

Os efeitos do combustível verde sobre a gasolina: uma análise para o Brasil (2001-2023)

Junior Gabriel Nardino Fumagali¹
Rosa Livia Gonçalves Montenegro²

Resumo: O presente trabalho apresentou evidências de como a produção de etanol, analisada sobre as características estaduais do Brasil, pode ser considerado um combustível sustentável para veículos automotores. Vele destacar que o etanol, por não ser um combustível fóssil, torna-se uma alternativa viável frente a gasolina, sendo um exemplo deecoinovação. Como o Brasil possui grandes regiões produtoras de etanol (sobretudo no Nordeste e no Centro-Oeste), investigação permitiu identificar as regiões potenciais para o desenvolvimento da indústria sucroalcooleira no País. Para atingir o objetivo do trabalho, utilizou-se os preços à varejo da gasolina e do etanol entre julho de 2001 até dezembro de 2023, com o uso do teste de causalidade de Granger. Como resultado observou-se que em vinte estados brasileiros, tanto a gasolina quanto o etanol, possuem uma relação bidirecional nos seus preços, impactando a produção de ambos os combustíveis. Ademais, constatou-se que do ponto de vista da ecoeficiência, o tempo de resposta para que ambos os combustíveis possam ter alguma relação pode ser considerada um obstáculo ao fomento para a produção sucroalcooleira. Este artigo fornece evidências empíricas importantes para melhorar e promover políticas públicas em prol da produção de combustível verde.

Palavras-chave: Etanol, Ecoinovação, Estados Brasileiros, Combustível Verde

Abstract: This paper presented evidence on how ethanol production, analyzed based on the characteristics of Brazilian states, can be considered a sustainable fuel for motor vehicles. It is worth highlighting that ethanol, as it is not a fossil fuel, becomes a viable alternative to gasoline, serving as an example of eco-innovation. Given that Brazil has large ethanol-producing regions (especially in the Northeast and Center-West), the investigation allowed the identification of potential regions for the development of the sugarcane industry in the country. To achieve the objective of this study, retail prices of gasoline and ethanol from July 2001 to December 2023 were used, employing the Granger causality test. As a result, it was observed that in twenty Brazilian states, both gasoline and ethanol have a bidirectional relationship in their prices, impacting the production of both fuels. Furthermore, from the perspective of eco-efficiency, the response time for both fuels to establish any relationship can be considered an obstacle to the promotion of the sugarcane industry. This article provides important empirical evidence to improve and promote public policies in favor of green fuel production.

Keywords: Ethanol; Ecoinnovation; Brazilian States; Biofuel

Área 7: Infra-estrutura, transporte, energia, mobilidade e comunicação

¹ Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Economia (PPGE) - Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF). E-mail para contato: junior.fumagali@estudante.ufjf.br

² Professora do Departamento de Economia da UFJF e do PPGE/UFJF.

1. Introdução

Na Conferência de Estocolmo, em 1972, discutiu-se pela primeira vez o impacto das ações humanas sobre o ecossistema, na forma de emissões de poluentes, entre os quais o Dióxido de Carbono (CO₂). Com a crise do petróleo, ocorrida na mesma década, acelerou-se a discussão por novas alternativas viáveis aos combustíveis fósseis. Ao longo do tempo, o debate sobre a questão ambiental aprofundou-se e nos anos 90 diversos estudos mostraram que os gases efeito estufa estavam acelerando o aquecimento global e destruindo a camada de ozônio (Ansuategi e Escapa, 2002; Papadimitriou, 2004; Yoro e Daramola, 2020; Beard *et al.* 2021). Deste modo, a partir das consequências das mudanças climáticas surge a urgência em buscar soluções mais limpas e eficazes. Especificamente, a energia limpa contribui a longo prazo o bem-estar da população, amenizando os impactos ambientais negativos (HAINES *et al.* 2007; SOMANATHAN E BLUFFSTONE, 2015; IYKE, 2024).

