

EMISSIONS OF CO₂ AND FUEL CONSUMPTION IN BRAZILIAN STATES

CO₂ EMISSIONS AND FUEL CONSUMPTION IN BRAZILIAN STATES

Jaqueline Silva Magalhães

Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Agronegócios da Universidade Federal da Grande Dourados (PPGAgronegócios/UFGD)

E-mail: jaqueline.s.magalhaes@hotmail.com

Paulo Henrique Hoeckel

Professor do Programa de Pós-Graduação em Agronegócios da Universidade Federal da Grande Dourados (PPGAgronegócios/UFGD) e do Programa de Pós-Graduação em Economia e Desenvolvimento da Universidade Federal de Santa Maria (PPGE&D/UFSM)

E-mail: ph.hoeckel@gmail.com

Grupo de Trabalho (GT): GT04. Questão ambiental, agroecologia e sustentabilidade

Resumo

O presente estudo teve como objetivo analisar a relação entre a emissão de dióxido de carbono (CO₂) e o consumo de combustíveis no Brasil, considerando os estados e o Distrito Federal, para o período de 2016 a 2020, utilizando modelos de dados em painel. Os principais resultados indicaram que regiões produtoras de combustível renovável estão associadas positivamente a emissões de CO₂. Identificou-se uma relação que confirma a Curva Ambiental de Kuznets e que a redução das emissões de CO₂ do setor de transporte está associada a melhoria técnica da frota, a um maior foco em combustíveis renováveis e ao estágio de crescimento econômico.

Palavras-chave: Emissão de CO₂; Consumo de combustíveis; Brasil.

Abstract

The paper aimed to analyze the relationship between carbon dioxide emissions and fuel consumption in Brazil, considering the states and the Federal District for the period from 2016 to 2020, using panel data models. The main results indicated that renewable fuel producing regions are positively associated with carbon dioxide emissions. A relationship was identified that confirms the Environmental Kuznets Curve and that the reduction of carbon dioxide emissions in the transport sector is associated with the technical improvement of the fleet, a greater focus on renewable fuels and the stage of economic growth.

Key words: Carbon dioxide emission; Fuel consumption; Brazil.

1. INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas vêm causando preocupações na Organização das Nações Unidas (ONU) ao longo da história, importantes conferências foram convocadas pela ONU. No ano de 1972, em Estocolmo na Suécia aconteceu a Conferência das Nações Unidas sobre o Ambiente Humano, posteriormente em 1992, no Rio de Janeiro aconteceu a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, que ficou conhecida como a Cúpula da Terra, a posteriori outras Conferências ocorreram (ONU, 2020).

Conforme o Global Monitoring Laboratory (GML) (2022) da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), as principais GEE e percentuais de contribuição para o aquecimento global são: Dióxido de carbono (CO₂) 66%, Metano (CH₄) 16%, Óxido nitroso (N₂O) 7%, Hidroclorofluorcarbonos (HCFCs) 2%, Clorofluorcarbonetos (CFCs) 8% e Hidrofluorcarbonetos (HFCs) 1%.

Em 1994, houve a primeira COP (Conferências das Partes) onde foi negociado um protocolo para debater os compromissos determinados na UNFCCC (Convenção-Quadro das



Nações Unidas sobre Mudança do Clima), sendo denominado como Protocolo de Quioto, que teve sua assinatura em 1997 e entrou em vigor em 2005, tendo como objetivo o estabelecimento de instrumentos de mercado que possibilite aos países praticarem cooperativamente na diminuição de suas emissões de GEE (PROLO et al., 2021).

O Plano Decenal de Expansão de Energia Elétrica 2030 (MME; EPE, 2021) relata que os combustíveis mais significativos no que refere as emissões de GEE são o óleo diesel (38%), o gás natural (20%) e a gasolina (13%), levando-se a conclusão que as maiores possibilidades de redução de emissões no consumo de energia, seguirão na alteração do diesel de origem fóssil e da gasolina no setor de transporte.

No ano de 2019, as emissões totais no Brasil atingiram 818,60 MtCO₂e (toneladas métricas de dióxido de carbono equivalente) e desse total, 193.58 MtCO₂e foram emitidas pelo setor de transporte, correspondendo a 23,44% das emissões de dióxido de carbono equivalente (CLIMATE WATCH, 2022).

