Emissões de gases do efeito estufa por queima de combustível: o impacto do RenovaBio a nível municipal

Greenhouse gas emissions from fuel combustion: the impact of RenovaBio at the municipal level

Clarissa Figueiredo de Azevedo
Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, Minas Gerais (MG), Brasil
Lucas Tavares Freitas
Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, Minas Gerais (MG), Brasil
Fernanda Josefina Silva de Sá
Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, Minas Gerais (MG), Brasil
Cristiana Tristão Rodrigues
Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, Minas Gerais (MG), Brasil
Ana Cecília de Almeida
Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, Minas Gerais (MG), Brasil

GT 04 - Meio ambiente, agroecologia, sustentabilidade e mudanças climáticas

Resumo: O estudo tem como objetivo avaliar o impacto do RenovaBio sobre as emissões de gases de efeito estufa (GEE) por queima de combustíveis em nível municipal no Brasil. Utiliza-se uma abordagem de avaliação de impacto ex-post, por meio do método de diferenças-em-diferenças com adoção escalonada, comparando municípios participantes e não participantes entre 2017 e 2023. Os resultados indicam que municípios tratados em 2019 apresentaram aumento relativo nas emissões, enquanto os grupos de 2020 e 2021 não mostraram efeitos estatisticamente significativos. Conclui-se que o RenovaBio, isoladamente, não tem promovido redução das emissões, podendo haver efeito rebote associado à expansão produtiva.
Palavras-chave: RenovaBio, biocombustíveis, combustíveis fósseis, emissão de GEE, transição energética

Abstract: The study aims to evaluate the impact of RenovaBio on greenhouse gas (GHG) emissions from fuel combustion at the municipal level in Brazil. An ex-post impact evaluation approach is employed using a difference-in-differences method with staggered adoption, comparing participating and non-participating municipalities from 2017 to 2023. The results indicate that municipalities treated in 2019 showed a relative increase in emissions, while the 2020 and 2021 groups presented no statistically significant effects. It concluded that RenovaBio by itself has not led to a reduction in emissions, and a rebound effect associated with productive expansion may be present.
Keywords: RenovaBio, biofuels, fossil fuels, GHG emissions, energy transition

1. Introdução

A preocupação com as mudanças climáticas tem ocupado um papel central na atualidade, com a realização de eventos ambientais mundiais focados em mobilizar esforços para a redução da emissão dos gases do efeito estufa (GEE). Em dezembro de 2015, o Acordo de Paris, lançado durante a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (COP21), destacou o uso excessivo de combustíveis fósseis, seus impactos negativos no meio ambiente e a urgência da transição energética para uma matriz menos poluente[1].

De acordo com Matos, Rodrigues e Valente (2023), o setor de transportes só poderá

[1] Estima-se, de acordo com dados do Instituto de Recursos Mundiais (WRI, 2020), que o uso de energia é responsável por 73,2% das emissões globais de GEE, com 16,2% delas originadas no setor de transportes, segmento fundamental nas emissões dos gases do efeito estufa por queima de combustível.

reduzir efetivamente suas emissões mediante a utilização de combustíveis renováveis, e, dessa forma, a produção de biocombustíveis se torna uma alternativa para reduzir as emissões de GEE. Essa conjuntura estimulou a criação do programa RenovaBio, que tem como principal objetivo elevar a produção e o consumo de biocombustíveis, visando a redução da emissão de GEE por queima de combustível.

A adesão ao programa ocorre de forma voluntária e exige que os produtores de biocombustíveis atendam a critérios de eficiência de emissão para serem certificados. Os certificados, por sua vez, permitem a comercialização do Crédito de Descarbonização do Biocombustível (CBIO) através de um mercado financeiro regular (Grangeia; Santos; Benites-Lázaro, 2022). Desse modo, o programa RenovaBio propõe a expansão de uma matriz energética mais limpa, que será financiada por recursos das próprias firmas produtoras através da receita obtida com os CBIOs.

Após 8 anos desde o lançamento do programa[2], pretende-se estimar o impacto do RenovaBio sobre a redução relativa de emissões de GEE por queima de combustíveis. A análise consiste em avaliar se os municípios brasileiros que possuem empresas associadas ao RenovaBio têm avançado na redução das emissões, bem como comparar tendências entre municípios participantes e não participantes, construindo um contrafactual da política.