Destarte, o papel dos combustíveis fósseis, principalmente a respeito de seus principais produtos como gasolina e óleo diesel, são responsáveis por movimentar 92% de toda a frota veicular de carros novos vendidos no mundo (Statista, 2019). Especificamente no Brasil, a fim de reduzir e mitigar o impacto das emissões e, atrelados a instabilidade dos preços dos combustíveis fósseis, o país vem investindo no desenvolvimento do etanol, considerado o combustível verde³ (Guarheiro *et al.* 2011). Assim, o etanol surgiu como alternativa tanto por questões econômicas (crise do petróleo) quanto por questões ambientais (Andrade *et al.* 2009; Cruz *et al.* 2012; Moraes e Bacchi, 2014). Durante os anos 90, uma das alternativas da indústria automotiva foi a inserção da injeção eletrônica e catalisadores que contribuem para a redução da emissão de poluentes (Twig, 2006; Farrauto *et al.* 2019; Kozina *et al.* 2020). Tais mudanças ajudaram o etanol a ser um concorrente direto da gasolina como combustível, visto que o etanol emite menos dióxido de carbono em sua queima do que a gasolina (Leite e Leal, 2007). De acordo com o SEEG Brasil (2022), somente no estado de São Paulo no ano de 2022, o setor de transportes emitiu quase 50 milhões de toneladas de CO₂, enquanto no estado do Rio de Janeiro emitiu 20 milhões ton/CO₂, também relacionadas ao setor de transportes. Vale ressaltar que o setor de transporte é responsável por 62,21% das emissões de CO₂ relativas ao setor energético dos estados brasileiros em média (SEEG Brasil, 2022). Com o objetivo de ressaltar o potencial do etanol com um combustível sustentável, o Brasil aplicou e aprimorou a tecnologia do motor *flex* (etanol e gasolina) permitindo ao consumidor o poder de decisão ao abastecer os automóveis. Além do motor *flex*, o Brasil, desde os anos 2000, aumentou o percentual de etanol na gasolina, com o objetivo de reduzir a emissão de gases do efeito estufa (Melo e Sampaio, 2014; Tulio e Lima, 2014). Lira (2015) destaca que o maior percentual de etanol na combinação com a gasolina, pode reduzir a emissão de CO₂ na atmosfera. Assim, com as mudanças na composição da gasolina e da introdução do motor *flex*, o etanol e a gasolina também passaram a ter uma dependência entre si com relação aos preços. Sendo que a gasolina é impactada tanto pelo preço do petróleo quanto pelo preço do etanol (Melo e Sampaio, 2014). Sob esse aspecto, Fernandes e Braga (2012) analisaram a interdependência dos preços do etanol e da gasolina no Brasil por intermédio de testes econométricos, a saber: teste de cointegração, teste de causalidade de Granger e uso do modelo de vetores autorregressivos (VAR). Com o intuito de identificar alguma relação causal entre os preços regionais de etanol e gasolina, que poderiam delimitar o mercado relevante para cada combustível, os resultados mostraram que em nenhuma

³ O etanol oriundo da cana de açúcar, que pode ser plantado em diversas regiões brasileiras. Os benefícios são variados e um dos principais é que o combustível verde possui um processo de fabricação menos nocivo ao meio ambiente, além de sua queima gerar menos dióxido de carbono em relação a queima da gasolina (Soares *et al.* 2009).

região brasileira o etanol apresentou causalidade para a gasolina. No entanto, o contrário foi válido em todas as regiões, sendo que o preço da gasolina afeta o preço do etanol.

Portanto, este trabalho tem por objetivo verificar como o comportamento do preço do etanol afeta o preço da gasolina no Brasil, no período entre julho de 2021 e dezembro de 2023. O artigo tem duas contribuições para a literatura. A primeira consiste o recorte territorial por estado, e que reflete na produção do combustível verde no País. A justificativa para a análise territorial consiste na dinâmica dos preços de combustíveis que difere de estado para estado. A partir deste resultado, será possível identificar se determinadas regiões são afetadas pelo preço da gasolina, de maneira heterogênea. A segunda contribuição permitirá configurar os estados em que o etanol seria mais competitivo em relação a gasolina, como uma boa opção sustentável para a produção de combustível verde (Fernandes e Braga, 2012).

Este artigo está estruturado em seis seções, dentre as quais são: referencial teórico, estratégia empírica, resultados, discussões e políticas e conclusões. A seção 2, referencial teórico abordará a discussão sobreecoinovação e o papel do etanol. A seção 3, apresentará o método utilizado para verificar a relação de preços entre etanol e gasolina, como também a base de dados utilizada. Seção 4, terá os principais resultados em nível estadual a respeito da relação etanol-gasolina. Seção 5, discutirá como o etanol pode ser competitivo frente a gasolina e que ações podem ser tomadas para a continuação da evolução do etanol como combustível verde. Por fim, a seção 6 irá tecer as principais conclusões a respeito do etanol como combustível verde, além de sugerir políticas em prol da produção do etanol como um combustível verde no Brasil, a partir das potencialidades regionais analisadas.

