleo, como o Rio de Janeiro e Sergipe. Outro efeito encontrado com a promoção dos biocombustíveis foi o efeito distributivo nas rendas das famílias, elevando a demanda por trabalho pouco qualificado, elevando a renda das famílias mais pobres.

Machado et al. (2020) discutem a expansão da bioeconomia no Brasil, averiguando se o aumento da produção de produtos energéticos baseados em biomassa pode reduzir as emissões até 2030, alcançando os marcos do Acordo de Paris. Utilizando de um modelo de EGC para obter as interações setoriais e do uso do solo, os objetivos de redução só serão alcançados zerando o desmatamento e reflorestando algumas áreas já utilizadas para produção alimentar. Mesmo em cenários com a produção de biocombustíveis avançados, que utilizam de restos de biomassa, o ponto principal é a manutenção das florestas e revitalização daquelas já destruídas.

Na China e Índia, países com alta densidade populacional, a produção de biocombustíveis é viável somente em terras revitalizadas, utilizando óleos vegetais usados ou importando matéria-prima, como demonstram os estudos de Weng et al. (2019) e Beckman et al. (2018). Pela limitação de espaço imposta pelas suas populações, a produção de biocombustível elevaria o preço dos produtos alimentares, incentivando o desmatamento e a insegurança alimentar. Os estudos apontam que políticas de proteção florestal devem ocorrer em conjunto com o incentivo ao biocombustível, causando reduções gerais das emissões do país.

A União Europeia, como forma de proteger a segurança alimentar de sua população, definiu que somente o óleo de colza será utilizado na produção de biodiesel, por não ter aplicação alimentícia. Com essa política, analisando através do modelo de EGC DART-BIO, é esperado aumento no preço de todos os insumos do biocombustível, importação de outros óleos não alimentares e geração de insegurança alimentar. Mesmo que a produção não use óleo vegetais alimentares, a produção do óleo de colza será mais vantajosa que a de outros produtos, alterando o uso da terra e impactando na disponibilidade de todos os outros alimentos (Britz; Hertel, 2011; Delzeit; Markoff; Thube, 2023; Heimann et al., 2024).

Ao se observar a Indonésia, principal produtora global, por modelos de EGC, o aumento da taxa de *blend* tem como consequências o aumento nos preços dos alimentos gerado pela substituição de culturas como frutas e vegetais por matéria-prima para o biodiesel (Sahara et al., 2022). Devido a relação do país com o mercado externo, comercializando o óleo vegetal para que outros países produzam biocombustíveis, tanto a produção dos EUA e da União Europeia tem como consequência o aumento no desmatamento do país, evidenciando a expansão na produção de óleos vegetais com a redução das áreas florestais (Busch et al., 2022; Taheripour et al., 2024).

Dessa forma, o presente estudo tem como objetivo compreender os impactos ambientais e econômicos do aumento na taxa de *blend* definidas pelo programa Combustível do Futuro (CdF), os encadeamentos sistêmicos gerados pelo incentivo do setor de biodiesel em prol do diesel fóssil, além de discutir o papel da eficiência energética do biodiesel como forma de reduzir as emissões do setor de transporte brasileiro.

3. Metodologia

3.1. Abordagem EGC

Modelos de equilíbrio geral computável (EGC) são simulações que combinam o conceito de equilíbrio de mercado com dados econômicos, resolvendo de forma numérica a demanda, oferta e os preços que mantem tal equilíbrio. Os dados empíricos que abastecem o modelo EGC são as contas nacionais, que contém todos os fluxos de compras e vendas de cada setor por cada fator de produção, contendo os fluxos dos componentes da demanda final: famílias, governo e restante do mundo. Por meio de função de agregação CET (*Constant Elasticity of Transformation*), os setores ajustam suas ofertas, maximizando sua receita, priorizando os mercados de maior preço relativo para sua venda. A demanda se comporta através de funções CES (*Constant Elasticity of Substitution*) ou Leontief, maximizando seu consumo.

O modelo utilizado é o *Brazilian Intersectoral Model with Recursive Dynamic* (BIM-RD) (Betarelli Junior; Perobelli; De Almeida Vale, 2015), uma adaptação nacional do modelo ORANI (Dixon et al., 1982) com recursiva dinâmica no modelo. As soluções recursivas ocorrem pelas equações que modelam a acumulação de estoque de capital físico e o fluxo de investimentos, fazendo com que a solução do ano presente dependa da solução encontrada ao ano anterior, partindo da hipótese de expectativas estáticas (ou adaptativas) (Dixon; Rimmer, 2002).