2. Revisão da Literatura

A literatura discute de forma ampla sobre a efetividade das estratégias das políticas públicas de descarbonização, cujo sucesso depende não apenas do método escolhido, mas também de fatores tecnológicos, sociais e de tomada de decisão dos agentes públicos. As evidências encontradas apontam que as políticas mais bem sucedidas combinam mais de um tipo de instrumento de mitigação e incluem no desenho da política adaptações às condições de desigualdade de cada local tratado[3].

No caso do RenovaBio, a estratégia adotada foi a do *carbon princing*. O estudo de Ahmad, Li e Wu (2024) indica que esse sistema é significativo na redução de emissões, embora fatores específicos de cada país e setor possam influenciar a eficácia dessas políticas. Os autores fazem uma comparação com outras estratégias e identificam que o *carbon pricing* é menos eficiente do que o sistema de impostos de carbono. Sob a perspectiva municipal, Feng; Zhao e Yan (2024) avaliam o impacto das políticas de *carbon pricing* em diversos municípios chineses

[2] O RenovaBio foi instituído pela Lei nº 13.576 em 26 de dezembro de 2017.
[3] Ver Martin e Saikawa (2017), Mercure *et al.* (2014), Yao, Tan e Xu (2024) e Stechemesser *et al.* (2024).

e verificam que existem reduções das emissões, mas os efeitos podem variar muito entre as diferentes cidades em decorrência das desigualdades regionais.

3. Metodologia

O estudo realiza uma avaliação de impacto *ex-post*, com foco na identificação causal dos efeitos do RenovaBio sobre as emissões de GEE por queima de combustível[4] entre os municípios produtores de biocombustíveis no Brasil. Busca-se fazer uma comparação entre o grupo tratado, que se refere aos municípios brasileiros que possuem empresas associadas ao RenovaBio, e o grupo controle, que não recebe o tratamento.

O programa recebe novos associados todos os anos, o que implica que não há uma divisão única do período pré e pós-tratamento para todos os municípios da amostra. Assim, o método adotado foi o Difference-in-Difference (DiD) com adoção escalonada de tratamentos, proposta por Callaway e Sant'Anna (2021). Esse método permite que a amostra esteja desbalanceada, pois constrói o grupo controle usando somente unidades que nunca foram tratadas. Essa condição também se aplica ao pressuposto de tendências paralelas e assegura que, na ausência do tratamento, o resultado para cada grupo tratado teria sido o mesmo que a observada para as unidades nunca tratadas.

A principal contribuição desse método é a incorporação de um parâmetro que reporta o efeito médio do tratamento por grupo no tempo. Esse parâmetro mede o efeito médio do RenovaBio no período t para os produtores que obtiveram a certificação no período g, permitindo capturar a heterogeneidade temporal entre os grupos e o efeito dinâmico da política ao longo do tempo. A interpretação desse efeito médio indica a principal fonte de inferência a respeito do impacto da política.

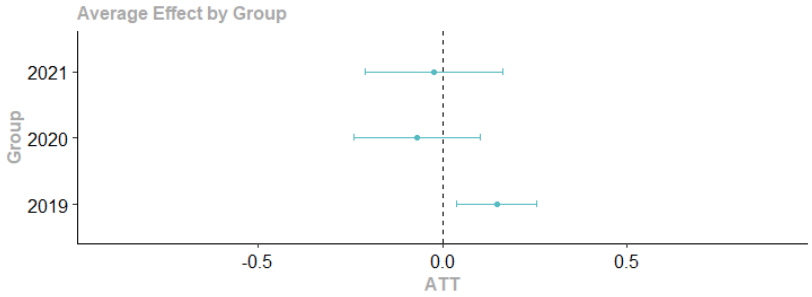
Foram utilizadas variáveis[5] populacionais, geográficas, de renda[6] e a participação do setor de biocombustíveis no total de vínculos empregatícios dos municípios. Os dados abrangem o período de 2017 a 2023, com a construção de um contrafactual pré-política (2017-2018)[7]; os primeiros anos de execução (2019 – 2021) e os anos posteriores em que os impactos podem ser observados de forma mais consistente (2022-2023). Uma vez obtidos os dados para cada um dos anos, as variáveis de emissões, renda e população foram linearizadas, permitindo comparar em termos percentuais as variações entre os municípios.