Uma das maneiras de reduzir a emissão de CO₂ é a produção de biocombustíveis, como por exemplo o etanol. Portanto, o etanol extraído a partir da cana-de-açúcar, apresenta uma alternativa para substituir a dependência do consumo de combustíveis fósseis, além disso, outras vantagens podem ser elencadas como: a segurança energética, criação de novos empregos e a redução das emissões dos gases de efeito estufa – GEE (SIMIONESCU et al., 2017). Lora (2011), evidencia que os biocombustíveis para serem sustentáveis, precisam ser neutros em carbono a fim de substituir os combustíveis fósseis e reduzir o aquecimento global.

Para reduzir as emissões de CO₂ dos biocombustíveis, estudo realizado para verificar combinações melhores da gasolina com etanol e na comparação de combinações da gasolina com o etanol da cana-de-açúcar e do etanol feito a partir do milho, os resultados da Análise do Ciclo de Vida (ACV) revelaram que o etanol feito com a cana-de-açúcar apresentou menor emissão de CO₂ em comparação com o etanol do milho. Argumenta-se que o resultado aconteceu porque, na produção do milho a emissão de CO₂ é mais elevada em comparação com a produção da cana-de-açúcar (ZHANG et al., 2017).

Destaca-se uma mudança recente no mercado de combustível brasileiro, que em 2020 houve uma diminuição de 14,58% no consumo do etanol hidratado no Brasil em comparação ao ano anterior, totalizando em 19,26 bilhões de litros (ANP, 2021) e neste contexto deve-se mencionar que nos anos de 2019 e 2020, o mundo estava sobre o período de pandemia do Covid-19.

Portanto, existe a necessidade de buscar fontes de energia renováveis, uma vez que além do esgotamento das principais fontes não-renováveis da matriz energética atual, ocorre ainda o dano que tais fontes proporcionam ao meio ambiente com a emissão de gases que acirram o efeito estufa (PERES et al., 2005). Assim, a busca por energias renováveis e bioenergia constituem excelente oportunidade para a consolidação do Brasil como fornecedor mundial sustentável, tendo em vista o grande potencial de expansão (NEVES et al., 2020).

Diante do exposto, o problema de pesquisa é: O consumo de combustível renovável esta associado em menor magnitude com as emissões de CO₂ e as regiões produtoras possuem menor nível de emissão?

Para resolver esse problema, o objetivo geral de estudo é analisar as emissões de CO₂ no ano de 2016 a 2020 nos estados brasileiros e se há uma relação com o consumo de combustíveis e a produção de etanol. De forma específica: Avaliar se estados produtores de energia renovável (etanol) possuem um padrão diferente de emissões em relação aos não produtores; Avaliar a validade da curva ambiental de Kuznets; Avaliar como o crescimento do consumo de combustíveis renováveis, (etanol) e não renovável (gasolina comum) está associado as emissões de CO₂.

Em estudos é observável que com o acréscimo da tecnologia de energia limpa, há uma intensa redução das emissões de CO₂, ao passo que a utilização de combustível fóssil, biomassa, produtividade do trabalho, estimulação nos transportes e indústrias ocasionam uma elevação nas emissões de CO₂ (LIN e RAZA, 2019).

Em 2015, foram instituídos os 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) que integram o Protocolo Internacional da Assembleia Geral das Organizações das Nações Unidas (ONU), sendo que essas ODS compõem a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável (MME; EPE, 2021). Mais recentemente, na COP 27, o Brasil se destacou por deter uma das matrizes mais limpas, possuindo 85% de fontes renováveis, sendo que a média do restante do planeta é de 28% (BRASIL, 2022).

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Emissões de CO₂ e as questões ambientais

Diante das mudanças climáticas e os aspectos da sustentabilidade serem tão importantes para o mundo inteiro, o Brasil vem desenvolvendo algumas políticas e programas, por exemplo, o Renovabio que é a Política Nacional de Biocombustíveis, instituída pela Lei nº 13.576/2017, em que o principal instrumento do Renovabio é o estabelecimento de metas nacionais anuais de descarbonização para o setor de combustíveis, de forma a incentivar o aumento da produção e da participação de biocombustíveis na matriz energética de transportes do país (BRASIL, 2021).

Montoya et al. (2016) argumentam que há a necessidade de se entender como que o desempenho do agronegócio no Brasil influencia nas emissões de Gases Efeitos Estufa (GEE), por se tratarem de questões ambientais no cenário internacional e serem de importância relevante, podem se tornar em um impedimento para a crescimento dos negócios.