A produção de um bem (Z_i) é resultado da combinação de insumos intermediários (X_i) e fatores primários (V_i) em proporções definidas pela Leontief, definida pela equação (1). Cada insumo intermediário pode ser de origem doméstica (D_i) ou importada (I_i), a depender de uma função CES, dado que tal substituição é imperfeita representado pela equação (2), e os fatores primários são distribuídos entre capital (K_i), terra (T_i) e trabalho (L_i), sendo substituídos por uma função CES, representado pela equação (3) (Betarelli Junior et al., 2020).

$$Z_i = \min\left(\frac{X_i}{a_i^X}, \frac{V_i}{a_i^V}\right) \quad (1)$$

Tal que:

$$X_i = \left[\sum_{s=1}^s \delta_{s,i} X_{s,i}^{-\rho^X} \right]^{-\frac{1}{\rho^X}} \quad \forall s = (D, I) \quad (2)$$

$$V_i = \left[\sum_{f=1}^f \delta_{f,i} V_{f,i}^{-\rho^V} \right]^{-\frac{1}{\rho^V}} \quad \forall f = (L, T, K) \quad (3)$$

Em que δ é um parâmetro que satisfaz $\sum_{i=1}^f \delta_{f,i} = 1$ ou $\sum_{i=1}^s \delta_{s,i} = 1$ e ρ expressa as elasticidades de substituição entre os fatores X_i e V_i . O componente recursivo do estoque de capital tem como explicação a equação (4), demonstrando que a quantidade em $t + 1$ depende do valor em t retirada a parcela depreciada (φ_i) mais a parcela investida ($I_{i,t}$) (Horridge, 2012).

$$K_{i,t+1} = (1 - \varphi_i)K_{i,t} + I_{i,t} \quad (4)$$

O fluxo de investimento é compreendido pelas equações (5) e (6), representando a taxa de crescimento do investimento (G_i) como a relação do investimento e o capital (Q_i),

sendo função da taxa de retorno esperado (E_i); o crescimento tendencial (G_i^{Tend}) e um mecanismo de ajuste parcial. O mecanismo depende de $M_i = E_i/R_i^{Normal}$, tal que R_i^{Normal} é a taxa de retorno normal do capital para o investidor i , Q_i e ξ_i , denotando a elasticidade do investimento (Chen, 2019; Horridge, 2012).

$$G_i = Q_i \cdot G_i^{Tend} \cdot \frac{(M_i)^{\xi_i}}{Q_i - 1 + (M_i)^{\xi_i}} \quad (5)$$

$$Q_i = \frac{I_{i,t}}{K_{i,t}} = F(E_i) \quad (6)$$

Além da elasticidade do investimento, há a elasticidade do trabalho e salário, sendo essas as características que faram com que o modelo seja capaz de projetar resultados ao longo do tempo, utilizando não somente a solução inicial, mas também a solução requerida (Betarelli Junior; Perobelli; De Almeida Vale, 2015).

As famílias possuem demandas que seguem uma função Klein-Rubin ou Stone-Geary para agrupar as commodities, gerando um LES (*Linear Expenditure System*), tendo a renda das famílias direcionadas para uma parcela de necessidades básicas e o restante para “bens de luxo”, primeira parcela que irá se alterar. Dessa forma, a utilidade das famílias é representada pela equação (7), sendo a demanda total de bens (Z_i) menos a parcela de bens de necessidade básica (Z_i^{Sub}) vezes a participação orçamentária do bem de luxo i em relação aos gastos totais (S_i^{Lux}) (Proque, 2019).

$$U(Z_i, \dots, Z_c) = \sum_{i=1}^c S_i^{Lux} \ln(Z_i - Z_i^{Sub}) \quad (7)$$

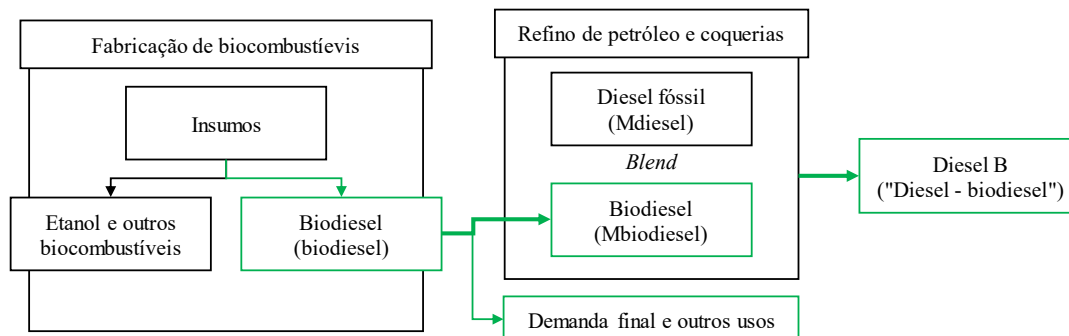
3.2. Biodiesel e emissões

O modelo foi calibrado com os dados da matriz insumo-produto (MIP) brasileira de 2015 disponibilizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Originalmente, a matriz consta com 127 produtos e 67 setores, tendo o produto biodiesel agregado entre os produtos “Etanol e outros biocombustíveis”, em sua versão B100, e o “Diesel-biodiesel”, em sua versão já misturada com o diesel fóssil, sendo este o diesel B. Dessa forma, foi necessária a desagregação desses produtos (Figura 2) para que o biodiesel se apresentasse como um produto separado, sendo possível a alteração da taxa de *blend*.