2. O conceito de EcoInovação

Para Rennings (2000), o conceito de ecoInovação consiste na atuação de atores relevantes (empresas, políticos, sindicatos, residências, instituições) que apresentem duas características: o desenvolvimento de novas ideias, produtos, comportamentos e serviços e geram uma contribuição para a redução de encargos ambientais ou tenham metas de sustentabilidade. De acordo com Horbach, Rammer e Rennings (2012), a ecoInovação pode ser descrita como um processo, exploração ou aplicação de um bem, serviço, processo industrial, organização industrial, cujo a Inovação está dentro do seu ciclo de vida, respectivamente. Ademais, durante o ciclo de vida da ecoInovação observa-se a mitigação do risco ambiental, poluição e de negativos impactos sobre o uso de recursos (incluindo recursos energéticos), comparado as alternativas relevantes disponíveis.

A definição de ecoInovação adotada neste artigo será semelhante ao conceito adotado pelo *projeto Measuring Eco-Innovation (MEI)* :

“EcoInovação e a produção, assimilação ou utilização de um produto, processo produtivo, serviço ou gestão, ou método de negócio que é novo para a organização (que o desenvolve ou o adota) e que resulta, considerando seu ciclo de vida como um todo, na redução do risco ambiental, da poluição e de outros impactos negativos do uso de recursos (incluindo o uso de energia) em comparação com alternativas relevantes”.

Em resumo, a ecoInovação tem como principal objetivo criar bens, produtos, serviços e processos, sem impactar meio ambiente. Entre os principais determinantes da ecoInovação, é possível citar quatro fatores: tecnologia, mercado, regulação e fatores organizacionais internos à firma (Horbach, Rammer e Rennings, 2012). Logo, cada determinante é capaz de contribuir para a criação de um novo produto, processo ou serviço que seja sustentável ao meio ambiente (GREEN *et al.*, 1994; HART, 1995; PORTER e van der LINDE, 1995; CLEFF E RENNINGS, 1999; RENNINGS E ZWICK, 2002; EDLER *et al.* 2003; SHRIVASTAVA, 2007; REHFELD *et al.*, 2007; CANON DE FRANCIA *et al.*, 2007; VAN DER BERGH, 2008; KAMMERER,

2009; WAGNER, 2009; BROHMANN *et al.*, 2009; BOSSLE *et al.*, 2016; KELLER *et al.*, 2020)

Sobre a questão do mercado, Kammerer (2009) encontrou evidências que caso o produto ou serviço tenham um impacto positivo sobre asecoinovações, haverá também uma alta demanda pelos consumidores. Em relação a regulação, Del Rio Gonzalez (2005) identificou que a pressão regulatória representou um dos principais motores para a adoção de tecnologias limpas na produção do setor de celulose da Espanha. No caso, brasileiro, a região amazônica, onde concentra um amplo plantio de soja no país, o desmatamento é permitido apenas em 20% do imóvel rural, sendo obrigatório a preservação de 80% de cobertura vegetal. Essa regulação permitiu que o Brasil se destacasse como um dos países que mais preserva florestas considerando a atividade agropecuária no mundo (ZAKIA E PINTO, 2013).

Quanto ao determinante de tecnologia, seu papel nas ecoinovações possui efeitos diretos e indiretos sob o desenvolvimento de produtos com um ciclo de vida que não impacta o meio ambiente. Trata-se também do desenvolvimento de um sistema de gerenciamento ambiental, onde a firma passa a implantar tecnologias mais limpas e econômicas no seu processo produtivo (Rennings *et al.* 2006). No entanto, Porter e van der Linde (1995) destacam que a maior dificuldade das firmas em adotar ecoinovações consiste na falta de experiência em lidar com os problemas ambientais. O obstáculo mencionado é oriundo de informações incompletas por parte da firma e cabe ao sistema organizacional e de gestão destas gerenciá-los. Portanto, um sistema de gerenciamento ambiental é fundamental para o desenvolvimento de ecoinovações por parte das firmas (KHANNA *et al.*, 2009; WAGNER, 2008).