No que refere as emissões de CO₂ provenientes as atividades humanas, são frequentemente conhecidas como um indício-chave do previsível e posterior aquecimento global, pois além disso, atividades que necessitam de combustível na geração de energia, industrial, atividades residenciais e de transporte, participam para a emissão de gases do efeito estufa (GEE) (DANISH et al., 2019).

O panorama decenal é previsto uma elevação de 28% na produção de etanol em 2030 e também um gradativo aumento da edição obrigatória de biodiesel ao óleo diesel, com uma expansão em torno de 98%, estando essas perspectivas alinhadas com o Renovabio (MME; EPE, 2021).

2.2 Contribuições empíricas do consumo de combustíveis e a emissão de CO₂

A presente seção busca apresentar, de forma resumida, os principais estudos que analisam a temática em estudo e as contribuições empíricas já alcançadas.

Em relação a estudos empíricos das variáveis relacionadas com emissão de CO₂ e metodologias que ofereceram base teórica para esta pesquisa, pode-se destacar as pesquisas de Bentivoglio, Finco e Bacchi (2016), Montoya et al. (2016), Fernando e Hor (2017), Baral (2018), Danish et al. (2018), Rehmann e Romero (2018), Zafeiriou et al. (2018), Almeida e Lobato (2019), Danish et al. (2019), Muhammad (2019), Amin, Altinoz e Dogan, (2020) e Zhang et al. (2020).

Bentivoglio, Finco e Bacchi (2016) analisaram o impacto dos preços do etanol brasileiro sobre os preços do açúcar e da gasolina, utilizando a metodologia de séries temporais com o modelo de Vetoriais de Correção de Erros (VECM). Os resultados encontrados sugerem que os preços do etanol, são afetados pelo preço da gasolina e dos alimentos. Por outro lado, não ficou evidente que a mudança no preço do etanol tenha impactado o preço dos alimentos.



Rehermann e Romero (2018) analisaram a relação entre o consumo de energia do transporte com o Produto Interno Bruto per capita (PIBpc), utilizando um painel de dados de 22 países da América Latina e Caribe e os dados da International Energy Agency (IEA). Entre os resultados obtidos, constatou-se que o aumento de 1% do PIBpc gera um aumento do consumo de energia de transporte em aproximadamente 0,95%.

Zafeiriou et al. (2018), analisaram a interação do mercado futuro do petróleo bruto e os mercados futuros da soja e do milho. Os dados utilizados no estudo foram os preços futuros mensais do petróleo bruto, da soja e do milho. A metodologia utilizada foi o modelo de Autoregressive Distributed Lag (ARDL) para mensurar a relação entre os preços da soja e do milho com os preços do petróleo bruto, formados na Bolsa de Nova Iorque. Os resultados encontrados indicaram a existência de interações entre os preços das commodities agrícolas e do petróleo bruto.

Baral (2018) avaliou quais características sociodemográficas estão relacionadas com o conhecimento da população em relação a indústria de biocombustível renovável nos Estados Unidos da América. A metodologia utilizada foi a Regressão Linear Múltipla, para identificar as variáveis sociodemográficas com o conhecimento sobre biocombustíveis. Os resultados revelaram que os fatores gênero, nível educacional e inclinação política são preditores estaticamente significativos em relação ao conhecimento sobre biocombustíveis.

No que refere a variável população, estudos demonstram que o crescimento populacional tem relação positiva com a emissão de CO₂ (MUHAMMAD, 2019). Já relacionado aos níveis de concentração de CO₂, Fernando e Hor (2017) citam o aumento ao decorrer dos anos, relacionando este fato com a queima de combustíveis fósseis, que contribuiu com aproximadamente 67% do total de emissões mundiais.

Ocorre que nos países industrializados, onde houve o acelerado crescimento econômico, induziu ao aumento na consumação de recursos naturais, que consequentemente impulsionou nas importações de combustíveis fósseis a assim reduziu a participação de energia renovável (DANISH et al., 2018).

Zhang et al. (2020) analisaram dados do painel de 30 regiões administrativas de nível provincial na China, utilizando modelo de regressão foi usado para analisar impacto da regulamentação ambiental e do comportamento do investimento estrangeiro na quantidade e intensidade das emissões de carbono para o período de 2008 a 2016. Os autores identificaram uma relação significativa entre emissão de carbono e regulamentação ambiental, ao passo que com a regulamentação aperfeiçoada isso reflete de forma positiva na redução dessas emissões, tendo como foco o desenvolvimento regional.