A desagregação foi realizada utilizando como base a estrutura de custo do produto “Etanol e outros biocombustíveis”, agregados nas nomenclatura estabelecidas por Wang et al. (2019) em seu estudo sobre biocombustível voltado para o setor aéreo, sobre o volume total produzido de etanol e biodiesel (ANP, 2016), alcançando o valor em R\$/m³ médio de cada insumo utilizado. Com uso da literatura, o rendimento foi estimado, utilizando somente o grão de soja como biomassa para sua produção, além dos produtos químicos, custos de transformação, de transporte, de mão de obra e de impostos. Para aqueles valores não destacados na literatura, o valor médio encontrado no produto original foi utilizado vezes o volume de biodiesel produzido em 2015. Para maior aderência dos resultados, a estrutura de custos foi normalizada com relação ao preço praticado

(APROBIO, 2015; Bordin, 2010; Bryngemark, 2019; EPE, 2016; Maniatis et al., 2018; Timmerman, 2006; Toldrá-Reig; Mora; Toldrá, 2020).

Figura 2 – Fluxo do biodiesel na MIP



Fonte: Elaboração própria

A demanda de biodiesel teve como referência a demanda pelo bem “Diesel-biodiesel”, sendo este o diesel B, e os valores presentes no Sistema de Contas Ambientais de Energia (SCAE) de 2015 do IBGE (IBGE, 2021). Utilizando dos valores monetários e em toneladas equivalentes de petróleo (*tep*) do SCAE, o valor foi convertido para m³ de cada setor e, utilizando da taxa *blend* praticada de 7% de 2015, foi encontrado o valor de petróleo consumido setorialmente através dos volumes da MIP. Com tais valores, o preço médio setorial do diesel fóssil e do biodiesel foi estimado e multiplicado pelo volume setorial, desagregando a demanda setorial de diesel B em cada um dos seus componentes em valores monetários.

Para o cálculo de conversão entre *tep* e m³, emissões e troca energética do biodiesel com o diesel fóssil, os dados da EPE foram utilizados, presentes na Tabela 1.

Tabela 1 – Indicadores do diesel fóssil e biodiesel

Combustíveis	Unidade	Diesel	Biodiesel
Densidade	Kg/m ³	840,00	880,00
Conteúdo energético específico	MJ/m ³	0,05	0,04
Emissão total de GEE	TonCO ₂ e/m ³	3,07	0,80
Tonelada Equivalente de Petróleo	tep/m ³	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 ₂ e	% de blend	-	1,35

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

Observando a intensidade de emissão, 1 m³ de biodiesel emite 73,9% menos que o mesmo volume de diesel fóssil em sua queima. Considerando um tanque de 100 m³ de diesel fóssil, para que ocorresse a redução de 1% das emissões, é necessária uma taxa de *blend* de 1,35%. As emissões geradas com o consumo do diesel B é resultado da taxa de *blend* praticada de biodiesel ($blend_{Bio}$) ponderada pelo seu fator de emissão (FE_{Bio}), presente na Tabela 1, e o restante vezes o fator de emissão do diesel (FE_{Diesel}), multiplicado pelo volume do combustível em m³, como apresentado na equação (8).

$$Emissão = [(blend_{Bio} * FE_{Bio}) + ((1 - blend_{Bio}) * FE_{Diesel})] * Volume \quad (8)$$

Logo, no caso da taxa de *blend* praticada em 2015 de 7% e, considerando o volume consumo de 57 milhões de m³ de diesel B (ANP, 2016), as emissões geradas são iguais a

166,8 milhões de toneladas de CO₂e. Caso a taxa fosse de 8%, as emissões seriam de 165,4 milhões de toneladas de CO₂e, uma redução de 0,87%.

3.3.Simulações

A análise inclui três cenários, o de referência (*business-as-usual* – BAU), tendo como base a manutenção da taxa de *blend* de 7%, sendo a praticada no ano-base de 2015; o primeiro cenário (C1), sendo o que ocorre as alterações no *blend* proposto pelo programa CdF, e o segundo cenário (C2), aumentando a eficiência energética do biodiesel em 5% sem alteração na taxa de *blend* do ano-base.

O BAU modela a economia real, inserindo as variações reais dos principais indicadores econômicos do país até as observações de 2024 e, após esse ano, prever até o ano de 2040. Para que o mercado de interesse obtivesse aderência com os valores observados, o valor bruto da produção (VBP) deflacionado do produto “Diesel-Biodiesel” foi inserido. Os valores podem ser observados na Tabela 2.