A respeito dos fatores organizacionais e específicos da firma, que também podem ser denominados como as “capacidades verdes”, estes representam o conhecimento que as firmas detêm sobre as questões, estratégias e desafios ambientais nos quais elas enfrentam. Segundo Hart (1995) e Kammerer (2009), para firmas com setores mais sensíveis quanto aos aspectos de emissões de CO₂, tais capacidades verdes são mais complexas de se atingirem, por exemplo: indústrias mineradoras. No caso da indústria mineradora, seus principais resultados são produtos minerais extraídos do solo ou da água, logo o processo de extração gera um impacto negativo inerente sobre o meio ambiente (Mechi e Sanchez, 2010). Porém, em outros setores e em pequenas e médias empresas, o processo de obtenção da capacidade verde é facilitado pela sua vantagem competitiva sustentável (SCA). Os recursos e as capacidades organizacionais devem ser configurados para se alinharem com os requisitos ambientais, sustentando também a competitividade das firmas. Embora estudos recentes tenham enfatizado a importância das capacidades ambientais na viabilização de práticas sustentáveis nas firmas, ainda não é possível verificar como estas capacidades podem melhorar a vantagem competitiva sustentável (SCA) das pequenas e médias empresas (Arsawan *et al.*, 2022; Sanchez-Planelles *et al.*, 2022; Mady *et al.*, 2023).

Com base nos fatores determinantes das firmas, é possível destacar a questão da ecoeficiência. Seu conceito envolve elementos fundamentais para que as ecoinovações sejam capazes de fornecer respostas mais rápidas às dificuldades encontradas pelo processo de produção tradicional. O objetivo da ecoeficiência consiste em fornecer um bem/serviço com o menor uso de encargos de recursos naturais (Park e Behera, 2014; Levidow *et al.* 2016). Em geral, o conceito de ecoeficiência pode ser definido como uma razão entre os benefícios econômicos e os encargos de recursos ecológicos (Park e Behera, 2014; Levidow *et al.* 2016). Mavi *et al.* (2019) e Lacka e Brzezicki (2022) definiram a ecoeficiência como a entrega de bens e serviços competitivos que melhoram a qualidade de vida, enquanto reduzem os impactos ecológicos e intensidade de recursos em relação ao ciclo de vida do produto. A questão de redução dos impactos ecológicos nos produtos como medida de ecoeficiência já era considerada em Colombo *et al.* (2019), enquanto que anteriormente em Huppés e Ishikawa (2009) consideraram o impacto ecológico por unidade de produto como uma medida da ecoeficiência.

Além disso, é interessante ressaltar o conceito de simbiose industrial citado por Park e Behera (2014) Para os autores, o conceito relaciona que os resíduos gerados em uma indústria podem ser aproveitados em outra indústria, reduzindo assim o impacto ecológico. Considerando a produção de etanol no Brasil, é possível dizer que há uma interação industrial no processo. Mais especificamente, o bagaço da cana de açúcar é gerado na moagem e pode ser usado como biomassa para gerar eletricidade esquentando as caldeiras onde ocorre a destilação do etanol (Soares et al., 2009; Almeida *et al.*, 2017; Manochio *et al.*, 2017). Desta forma, a ecoeficiência gerada pelo etanol, inicia-se pelo seu recurso natural, no caso o bagaço da cana de açúcar e, pode ser ocasionalmente repassado a outras diferentes indústrias que necessitem de biomassa para gerar eletricidade (Manochio *et al.*, 2017).

2.1. O combustível verde no Brasil: uma análise sobre a importância do etanol

No âmbito internacional, durante os anos 1970, ocorreram duas crises severas de oferta de petróleo no mundo, sendo a primeira em 1973 e a segunda em 1979. A consequência das crises culminou no elevado aumento nos preços do barril do petróleo e, como resultados, nos seus derivados como a gasolina. De acordo o IPEADATA (2024), em 1973 o barril do petróleo custava US\$ 3,24 dólares, após um ano da crise de 1973 o preço em 1974 chegou a US\$ 11,59 dólares, ocorrendo um aumento de 257,71% no preço mundial do barril do petróleo. Após ambas as crises do petróleo dos anos 1970, o preço do barril do petróleo passou por uma estabilização, nem mesmo a guerra do Kuwait em 1990 teve algum poder de oscilação sobre o preço do barril. Durante os anos 1980 e 1990, os preços dos produtos derivados do petróleo, além de se estabilizarem, sofreram quedas ao longo dos anos (IPEADATA, 2024). Como resultado, a promoção ao desenvolvimento de tecnologia dos motores a álcool perdeu fôlego. No entanto, a preocupação climática com a queima de combustíveis fósseis e as diversas reuniões sobre o clima global dentre elas a RIO-92 e Protocolo de Quioto em 1997 aceleraram antigas e novas preocupações sobre o impacto negativos dos combustíveis fósseis ao meio ambiente.