Amin, Altinoz e Dogan (2020) em estudo sobre a Curva Ambiental de Kuznets (EKC) para o setor de transportes nos países europeus, relatam o encargo do nível de renda dos países no que refere ao impacto ambiental, desta maneira os custos econômicos provenientes de aplicações sustentáveis criados com o foco deste setor, estão exatamente correlacionados ao nível de renda e também há uma dependência de combustíveis fósseis.

Observa-se através das interpretações metodológicas que o consumo de energia renovável diminui as emissões de CO₂ do setor de transporte, desta maneira aumentando o consumo de energia renovável mitiga em 0,11 por cento a poluição do ar neste setor (AMIN, ALTINOZ E DOGAN, 2020).

Em seu estudo econométrico, observa-se que a grande porção de recursos naturais esta relacionada parcialmente ao meio ambiente nas economias do BRICS (Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul) (DANISH et al., 2019).

Na análise de Almeida e Lobato (2019), entre 2002 e 2016 na região Norte brasileira, como a utilização de dados em painel por efeitos fixos, visualiza-se que quando o PIB per capita é menor que o ponto mínimo observado, há uma diminuição das emissões de CO₂, contudo se

extrapola esse mínimo com o aumento no PIB per capita, resulta em um aumento nas emissões, logo se há mudanças nas variáveis que influenciam no aumento do PIB, em conjunto deverá ter variáveis de progresso área ambiental.

3. METODOLOGIA

3.1 Modelo proposto

Diante da revisão de literatura apresentada na seção anterior, propõe-se uma análise empírica para avaliar a emissão de CO₂, tendo como base o modelo proposto por Amin, Altinoz e Dogan (2020), adaptado ao caso brasileiro e a disponibilidade informacional, utilizando o ferramental econométrico de dados em painel.

A seguir, apresenta-se o modelo teórico:

$$CO2pc_{it} = f(Y_{it}; Y_{it}^2; R_{it}; NR_{it}; F_{it}) \quad (1)$$

Em que $CO2pc_{it}$ representa as emissões de dióxido de carbono per capita dos estados; Y_{it} representa a renda per capita dos estados; Y_{it}^2 representa a renda per capita dos estados ao quadrado; R_{it} denota o consumo per capita de combustível renovável (etanol) nos estados; NR_{it} denota o consumo per capita de combustível não renovável (gasolina comum) nos estados; F_{it} representa a frota de veículos nos estados.

A partir do modelo teórico (1), pode-se especificar o modelo econométrico, via Mínimos Quadrados Ordinários, da seguinte forma:

$$\ln CO2pc_{it} = \beta_0 + \beta_1 Ypc_{it} + \beta_2 Ypc_{it}^2 + \beta_3 \ln Rpc_{it} + \beta_4 \ln NRpc_{it} + \beta_5 \ln frota_{it} + \beta_6 Dprodutor + e \quad (2)$$

A variável dependente ($\ln CO2pc_{it}$) é o logaritmo neperiano da emissão de dióxido de carbono do setor de transportes por estado brasileiro. As variáveis independentes são: renda per capita (Ypc_{it}); renda per capita ao quadrado (Ypc_{it}^2); o logaritmo neperiano das vendas per capita de etanol ($\ln Rpc_{it}$) e gasolina ($\ln NRpc_{it}$); e o logaritmo neperiano da frota de veículos ($\ln frota_{it}$); a variável $Dprodutor$ representa uma variável binária, sendo igual a 1 se estado produtor de etanol e igual a 0 caso contrário, que busca captar se existe um padrão diferente de emissão de CO₂ em estados produtores de combustível renovável (etanol). A manipulação dos dados e as análises estatísticas foram efetuadas utilizando o software Stata 15.

3.2 Dados

Os dados utilizados são compostos por um recorte transversal e também temporal, caracterizando dados longitudinais, para os 26 estados brasileiros e a unidade federativa, para o período de 2016 a 2020. A seguir, apresenta-se as variáveis utilizadas e suas respectivas fontes.