Tabela 2 - Variação real (%) dos indicadores econômicos

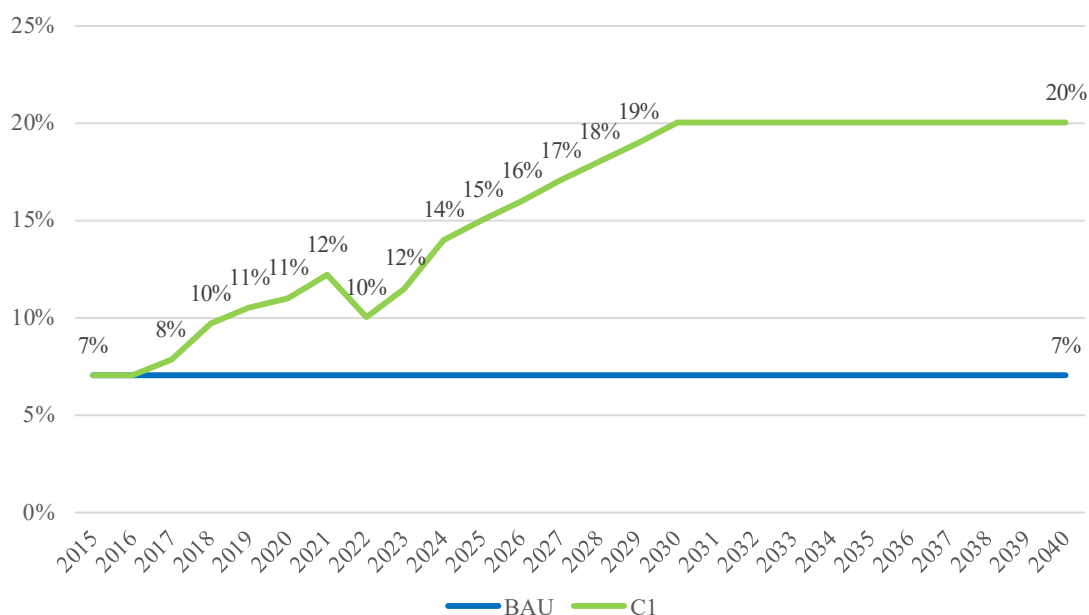
Indicadores econômicos	Observado									Prospectivo ^a
	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2024-2040 (a.a.)
PIB	-3,3	1,3	1,8	1,2	-3,3	4,8	3,0	3,2	3,3	2,2
Consumo das famílias	-3,8	2,0	2,4	2,6	-4,6	3,0	4,2	3,2	5,1	-
Consumo do governo	0,2	-0,7	0,8	-0,4	-3,7	3,5	2,1	3,8	2,1	-
Exportações	0,9	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: ^a Valores ocultos ("-") denotam que as variáveis são endógenas no período.

O C1 retrata as alterações de *blend* que ocorreram desde 2015, incorporando os aumentos após 2024 planejados pelo programa Combustível do Futuro (Figura 3). A inserção de tais alterações no *blend* teve como base os valores projetados no BAU do volume de diesel B e cada um de seus componentes produzidos até 2040, dessa forma, o valor produzido de diesel B não se alterou, somente sua composição, seu *blend*. A hipótese deste cenário é que a alteração da composição do diesel B não gerará alterações no consumo, somente na estrutura produtiva do produto, estimulando o setor de biocombustíveis em prol do refino de petróleo, assumindo substituição perfeita entre tais combustíveis.

Figura 3 - Taxa de blend dos cenários BAU e C1



Fonte: Elaboração própria baseado na lei 14.993/2024

Finalmente, o C2 considera um aumento na eficiência do diesel B de 5% acumulado entre 2015 a 2040, inserindo crescimento anual de 0,2%, sem alterar a taxa de *blend* do ano-base. Como programas como a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio), o Programa Mobilidade Verde e Inovação (Programa Mover), Programa de Controle de Emissões Veiculares (Proconve) e o Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular (PBEV) vem estimulando o avanço tecnológico da produção de biocombustíveis mais eficientes e veículos que conservam mais energia. Desta forma, o cenário C2 tem como hipótese simular tais avanços através de uma melhoria acumulada na eficiência na produção do diesel B de 5% até 2040.

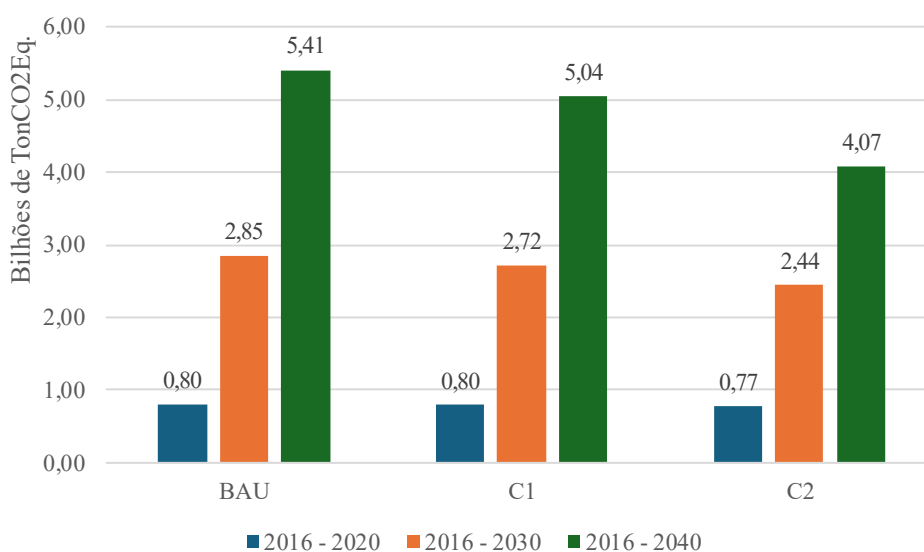
4. Resultados

Abaixo estão os resultados agrupados por temáticas, avaliando os impactos nas emissões do uso do diesel B com relação ao cenário base; os impactos nas variáveis macroeconômicas, aos impactos setoriais; e por fim, o impacto nas famílias.