É válido ressaltar que desde os anos 1970, a queima do álcool produzia menos emissões de CO₂ frente a gasolina e ao diesel, principais combustíveis concorrentes do álcool no Brasil. Os Estados Unidos foi o primeiro país do mundo a desenvolver um motor *flex-fuel*, ou seja, a capacidade de usar etanol ou gasolina para a combustão. Em 1992, a General Motors lançou a primeira van com motor *flex* do mundo, van Lumina (Almeida *et al.*, 2017). No entanto, o Brasil foi o primeiro país do mundo a produzir em larga escala carros com motores *flex* em 2003 (Anfavea, 2024). No final dos anos 2010, o nome álcool foi substituído por etanol, uma vez que o álcool é um genérico para se referir a metanol ou etanol (Balki *et al.* 2014). O cenário positivo brasileiro pode ser destacado, especialmente quanto a tecnologia automotiva *flex* e o uso do etanol, que estão disseminados no Brasil, respondendo por mais de 90% da frota circulante de carros *flex* no país e que usam o etanol com principal combustível (ANFAVEA, 2023). Os avanços em relação ao combustível verde no Brasil surgiram a partir da criação do PROALCOOL (Programa Nacional do Álcool) lançado em 14 de novembro de 1975. O principal objetivo do programa foi desenvolver uma tecnologia de motor a combustão que não utilizasse petróleo como principal propelente, e sim, a cana de açúcar, e seu subproduto, o etanol (ANFAVEA, 2024). Apesar do programa PROALCOOL ter tido dificuldades no final dos 1970, os primeiros resultados dessa nova tecnologia surgiram no mercado automotivo com lançamento do modelo automotivo Fiat 147 que era movido à álcool, sendo o primeiro carro a álcool no mundo (ANFAVEA, 2024).

Sob o aspecto do combustível verde, o Brasil está em segundo no ranking de produção mundial de etanol, com 28 milhões de litros, atrás dos EUA e da União Europeia, com uma produção aproximada de 59 e 5 milhões de litros, respectivamente (Vidal, 2022). Vale ressaltar

que na Europa, a produção de etanol é proveniente de alimentos como a beterraba, sendo a Alemanha uma pioneira no uso do etanol em que utiliza tanta a batata e/ou a beterraba para a fabricação (Abebe, 2008). Desse modo, os europeus se destacam pelo uso de beterrabas e batatas na produção de etanol, e o Brasil e os EUA se destacam pela fabricação do etanol com base na cana de açúcar e no etanol com base na produção de milho, respectivamente (Thomsen *et al.*, 2003; Manochio *et al.*, 2017; Vidal, 2022).

No entanto, durante o processo de produção do etanol, a partir da produção de milho, a emissão de CO₂ é muito superior em relação a emissão de CO₂, via produção de etanol de cana de açúcar brasileira. Chum *et al.* (2013) mostraram tal comparação entre o etanol brasileiro e o americano. A principal razão para o etanol brasileiro não utilizar tantos combustíveis fósseis em sua cadeia de produção, consiste no uso de maior percentual de energia renovável frente ao etanol de milho estadunidense. Os autores destacam que para o etanol estadunidense ser mais competitivo ecologicamente é necessário mudar vários aspectos da cadeia de produção, sobretudo, a redução do uso de carvão mineral em seu processo produtivo. Com base, nas três formas de produção de etanol mais conhecidas no mundo: cana de açúcar (Brasil), beterraba (União Europeia) e milho (Estados Unidos), Manochio *et al.* (2017) identificou que o etanol oriundo da cana de açúcar brasileira diminui entre 69% a 89% das suas emissões de dióxido de carbono, em comparação com o uso de gasolina. Em outras palavras, durante o processo de fabricação do etanol pela cana de açúcar, usa-se o bagaço da cana como biomassa, reduzindo a necessidade de fontes externas de energia. Comparando-se com o etanol de milho, o etanol proveniente da cana de açúcar consegue evitar entre 30-38% de emissões, já o etanol de beterraba reduz apenas entre 35-56% de emissões de CO₂. A conclusão do trabalho destaca que o etanol brasileiro consegue ser mais ecológico frente as outras duas principais formas de produzir etanol no mundo. Por sua vez, Jesus *et al.* (2023) explicam que a indústria sucroalcooleira do Brasil pode ser mais ecológica desde que consiga superar algumas barreiras para adoção de uma economia circular no setor. Os autores destacam que as principais barreiras para uma ampla adoção e difusão por parte das firmas consistem na falta de capacidade produtiva destas em uma economia circular. Nesse caso, existe uma lacuna sobre os processos de internalização industriais que poderiam ajudar a empresa, em seu setor atuante, a criar condições para uma economia circular e reduzir a pegada ecológica gerada pela produção do etanol. Ressalta-se que aecoinovação representa umas questões específicas das firmas (ou capacidades verdes) onde a produção destas está diretamente relacionada aos valores ambientais presentes na cadeia de produção.