Tabela 1. Descrição da fonte dos dados

Variáveis	Unidades	Fonte
-----------	----------	-------



Emissão CO ₂	Toneladas	Sistema de Estimativa de Emissão de Gases de Efeito Estufa (SEEG);
Produção de Etanol Anidro	m ³	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP);
Produção de Etanol Hidratado	m ³	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP);
Produção de Gasolina Tipo A	m ³	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP);
Vendas de Gasolina Tipo C	m ³	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP);
Estimativa População	Unidades	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE);
Frota Denatran	Unidades	Ministério da Infraestrutura
Licenciamento de Novos Veículos	Unidades	Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos (Anfavea);
Renda	Reais	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística;

Fonte: Elaborado pelos autores

Ao incluir as variáveis contidas na literatura na equação de emissão de CO₂, buscou-se mensurar os efeitos de alguns determinantes sobre esta e assim captar os efeitos que estas variáveis exercem.

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

4.1 Descrição dos dados

Apresenta-se a seguir, na Tabela 2, a descrição da média, desvio padrão (sd) e valores mínimo e máximo das variáveis utilizadas.

Tabela 2. Descrição das variáveis utilizadas

VARIÁVEIS	(1) N	(2) média	(3) sd	(4) min.	(5) máx.
emissão	135	7.343e+07	7.608e+07	2.502e+06	3.999e+08
vendetanolh	135	8805	30949	0	229034
vendgasoc	135	6041	8714	87.50	38247
frota	135	2.027e+06	3.571e+06	66722	1.909e+07
renda	135	1162	428.1	575	2685
emissopc	135	17.20	20.42	2.121	75.76
vendetanolpc	135	0.000597	0.00129	0	0.00826
vendgasocpc	135	0.000762	0.000664	5.36e-05	0.00379
Number of codmn	27	27	27	27	27

Fonte: Resultados da pesquisa

Como pode-se observar, a variável venda de gasolina per capita é maior do que a venda de etanol per capita, o que indica o maior consumo do combustível não renovável em relação

ao renovável nos estados brasileiros, o que se deve a grande dependência da matriz energética de fontes de combustíveis de origem fóssil (derivados do petróleo).

Pode facilmente perceber a diferença nas emissões per capita entre os estados, em que o valor mínimo observado foi de 2.12 toneladas de CO₂ e o máximo de quase 76 toneladas de CO₂, com um desvio padrão de cerca de 20.42 toneladas. A seguir, na próxima seção, buscou-se analisar de forma mais detalhada quais variáveis estão associadas aos níveis de emissão de dióxido de carbono no setor de transportes.

4.2 Modelo estimado

Na Tabela 3, apresentada abaixo, estão dispostos os modelos estimados para equação (2) de emissão de CO₂ explicada pelo nível de renda, consumo (vendas) de gasolina comum (NR) e etanol hidratado (R), frota de veículos (F) e uma variável dummy para estado produtor de combustível renovável.

Tabela 3. Resultados dos modelos estimados

VARIÁVEIS	(Pooled OLS)	(Pooled OLS)	(Pooled OLS)	(re)	(fe)	(IV 2SLS)	(EC2SLS)
	lnemissopc	lnemissopc	lnemissopc	lnemissopc	lnemissopc	lnemissopc	lnemissopc
Renda (Y)		0.00267*** (0.000814)	0.00399*** (0.00106)	0.000335 (0.000261)	4.80e-05 (0.000228)	0.00213 (0.00204)	0.00282*** (0.000972)
renda2 (Y ²)		-1.10e-06*** (2.60e-07)	-1.30e-06*** (3.10e-07)	-9.77e-08 (7.58e-08)	-2.61e-08 (6.44e-08)	-7.31e-07 (5.90e-07)	-8.78e-07*** (3.10e-07)
lnRpc			0.155*** (0.0582)	0.00990 (0.00836)	0.00735 (0.00884)	0.174** (0.0792)	0.00500 (0.0114)
lnNRpc			0.276** (0.111)	0.0774*** (0.0277)	0.0815** (0.0341)	0.328*** (0.127)	0.0892** (0.0451)
dproetanolh	0.371* (0.208)		0.242 (0.179)	0.0873*** (0.0305)	0.0710*** (0.0200)	0.257 (0.196)	0.438 (0.398)
lnfrota (F)	-0.390*** (0.0521)		-0.698*** (0.0634)	-0.294*** (0.103)	-0.0840 (0.220)	-0.650*** (0.0849)	-0.548*** (0.142)
Constant	7.227*** (0.732)	0.788 (0.571)	12.41*** (1.151)	6.584*** (1.460)	3.955 (2.818)	13.63*** (1.739)	8.113*** (1.626)
Observações	135	135	127	127	127	103	103
R-quadrado	0.205	0.098	0.529		0.150	0.505	
Estados				27	27		27