4.1. Emissões

No cenário BAU, o consumo de diesel B cresceu à taxa de 1,9% ao ano (a.a.) entre 2015 a 2023, valor próximo ao real de 1,7% a.a., demonstrando aderência do modelo com relação a atualização dos valores do ano base de 2015 para o ano de 2023. Entre 2024 a 2040, o consumo de diesel B aumentou 2,3% a.a. no cenário BAU e no C1, porém no primeiro a taxa de *blend* permaneceu em 7%, fazendo com que o biodiesel aumentasse de produção na mesma proporção de 2,6% a.a. entre 2016 a 2040, já no C1, com o aumento da taxa de *blend* de 7%, em 2016, para 20%, em 2030 até 2040, o biodiesel cresceu em 7,2% a.a., uma velocidade 177% superior ao cenário base.

Figura 4 - Emissões em cada simulação – Bilhões de TonCO₂Eq.



Fonte: Resultados da pesquisa

No C2, com a melhoria na eficiência do diesel B, menor foi o valor produzido necessário para abastecer a demanda pelo combustível, apresentando um crescimento na produção de 0,1% a.a. entre 2016 a 2040. Tal queda representou uma redução na produção acumulada de 461,2 milhões de m³ de diesel B e queda na produção de biodiesel de 32,5 milhões de m³.

Utilizando os volumes produzidos estimados e o fator de emissão presente na Tabela 1, as emissões de cada simulação foram calculadas seguindo a equação (8), sendo apresentadas acumuladas em períodos. A emissão do consumo de diesel B no cenário base cresce a mesma taxa de sua produção, 2,6% a.a. entre 2016 a 2040, emitindo um total de 5,41 bilhões de TonCO₂Eq.. No C1 e C2, a emissão total, no mesmo período, foi igual a 5,04 e 4,07 bilhões de TonCO₂Eq., respectivamente, representando uma queda de 6,8% das emissões com o aumento de *blend* e de 24,7% com a melhoria de eficiência no uso do diesel B (Figura 4).

Dessa forma, o aumento da proporção de biodiesel no diesel B projetado pelo programa Combustível do Futuro (CdF) configura-se como uma política efetiva para a redução das emissões. Contudo, em consonância com as diretrizes do programa Combustível do Futuro, observa-se que a adoção conjunta de políticas de aumento do blend com medidas de melhoria na eficiência do uso do diesel B potencializa os resultados. A elevação de apenas 5% na eficiência energética do combustível gera impactos ambientais mais expressivos do que o simples aumento da participação do biodiesel na mistura fóssil.

4.2.Economia

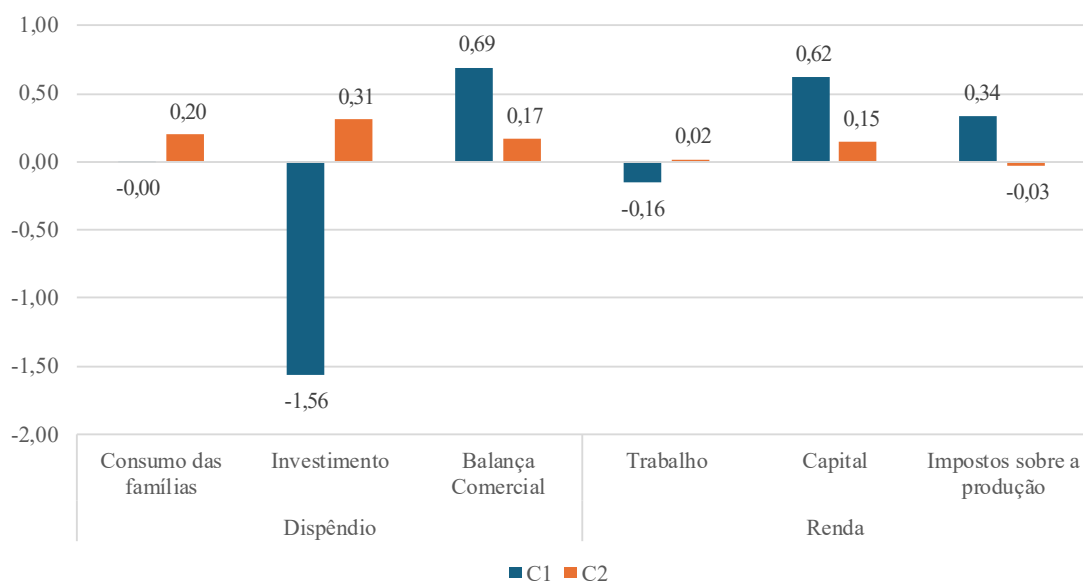
Com a substituição, devido aumento da taxa de mistura, é esperado uma queda no preço do diesel B, dado que o valor do m³ do biodiesel é menor que do diesel fóssil, sendo R\$2,69/litro e R\$2,79/litro, respectivamente (ANP, 2016). Com menor preço do combustível, é esperado uma redução dos custos de transportes e insumos gerais na economia de forma sistêmica, reduzindo o nível geral de preços, denominado *feito preço*. Com tal queda, aumenta-se a demanda, interna e externa, pelos bens e insumos, gerando

um aumento de preço denominado *efeito atividade*. A melhoria na eficiência do diesel B tem como efeito a menor quantidade do combustível para realização das atividades econômicas, gerando os mesmos efeitos citados acima, cabe analisar qual apresenta maior valor e influência sobre a economia.