[4] Dados do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG).
[5] Ver Pickson *et al.* (2024), García *et al*. (2024) e Bacciotti e Torres (2024).
[6] Para obter a renda municipal, o salário médio por município foi calculado com microdados da RAIS Vínculos.
[7] Apesar de a política ter sido lançada em 2017, os primeiros municípios certificados foram registrados apenas em 2019, portanto, os anos anteriores à 2019 são considerados controle.

4. Discussão dos Resultados

Inicialmente, o teste de Wald [8] verificou o pressuposto das tendências paralelas. Isso implica que os municípios são equiparáveis e que eventuais mudanças de trajetória são decorrentes do tratamento. O efeito médio estimado para os grupos reflete que o grupo tratado em 2019 apresenta uma variação de tendência estatisticamente diferente de zero. A direção positiva indica que os municípios que entraram no RenovaBio em 2019, e, portanto, ficaram mais tempo expostos à política, apresentaram elevação no percentual das emissões de GEE por queima de combustível. Já para os grupos de 2020 e 2021, o efeito não significativo denota que o RenovaBio não impactou as emissões.

Imagem 1: Efeito Médio do Tratamento por Grupo



Fonte: Elaborado pelos autores.

Os resultados apontam que o RenovaBio não está associado por si só a uma redução relativa das emissões. Grangeia, Santos e Benites-Lázaro (2022) argumentam que o programa carece de instrumentos capazes de lidar com impactos distributivos e territoriais. Paralelamente, a melhoria da eficiência energética e a monetização dos benefícios ambientais via CBIOs podem ter incentivado a expansão produtiva em determinados territórios, causando"Efeito Rebote", o qual admite que ganhos de eficiência podem induzir o aumento do consumo ou da produção agregada (Polimeni *et al*., 2008; York, 2012).

5. Considerações finais

O RenovaBio atua de forma autorregulatória e com certa autonomia de financiamento, que favorece a factibilidade de sua execução ao longo do tempo. No entanto, os resultados sugerem que o RenovaBio, isoladamente, pode não ser suficiente para garantir reduções líquidas de emissões de GEE a nível municipal. Isso não invalida o programa enquanto política pública, mas aponta para a necessidade de aperfeiçoamento, com a integração entre políticas energéticas e de desenvolvimento regional.

[8] O teste de Wald não rejeita a hipótese nula de que as tendências são paralelas. P-valor = 0,1205.

Referências

AHMAD, M.; LI, X. F.; WU, Q. Carbon taxes and emission trading systems: Which one is more effective in reducing carbon emissions?—A meta-analysis. Journal of Cleaner Production, v. 476, p. 143761, 2024.

BRASIL. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). Painel dinâmico de certificações de biocombustíveis – RenovaBio. ANP. Disponível em: https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/paineis-dinamicos-da-anp/paineis-dinamicos-do-renovabio/painel-dinamico-de-certificacoes-de-biocombustiveis-renovabio. Acesso em: 12 dez. 2025

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Nota Explicativa – Proposta de Criação da Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio). Brasília: MME, 2017. Disponível em: https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/petroleo-gas-natural-ebiocombustiveis/renovabio. Acesso em: 15 out. 2025.

BRASIL. Lei n. 13.576, de 26 de dezembro de 2017. Dispõe sobre a Política Nacional de Biocombustíveis. 2017. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/lei/L13576.htm. Acesso em: 12 dez. 2025.

BRASIL. Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). Certificados da Produção ou Importação Eficiente de Biocombustíveis. Diário Oficial da União: Brasília, DF, 24 nov. 2025. Disponível em: https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/renovabio/certificados-producao-importacao-eficiente-biocombustiveis. Acesso em 14 dez. 2025.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Estimativas de População. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html?=&t=downloads. Acesso em 14 dez. 2025.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Áreas Territoriais. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/15761-areas-dos-municipios.html?=&t=downloads. Acesso em 14 dez. 2025.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Relação Anual de Informações Sociais (RAIS): microdados. Disponível em: https://basedosdados.org/dataset/3e7c4d58-96ba-448e-b053-d385a829ef00?table=dabe5ea8-3bb5-4a3e-9d5a-3c7003cd4a60. Acesso em 14 dez. 2025

BACCIOTTI, M. O. S.; TORRES, M. O. O impacto da densidade urbana nas emissões de gases de efeito estufa: evidências para o Brasil em múltiplas escalas com dados em painel. In: ENCONTRO NACIONAL DE ECONOMIA (ANPEC), 52., 2024. Anais […]. Disponível em:

https://www.anpec.org.br/encontro/2024/submissao/files_I/i10cc4acc41dd89c287a0ae5c8342 aebc6a.pdf . Acesso em: 14 dez. 2025.