Nota: Erro padrão robustos entre parênteses. *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Fonte: Resultados da pesquisa

As três primeiras colunas da Tabela 3 apresentam as estimações do modelo empilhado via MQO (Pooled OLS), posteriormente estão dispostos o modelo de dados em painel de efeito aleatório (re) e efeito fixo (fe). Por fim, estimou-se o modelo de variáveis instrumentais via Mínimos Quadrados em Dois Estágios (IV 2SLS) e também o estimador de variáveis instrumentais de Baltagi e Liu (2009) para modelos de dados em painel com efeitos aleatórios (EC2SLS).

Os modelos estimados permitem se observar que não se tem um padrão de menor emissão em estados produtores, visto que a dummy para estado produtor apresentou sinal positivo e significativo no modelo Pooled (coluna 1) e modelos de dados em painel de efeito aleatório e fixo. Portanto, as estimativas mostram que se tem um padrão de maior emissão em estados que são produtores de combustível renovável (etanol), em que a emissão média é de cerca de 7% a 8,7% a mais do que a média dos demais estados, considerando um nível de

significância de 1% (Tabela 3). Esse resultado pode estar associado a tais estados serem também, na média, maiores consumidores de combustíveis.

Em relação ao consumo de combustíveis, renovável e não renovável, pode-se observar que os mesmos possuem influência positiva e significativa na emissão de dióxido de carbono, como esperado. Cabe destacar que o efeito médio das emissões relacionadas ao consumo de etanol é menor do que o efeito associado ao consumo de gasolina, o que confirma a relação de combustível renovável como um mecanismo para redução de emissões. Considerando o modelo de IV 2SLS, com nível de significância de 1%, uma variação de 1% no consumo de combustíveis, está associado a uma maior emissão de cerca de 0,17% quando trata-se de combustível renovável e de aproximadamente 0,33% quando se refere a combustível não renovável, *ceteris paribus*.

Em relação à variável renda, pode-se perceber que existe um efeito positivo e significativo em relação a estados com maior nível de renda per capita. Médias possuem maiores níveis de emissão, sendo que, quando analisado no longo prazo, o efeito se torna negativo. Essa relação verificada, assim como em outros estudos como em Amin, Altinoz e Dogan (2020), indica uma relação conhecida teoricamente como Curva Ambiental de Kuznets (CAK), que postula que em períodos de maior crescimento se tem uma maior degradação ambiental, passando posteriormente com níveis mais elevados de desenvolvimento e tecnologia, a se ter um menor efeito sobre o meio ambiente. Assim, como disposto na Tabela 3, essa relação também é encontrada para os estados brasileiros no período analisado.

Por fim, um resultado interessante, é o efeito negativo e significativo da variação da frota de veículos sobre o nível de emissões per capita. Esse efeito, como indicado em alguns estudos na literatura, pode estar associado a um maior nível tecnológico dos veículos novos e que resultem em maior eficiência associada a menor emissão. Cabe destacar, no caso brasileiro, a tecnologia *flex-fuel* introduzida a partir de 2003, em que os motores produzidos podem utilizar tanto gasolina quanto etanol hidratado, trazendo uma inovação importante para a frota de veículo e que avançou nos últimos anos. Considerando o modelo de EC2SLS, por exemplo, uma variação de 1% na frota de veículos está associado a uma redução de cerca de 0,55% no nível de emissões per capita, mantendo-se tudo o mais constante.

5. CONCLUSÃO

O presente estudo teve como objetivo analisar a relação entre a emissão de dióxido de carbono e o consumo de combustíveis no Brasil, considerando os estados e DF, para o período de 2016 a 2020, utilizando modelos de dados em painel.

Considerando as necessidades ambientais relacionadas com a redução dos gases de efeito estufa e uma redução da dependência de combustíveis derivados do petróleo, houve um incentivo do Estado para o aumento da produção de biocombustíveis, descritos no Plano Nacional de Energia, em que se espera uma redução significativa das emissões até 2030. Pelos resultados evidenciados no presente estudo, aumentos de vendas de gasolina estão associados a maiores níveis de emissão, possuindo maior magnitude do efeito quando comparado as vendas de etanol.