No C1, o aumento gradual do *blend* do CdF gera um crescimento acumulado do PIB, entre 2016 a 2040, de 0,18% e um aumento nos níveis de preço de 0,24%, tendo um *efeito preço* superior ao *efeito atividade*. Pela ótica de dispêndio do PIB (Figura 5), tal resultado é explicado pela redução dos investimentos de 1,56%, devido estabilização da taxa de mistura em 20% entre 2030 a 2040 e pela redução do setor produtor de diesel fóssil, intensivo em investimento; e pelo aumento da balança comercial em 0,69%, com a demanda externa consumindo o que o consumo interno deixa de demandar devido aumento dos preços. Com o aumento da produção de biodiesel, é necessário crescimento do capital para ser transformado em investimento, justificando o crescimento de 0,62% do capital pela ótica da renda, seguido do aumento do imposto sobre produção de 0,34%, que é maior sobre os biocombustíveis que pelos fósseis pelos dados do IBGE (2024).

A melhoria na eficiência do diesel B, no C2, resultando em um crescimento do PIB de 0,19% e uma variação negativa de 0,02% no nível de preços, sendo um cenário de *efeito atividade* superior ao *efeito preço*. Tal comportamento é explicado pelo crescimento acumulado do investimento de 0,31% e do consumo das famílias de 0,20%. Pela ótica da renda, o aumento do capital, de 0,15%, decompõe o crescimento do PIB (Figura 5). Com a melhoria na eficiência do diesel B sem contrapartidas de custos faz com que o combustível seja menos custoso para as famílias, aumentando seu consumo, e, para as empresas, aumentando os investimentos em outros setores devido maior acúmulo de capital.

Figura 5 - Efeitos das simulações sobre a ótica do dispêndio e renda do PIB – Var. % acum. de 2016 a 2040



Fonte: Resultado da pesquisa

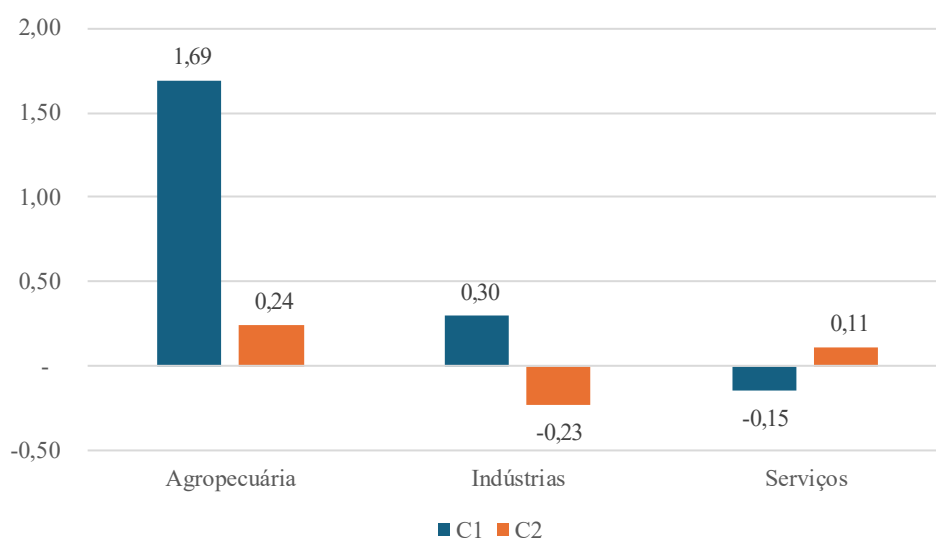
Nota: desvios % acumulados em relação ao cenário de referência

Setorialmente (Figura 6), o aumento do *blend*, C1, estimula o crescimento da produção do setor de agropecuária em 1,69%, acima do valor de referência, e o setor de indústrias em 0,30%, possuindo queda no setor de serviços em 0,15%. Como fonte de insumos da biomassa necessária para produção de biodiesel, o setor de agropecuária cresce para acompanhar a produção necessária ao atendimento das taxas de misturas maiores e, como ocorre redução do preço do diesel B, ocorre redução dos custos para o setor industrial, propiciando seu crescimento. O setor de serviços apresenta queda devido encarecimento do diesel fóssil puro, dada menor produção, impactando outros setores de serviço, como o setor de construção civil e de transporte aéreo.