Além de países europeus, do Brasil e dos Estados Unidos, a tecnologia de combustível verde baseada em etanol foi testada em outros países, como por exemplo, a Tailândia. De acordo com Amataykul e Berndes, 2017, neste país há um programa que institui até 10% de etanol na mistura com a gasolina até o ano de 2012. Os resultados mostraram que a inserção do etanol na gasolina tailandesa reduziu a emissão de CO₂ em 0,9 milhões de toneladas. Além disso, houve ganhos na parte agrícola pela expansão da produção de insumos para a fabricação do etanol no país. o trabalho conclui que o etanol constitui um importante combustível verde para a indústria automotiva tailandesa (Amataykul e Berndes, 2017).

Em relação às emissões, Soares *et al.* (2009) conduziu um estudo onde analisou-se o nível de poluentes emitidos pela cana de açúcar na fabricação do etanol e como o etanol emite menos poluentes frente a gasolina e ao diesel. Os resultados encontrados, considerando o mesmo modelo automotivo com motor flex indicaram que o etanol emite 80% menos CO₂ que a gasolina pura. Considerando-se um motor a diesel para o mesmo carro, o etanol consegue emitir até 76,69% menos CO₂. Vale notar que ao adicionar o etanol à gasolina (com 23% de mistura) observou-se que a emissão de CO₂ diminuiu em 18%. Este resultado confirma que o etanol é um combustível mais limpo e sustentável frente a gasolina e o diesel, garantido a denominação do etanol como sendo um combustível verde. Além disso, o etanol também

apresentou uma pegada ecológica menor frente a gasolina. Segundo Dias de Oliveira *et al.* (2005), o etanol brasileiro precisa de apenas 0,19 hectares de árvores plantada para capturar o CO₂ emitido por um carro em um ano. No entanto, a gasolina misturada com etanol precisa de 0,59 hectares de árvores plantadas (3,10 vezes maior que o etanol). Assim, destaca-se as características do etanol como um grande aliado à mitigação do impacto das mudanças climáticas, principalmente em países com cidades com grandes frotas de veículos. Parish *et al.* (2013) pontua que a exploração de petróleo para a produção de gasolina implica em um impacto negativo na produção desse combustível. Em outras palavras, os autores argumentam que a exploração de petróleo incorre em potenciais riscos ambientais, tais como: vazamento de petróleo durante a extração. Os derramamentos de petróleo no oceano ou em terra, tem efeitos muitas vezes globais, levando milhares de anos para mitigar seus efeitos. Enquanto isso, a produção de etanol tem efeitos que podem durar décadas, em relação aos efeitos nos biomas impactados. Todavia o impacto da produção de etanol é regional, afetando apenas a região onde ocorre o plantio e processamento da biomassa (Parish *et al.*, 2013).

Desta forma, o presente artigo destaca-se por investigar metodologicamente a relação de mercado existente entre a gasolina e o etanol. A hipótese a ser analisada é a de que as flutuações no preço da gasolina determinam o preço do etanol, mas não o contrário (Fernandes e Braga, 2012; Merritt e Barragán-Ocaña, 2023). Dessa maneira, para testar tal hipótese foi escolhido o Teste de Causalidade de Granger a fim de identificar qual a direção entre a relação de mercado gasolina-etanol nos estados Brasileiros, apontando assim a direção da relação entre o combustível verde e a gasolina. A partir dos resultados será possível compreender o cenário mercadológico entre a gasolina e o etanol no Brasil, identificando os estados mais competitivos, assim como, os mais avançados na direção da produção de combustível verde.