Observou-se que regiões produtoras de combustível renovável estão associadas positivamente a emissões de CO₂. Além disso, identificou-se uma relação ligada a CAK, pois a mesma é verificada. Por fim, além de uma frota com maior eficiência e nível tecnológico pode ter um efeito de redução de emissões, assim como o nível de renda é importante para explicar o nível de emissões. Portanto, a redução das emissões de CO₂ do setor de transporte está associada a melhoria técnica da frota, a um maior foco em combustíveis renováveis e ao estágio de crescimento econômico.

As limitações do estudo estão ligadas a disponibilidade de dados e possíveis ajustes de robustez. Em estudos futuros podem ser testadas novas variáveis de interesse, assim como buscar avaliar variáveis instrumentais alternativas para o controle da endogeneidade.

O agronegócio é a base na manutenção do ser humano, mas este tem que ter a responsabilidade no que refere a promoção da agricultura sustentável. Desta maneira, observa-se que quanto menor dependência de combustíveis de fonte fóssil, necessitará de maior rendimento da produção agrícola, em especial fontes de energia renovável, e assim, menor perdas ambientais no que refere a relação aos combustíveis.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, M. G.; LOBATO, T.C **A curva de Kuznets ambiental para a região norte do Brasil entre os anos de 2002 a 2015.** Economia & Região, v. 7, n. 1, p. 7-24, 2019.

ANP. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. 2022. **Vendas de derivados de petróleo e biocombustíveis.** Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/dados-abertos/vendas-de-derivados-de-petroleo-e-biocombustiveis>. Acesso em: 17 de março de 2023.

ANP. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. 2022. **Comercialização de combustíveis em 2020 teve queda de 5,97% na comparação com 2019 devido à pandemia. 2021. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis.** Disponível em: https://www.gov.br/anp/pt-br/canais_atendimento/imprensa/noticias-comunicados/comercializacao-de-combustiveis-em-2020-teve-queda-de-5-97-na-comparacao-com-2019-devido-a-pandemia. Acesso em: 9 de outubro de 2023.

AMIN, Azka; ALTINOZ, Buket; DOGAN, Eyup. **Analyzing the determinants of carbon emissions from transportation in European countries: the role of renewable energy and urbanization.** Clean Technologies and Environmental Policy, v. 22, p. 1725-1734, 2020.

BALTAGI, B.H.; LIU, L. A note on the application of EC2SLS and EC3SLS estimators in panel data models. **Stat. Probab. Lett.** 2009, 79, 2189–2192.

BARAL, N. What socio-demographic characteristics predict knowledge of biofuels. **Energy Policy**, [S. l.], v. 122, nov. 2018.

BENTIVOGLIO, D.; FINCO, A.; BACCHI, M. R. P. **Interdependencies between Biofuel, Fuel and Food Prices: The Case of the Brazilian Ethanol Market "2279.** [S. l.], p. 1-17, 2016.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **RenovaBio.** Disponível em: <http://antigo.mme.gov.br/web/guest/secretarias/petroleo-gas-natural-e-biocombustiveis/acoes-e-programas/programas/renovabio>. 2021. Acesso em: 08 de março de 2023.

BRASIL. Brasil abre estande na COP 27 e apresenta todo o seu potencial verde ao mundo em Sharm El-Sheik, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/brasil-na-cop/brasil-abre-estande-na-cop-27-e-apresenta-todo-o-seu-potencial-verde-ao-mundo-em-sharm-el-sheik>. Acesso em: 12 de março 2023.

CLIMATE WATCH. Greenhouse Gas (GHG) Emissions | Climate Watch. 2022. Disponível em: https://www.climatewatchdata.org/ghg-emissions?end_year=2019&gases=co2®ions=WORLD§ors=total-including-lucf&source=CAIT&start_year=1990. Acesso em: 30 de outubro de 2022.

DANISH; WANG, Z. Dynamic relationship between tourism, economic growth, and environmental quality. **Journal of Sustainable Tourism**, 26:11, 1928-1943, 2018.

DANISH, M. A. et al. Effect of natural resources, renewable energy and economic development on CO2 emissions in BRICS countries. **Science of the Total Environment**. v. 678, p. 632-638, 2019.