No C2, a melhoria de eficiência do diesel B propicia crescimento da agropecuária, em 0,24%, e dos serviços, de 0,11%, e queda das indústrias, em 0,23%. Tal comportamento advém da menor produção de diesel B, gerando queda nos setores de diesel fóssil e de biodiesel, setores industriais e, com o barateamento do diesel B, maior é a parcela disponível para os investimentos, aumentando os setores de agropecuária e serviços.

Com isso, o aumento do *blend* gera um aumento nos preços gerais na economia, impulsionando o crescimento do setor da agropecuária para a produção de insumos e do setor industrial para a infraestrutura necessária para produção do biodiesel. Com a manutenção de 20% entre 2030 a 2040, os investimentos apresentam resultados negativos. A melhoria na eficiência (C2) tem como consequência a redução do setor industrial, dada menor produção dos componentes do diesel B, e crescimento de todos os outros, gerando um aumento do PIB superior ao seu deflator, tendo crescimento real da economia.

Figura 6 - Efeitos setoriais das simulações – Var %. acum. de 2016 a 2040



Fonte: Resultado da pesquisa

Nota: desvios % acumulados em relação ao cenário de referência

4.3.Famílias

Para as famílias, o aumento na taxa de blend (C1) causa uma queda no emprego agregado, em comparação ao cenário base, de 0,16% e uma redução no salário real de 0,01%,

resultando em uma redução na utilidade das famílias⁶ em 1,26%. Ao se observar as famílias de diferentes rendas, as de menores rendas (H₁) até as de maiores rendas (H₁₀), como na Figura 7, o C1 aumentou a renda disponível das famílias de menores rendas (entre H₁ e H₃) e reduziu para as famílias de renda média (entre H₄ e H₇). Com o aumento do biodiesel no diesel B, ocorre o barateamento dos custos de transporte público, muito utilizado pelas parcelas de menor renda, aumentando a renda disponível deste extrato, para as parcelas de renda média-alta, tal impacto é negativo devido a relação com o setor de diesel fóssil.

Figura 7 - Efeitos na renda real disponível das simulações para as famílias – Var % acum. de 2016 a 2040



Fonte: Resultados da pesquisa

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

No C2, a melhoria na eficiência tem um comportamento distributivo de renda, aumentando a sua disponibilidade nas parcelas de menor renda e tendo menor efeito nos de renda alta, ocorrendo uma redução de preço geral na economia sem contrapartida de redução setorial como no C1. O emprego agregado cresce 0,02% acima do cenário BAU, tendo incremento do salário real em 0,23%, resultando em um aumento da utilidade das famílias em 0,34%.

Desse modo, as famílias têm aumento de utilidade, emprego e salário real disponível no C2, possuindo caráter distributivo, diferente do C1 que aumenta a renda das famílias de menor renda, mas reduz principalmente as de renda média, impactando menos nas de maior renda.

5. Conclusões

O aumento da taxa de mistura do biodiesel no diesel B previsto pelo programa CdF possui como um de seus objetivos o alcance dos objetivos de redução de emissões de GEE estabelecidos pelo Brasil. No mesmo programa, há a orquestração de diversas iniciativas

⁶ A utilidade das famílias tem como base as mudanças de consumo considerando a parcela acima dos bens de subsistência, como especificado nas funções do sistema linear de gastos (LES).

governamentais cujo objetivo é otimização do uso de combustíveis para minimizar o impacto ambiental de sua queima. Assim, com o aumento na produção de biodiesel em prol do diesel fóssil e a melhoria na eficiência do diesel B, o presente estudo avalia os possíveis impactos de tais políticas.

Neste trabalho são simulados 2 cenários para verificar o comportamento da economia brasileira frente o programa CdF. Em ambos os cenários ocorre redução das emissões, apresentando queda de 6,8% entre 2016 a 2040 com o aumento do *blend* (C1), e de 24,7% com a melhoria na eficiência do diesel B em 5% no mesmo período (C2). A atividade econômica (PIB) apresenta crescimento, sendo maior no C2, e o setor da agropecuária sendo o que mais cresce para abastecimento da produção de biodiesel. Para as famílias, o C2 apresenta comportamento distributivo de renda, aumentando a disponibilidade para as famílias de menor renda. De forma semelhante aos estudos citados anteriormente, o aumento da produção de biocombustíveis possui características de concentração de renda, frente a melhoria na eficiência, reduzindo a renda das famílias de renda média e não alterando as de renda alta.

Apesar dos resultados alcançados serem importantes para avaliar a implementação de aumento da taxa de mistura, uma investigação empírica que conste o uso do solo deve trazer novos pontos da discussão. Com tal incremento, a discussão acerca da neutralidade de carbono dos biocombustíveis pode ser debatida, avaliando se o aumento de suas produções contribui para a redução das emissões ou exercem forças de incentivo para o desmatamento.

6. Bibliografia

ABREU, Frederique Rosa e; VIEIRA, José Nilton de Souza; RAMOS, Simone Yuri. Programa Nacional para a Produção e Uso do Biodiesel: diretrizes, desafios e perspectivas. - Portal Embrapa. 2006.

AGUIAR, Ana Beatriz. Biocombustíveis e Descarbonização: Oportunidades Político-Regulatórios para a Transição Energética Brasileira. **FGV Energia**, 3 abr. 2023.