CALLAWAY, B.; SANT'ANNA, P. H. C. Difference-in-differences with multiple time periods. Journal of Econometrics, v. 225, n. 2, p. 200–230, 2021.

FENG, X.; ZHAO, Y.; YAN, R. Does carbon emission trading policy has emission reduction effect?—An empirical study based on quasi-natural experiment method. Journal of Environmental Management, v. 351, p. 119791, 2024.

GARCÍA, P. E. E.; GONZÁLEZ, G. R.; RIVIERA, A. E.; SOTO, F. P. Socio-economic determinants of greenhouse gas emissions in Mexico: an analytical exploration over three decades. Sustainability, v. 16, n. 17, p. 7668, 2024.

GRANGEIA, C.S.; SANTOS, L.; BENITES-LÁZARO, L.L. The Brazilian Biofuel Policy (RenovaBio) and its uncertainties: An assessment of technical, socioeconomic and institutional aspects. Energy Conversion and Management: X, v. 13, p. 100-156, jan. 2022.

MARTIN, G.; SAIKAWA, E. Effectiveness of state climate and energy policies in reducing power-sector CO2 emissions. Nature Climate Change, v. 7, n. 12, p. 912-919, 2017.

MATOS, S.; RODRIGUES, L.; VALENTE, F. Papel da bioenergia no Brasil. Agro FGV, São Paulo, 10 mar. 2023. Disponível em: https://agro.fgv.br/noticia/papel-da-bioenergia-no-brasil. Acesso em: 15 out. 2025.

MERCURE, J.F.; POLLITT. H.; CHEWPREECHA, U.; SALAS, P.; FOLEY, A. M; HOLDEN, P.B.; EDWARDS, N.R. The dynamics of technology diffusion and the impacts of climate policy instruments in the decarbonisation of the global electricity sector. Energy Policy, v. 73, p. 686-700, 2014.

PICKSON, R. B.; GUI, P.; JIAN, L.; BOATENG, E. Do population-related factors matter for carbon emissions? Lessons from different income groups of countries. Environmental Science and Pollution Research, v. 27, n. 25, p. 31823–31840, 2020.

POLIMENI, J. M.; MAYUMI, K.; GIAMPIETRO, M.; ALCOTT, B. The myth of resource efficiency: the Jevons paradox. Londres: Routledge, 2008. Disponível em: versão eletrônica.

STECHEMESSER, A.; KOCH, N.; MARK, E; DILGER, E.; KLÖSEL, P.; MENICACCI, L.; NACHTIGALL, D.; PRETIS, F.; RITTER, N.; SCHWARTZ, M.; VOSSEN, H; WENZEL, A. Climate policies that achieved major emission reductions: Global evidence from two decades. Science, v. 385, n. 6711, p. 884-892, 2024.

WORLD RESOURCES INSTITUTE. Greenhouse gas emissions by sector: Energy

(electricity, heat, and transport) 73,2%; Transport 16,2%. In: Sector by Sector: Where Do Global Greenhouse Gas Emissions Come From? Our World in Data, 2024. Disponível em: https://ourworldindata.org/ghg-emissions-by-sector. Acesso em: 15 out. 2025.

YAO, L.; TAN, S.; XU, Z. Towards carbon neutrality: what has been done and what needs to be done for carbon emission reduction?. Environmental Science and Pollution Research, v. 30, n. 8, p. 20570-20589, 2023.

YORK, R. As fontes de energia alternativas substituem os combustíveis fósseis? Nature Clim Change 2, 441–443 (2012). Disponível em: https://doi.org/10.1038/nclimate1451. Acesso em: 14/12/2025.