FERNANDO, Y.; HOR, W. L. Impacts of energy management practices on energy efficiency and carbon emissions reduction: a survey of Malaysian manufacturing firms. **Resources. Conservation and Recycling**, v. 126, p.62-73, 2017.

GML. Global Monitoring Laboratory. The NOAA Annual Greenhouse Gas Index (AGGI), 2022. Disponível em: <https://gml.noaa.gov/aggi/aggi.html>. Acesso em: 01 março 2023.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – **Produto interno bruto a preços correntes, impostos, líquidos de subsídios, sobre produtos a preços correntes e valor adicionado bruto a preços correntes total e por atividade econômica, e respectivas participações** – Referência 2001. 2020. População residente enviada ao Tribunal de Contas da União. <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html?edicao=28674&t=resultados>. Acesso em: 14 de outubro de 2022.

LIN, B.; RAZA, M.Y. Analysis of energy related CO2 emissions in Pakistan. **Journal of Cleaner Production**, v. 219, p. 981-993, 2019.

LORA, E. E. S. **Issues to consider, existing tools and constraints in biofuels sustainability assessments.** [S. l.], 2011.

MME - MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA; EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2030.** Brasília: MME/EPE, 2021. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-490/PDE%202030_RevisaoPosCP_rv2.pdf. Acesso em: 18 de março de 2023.

MONTOYA, M.A et al. Consumo de energia, emissões de CO2 e a geração de renda e emprego no agronegócio brasileiro: uma análise insumo–produto. **Economia Aplicada**. v. 20, n.4, p. 383-413, 2016.

MUHAMMAD, B. Energy consumption, CO2 emissions and economic growth in developed, emerging and Middle East and North Africa countries. **Energy**. v. 179, p. 232-245, 2019.

NEVES, Marcos Fava et al. **Modelo MAPEA - Mercados-Alvo Para Exportação de Alimentos**. **Revista Agronomia Brasil**, v. 4, n. 1, p. 1-8, 2020. Disponível em: <https://doutoragro.com/download/modelo-mapea-exportacoes-do-agro-fava-neves-et-al/>. Acesso em: 01 de outubro de 2022.

ONU. A ONU e o meio ambiente. **As Nações Unidas no Brasil**. 2020. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/91223-onu-e-o-meio-ambiente>. Acesso em: 15 de outubro de 2022.

PERES, J. R. R.; JUNIOR, E. F.; GAZZONI, D. L. Biocombustíveis Uma oportunidade para o agronegócio brasileiro. **Revista de Política Agrícola**. Volume 14, Nº 1, p. 17-30. Brasília, 2005. Disponível em: <https://seer.sede.embrapa.br/index.php/RPA/article/view/528>. Acesso em: 20 de outubro de 2022.

PROLO, C. D.; PENIDO, G.; SANTOS, I. T.; LA HOZ THEUER, S. (2021). **Explicando os mercados de carbono na era do Acordo de Paris**. Rio de Janeiro: Instituto Clima e Sociedade. Disponível em: <https://laclima.org/files/explicando-mercados-rev.pdf>. Acesso em: 25 de março de 2023.

REHERMANN, F.; PABLO-ROMERO, M. Economic growth and transport energy consumption in the Latin American and Caribbean countries. **Energy Policy**, [S. l.], v. 122, p. 518–527, nov. 2018.

SEEG. **Sistema de Estimativa de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa, Observatório do Clima**. 2019. Disponível em: <http://seeg.eco.br/download>. Acesso em: 17 de outubro de 2022.

SIMIONESCU, M. et al. The Impact Of Biofuels Utilisation In Transport On The Sustainable Development In The European Union. **Technological and Economic Development of Economy**, [S. l.], v. 23, n. 4, p. 667–686, 2017.

ZAFEIRIOU, E. et al. **Agricultural Commodity and Crude Oil Prices: An Empirical Investigation of Their Relationship**. **Sustainability**, [S. l.], v. 10, n. 4, p. 1199, 2018.

ZHANG, Bo; SARATHY, S. Mani; ABDUL-MANAN, Amir FN. Optimizing Blendstock Composition and Ethanol Feedstock to Reduce Gasoline Well-to-Pump CO2 Emission. **Energy Procedia**, v. 105, p. 3642-3647, 2017.

ZHANG, Wei et al. Environmental regulation, foreign investment behavior, and carbon emissions for 30 provinces in China. **Journal of Cleaner Production**, v. 248, p. 119208, 2020.