ANP, Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis : 2016**. Rio de Janeiro, RJ: Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, 2016. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/anuario-estatistico/arquivos-anuario-2016/anuario_estatistico_anp_2016.pdf>. Acesso em: 6 fev. 2025.

ANP, Agência Nacional do Petróleo, 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>.

BECKMAN, Jayson *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, Admir Antonio *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, Admir Antonio; PEROBELLI, Fernando Salgueiro; DE ALMEIDA VALE, Vinícius. UM MODELO NACIONAL DE EQUILÍBRIO GERAL COMPUTÁVEL DINÂMICO RECURSIVO (EGC-RD) PARA O BRASIL NO ANO DE 2011 (BIM-RD). 2015.

BIODIESELBR. **Indonésia fabricou 13,9 milhões de m³ de biodiesel em 2024**. Disponível em: <<https://www.biodieselbr.com/noticias/inter/indonesia/indonesia-fabricou-13-9-milhoes-de-m-de-biodiesel-em-2024-080425>>. Acesso em: 29 maio. 2025.

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

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.

BRITZ, Wolfgang; HERTEL, Thomas W. Impacts of EU biofuels directives on global markets and EU environmental quality: An integrated PE, global CGE analysis. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 142, n. 1–2, p. 102–109, jul. 2011.

BRYNGEMARK, Elina. 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.

BUSCH, Jonah *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.

CARB, California Air Resources Board. **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.

CHEN, Zhenhua. 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.

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

DB, Deutscher Bundestag. Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG). . **November**, 15 nov. 2019.

DELZEIT, Ruth; MARKOFF, Simone; THUBE, Sneha. **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, Ayhan. Biofuels sources, biofuel policy, biofuel economy and global biofuel projections. **Energy Conversion and Management**, v. 49, n. 8, p. 2106–2116, ago. 2008.

DIAS, Rodnei Fagundes; FILHO, Carlos Alberto Aragão de Carvalho. Bioeconomia no Brasil e no mundo: panorama atual e perspectivas. **Revista Virtual de Química**, v. 9, n. 1, 2017.

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

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

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

FAO (ORG.). **Migration, agriculture and rural development**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2018.

HEIMANN, Tobias *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.

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

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Contas Econômicas Ambientais de Energia: produtos da biomassa | IBGE**. , 2021. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/contas-nacionais/32395-contas-economicas-ambientais-de-energia-produtos-da-biomassa.html?edicao=32479>>. Acesso em: 30 maio. 2025

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

JÚNIOR, Janary. **Entra em vigor a “Lei do Combustível do Futuro”**. **Portal da Câmara dos Deputados**, 9 out. 2024. Disponível em: <<https://www.camara.leg.br/noticias/1101627-entra-em-vigor-a-lei-do-combustivel-do-futuro/>>. Acesso em: 27 maio. 2025

MACHADO, Pedro 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, Ministerio de Ambiente y Energía. **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, Kyriakos *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.

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

MEADOWS, Donella H.; CLUB OF ROME; POTOMAC ASSOCIATES (ORGS.). **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, Rafael Gouveia. Bioeconomia e suas aplicações. **ÍANDÉ : Ciências e Humanidades**, v. 2, n. 3, p. 105–121, 4 jul. 2019.

MILANEZ, Artur Yabe *et al.* Biodiesel e diesel verde no Brasil : panorama recente e perspectivas. set. 2022.

MITSUE, Amanda *et al.* Biocombustíveis e segurança alimentar: desafios e oportunidades para o G20. **Revista de Direito do Comércio Internacional**, v. 7, 8 dez. 2024.

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

MWANGI, John Kennedy *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. 2015.

NU, Nações Unidas. Paris Agreement. *In*: 2015. Disponível em: <https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf>. Acesso em: 18 abr. 2024

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

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

PROQUE, Andressa Lemes. **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.

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, Alexandre Ottoni Teatini; MATIAS, Ariella Lopes. 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, Jeronimo Alves dos; FERREIRA FILHO, Joaquim Bento de Souza. 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.

SEEG, Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa. **SEEG Brasil – O Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG)**. Disponível em: <<https://seeg.eco.br/>>. Acesso em: 6 ago. 2024.

SILVA, Maria Elza Soares da. O biodiesel: uma solução para crise energética ou ameaça à segurança alimentar camponesa? **Cadernos de Agroecologia**, v. 19, n. 1, 26 nov. 2024.

SILVA, Martim Francisco de Oliveira e; PEREIRA, Felipe dos Santos; MARTINS, José Vitor Bomtempo. A bioeconomia brasileira em números. mar. 2018.

SOUZA, Gessica Cardoso Pereira 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, Farzad *et al.* Biofuels Induced Land Use Change Emissions: The Role of Implemented Land Use Emission Factors. **Sustainability**, v. 16, n. 7, p. 2729, 26 mar. 2024.

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

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

WANG, Zhizhen *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, Yuwei *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, 15 fev. 2019.

WIRAWAN, Soni S. *et al.* Biodiesel implementation in Indonesia: Experiences and future perspectives. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 189, p. 113911, jan. 2024.

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