3. Estratégia empírica

3.1. Teste de Causalidade de Granger (TCG)

Para este trabalho, optou-se por utilizar um teste de causalidade de Granger (1969), em virtude da importância desse teste que verifica a existência de causalidade entre duas variáveis. O teste de causalidade de Granger foi utilizado por Merritt e Barragán-Ocaña (2023) com o propósito de examinar como os preços do etanol nos Estados Unidos se relacionam com os preços da gasolina no âmbito de uma possível causalidade entre ambos. Desse modo, o teste de causalidade de Granger é um método estatístico que consiste em identificar se uma série temporal é um fator e possui informação confiável para previsão. O teste de Granger (1969) considera apenas séries de tempo discretas e, por definição, o teste sempre se inicia com uma defasagem (ou seja, com um lag) de atraso na série. É oportuno ressaltar que não há motivo para usar o teste de causalidade de Granger com toda a informação disponível, isto é, usando as variáveis na mesma unidade de tempo (Granger, 1969;1988).

Apesar disso, o teste possui três problemas principais: 1) pode levar a uma estimação enviesada ou com alta variância, o que provocará resultados espúrios; 2) mesmo que estimado corretamente, a existência de causalidade precisa de um componente de comportamento do sistema para que seja passível de interpretação; por último, 3) o teste de causalidade de Granger (1969) ignora componentes críticos de um sistema dinâmico (Agung, 2009). Logo, não é recomendável realizar o teste se apoiando somente em modelos dinâmicos, como nos casos dos modelos *Dynamic Stochastic General Equilibrium* (DSGE). Vale ressaltar que o teste de causalidade de Granger (1969) compreende a questão do número de defasagens utilizadas e, por definição, o teste sempre inicia-se com uma defasagem, mas isso pode ser alterado. Mais especificamente, o teste permite que as defasagens não sejam iguais para as variáveis. Porém, no caso deste artigo, optou-se por estimar o mesmo número de defasagens para ambas as

variáveis. Como opção, para a seleção do número ótimo de defasagens, também pode ser critério de informação de Akaike. De acordo com Kilian e Lutkepohl (2017), o critério de informação de Akaike não escolhe uma defasagem menor que a defasagem ótima. Embora o teste em algumas vezes selecione um valor maior de defasagem, essa escolha é assintoticamente negligenciável. No caso da presente pesquisa, o uso de um modelo de vetores autorregressivos, ou mais conhecido como VAR, foi a escolha operacional para definir o número ótimo de defasagens. Por intermédio do critério de seleção de defasagem do modelo VAR, também foi possível definir o número ótimo de defasagem para cada causalidade de Granger estimada neste trabalho. Como o objetivo principal deste trabalho é examinar a causalidade de Granger, o modelo VAR mencionado não será apresentado.

3.2. Base de Dados

Os dados utilizados nesta pesquisa foram provenientes da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). Ademais, com base no levantamento de preços de combustíveis, foram coletados os preços mensais à varejo para gasolina e etanol, entre os meses de julho de 2001 até dezembro de 2023, sendo o período disponível para análise no banco de dados da ANP, considerando os 26 estados brasileiros⁴. Como o artigo analisa um contexto de séries temporais e os preços encontram-se em moeda corrente nacional, nenhuma das 52 séries temporais de preços serão normalizadas em relação a um ano específico, não havendo necessidade de deflacionamento das séries de preços (Merrit e Barragán-Ocaña, 2023; Morettin e Toloi, 2006; Reichert e Souza, 2020). Vale ressaltar que, para o mês de setembro de 2020, em virtude da pandemia da COVID-19, não houve coleta de dados, com isso fez uso de uma interpolação média, considerando os meses de agosto e outubro do mesmo ano para a análise da observação de setembro de 2020 (ANP, 2024).

A pesquisa baseia-se no trabalho de Merrit e Barragán-Ocaña (2023) em que utilizaram o preço do etanol e da gasolina como *proxies* a fim de verificar se há uma relação de causalidade entre ambos os preços. Como resultado, observou-se que o etanol pode ser um substituto para gasolina nos EUA, com base nos preços. No Brasil, Fernandes e Braga (2012) usaram também os preços de gasolina e etanol, considerando o contexto de regiões brasileiras, a fim de verificar qual a delimitação de mercado para ambos os combustíveis. O resultado verificado pelos autores foi que gasolina e etanol competem entre si nos mercados regionais brasileiros, e que segundo a Causalidade de Granger a relação é unidirecional com gasolina afetando o preço do etanol, válido em todas as regiões do Brasil. Além disso, Sampaio e Melo (2014) usaram os preços de gasolina e etanol no intuito de investigar o efeito do preço da gasolina sobre o mercado do etanol no Brasil. A conclusão que os autores chegaram foi que um aumento no preço da gasolina provoca um aumento na demanda de etanol hidratado no Brasil. Em resumo, o presente artigo diferencia-se dos trabalhos supracitados em virtude de apresentar um panorama estadual de como os preços de gasolina e etanol se afetam entre si. Tal efeito pode ser influenciado se o estado é um grande produtor de etanol ou não.

Além disso, tal investigação em caráter estadual, busca identificar as possíveis melhores regiões onde o etanol pode ser produzido. Visto que, mesmo que um estado apenas uma relação unidirecional gasolina/ etanol, caso o estado apresente condições para o plantio de cana de açúcar ou possua plantações (estados da região Nordeste do Brasil, exemplo) há uma possibilidade do estado ser competitivo na produção de etanol, podendo assim ter uma relação bidirecional (onde as flutuações no preço do etanol também afetem a gasolina). Essa

⁴ O estado do Amapá teve observações faltantes no final do 2020, impossibilitando a estimação de seus dados pela causalidade de Granger.

predisposição ao cultivo de cana de açúcar pode fazer o estado se tornar um fomentador de energia verde através de um biocombustível (etanol), no caso umaecoinovação.

Dado que a ecoinovação visa produzir um novo bem/serviços que contribua para a redução dos impactos ambientais (RENNINGS, 2000), o combustível verde produzido no estado, também será ecoeficiente, produzindo mais etanol com o uso de menos recursos e gerando menos poluição (o uso do bagaço da cana como biomassa no próprio processo de destilação do etanol) (Levidow *et al.* 2016; LACKA e BRZEZICKI, 2022). Nesse caso, a ecoeficiência do etanol gerado promove o uso do bagaço como biomassa. O bagaço da cana pode ser usado como etanol de segunda geração, que é tido como uma evolução em termos de ecoinovação e ecoeficiência, amplamente discutido como o futuro da indústria sucroalcooleira (KARTHIK *et al.*, 2022; HOANG *et al.*, 2022). Ademais, o bagaço da cana também gera uma série de subprodutos, como: o biocarvão, papel, bio-óleo, fibras vegetais para diversos fins (KARP *et al.* 2021; VANDENBERGHE *et al.* 2022).

Dessa maneira, o etanol de segunda geração, oriundo do bagaço da cana de açúcar e vinhaça, pode ser um fator de aumento da ecoeficiência na produção de etanol brasileira. Dado o grande potencial de produção de etanol em diversas partes do país (Nordeste e Centro-Oeste do país), o melhor aproveitamento dos resíduos da cana para gerar etanol pode compensar o período de quase um ano necessário para que a produção de etanol impacte no preço da gasolina. O etanol de segunda geração pode ser obtido também através de resíduos de pecuária e de alimentos (HOANG *et al.*, 2022). Sendo assim, estados onde a cana de açúcar não é produzida (Santa Catarina, exemplo), o etanol de segunda geração pode ser uma solução para a produção de biocombustíveis, uma vez que Santa Catarina possui o maior rebanho suíno e a segunda maior criação de perus do Brasil (CENSO AGROPECUARIO, 2017).

Além do etanol de segunda geração, deve-se considerar o papel da indústria automobilística do Brasil, através do impacto positivo dos motores *flex* no país. Gee *et al.* (2011) considera que os motores *flex* presentes no Brasil foram o principal pináculo de sustentação para a ampla adoção do etanol como combustível no país. Apesar do avanço, há um espaço para um maior desenvolvimento do setor automobilístico atrelado ao etanol. Kumar *et al.* (2023) indica que a mistura de etanol e diesel pode melhorar a eficiência do motor, além de reduzir a emissão de hidrocarbonetos e monóxido de carbono. Para corroborar esses resultados, os autores apresentam uma robusta revisão de literatura com resultados similares. Assim, um próximo passo seria a mistura de uma porcentagem de etanol no diesel a fim de mitigar as emissões de gases estufa no Brasil.

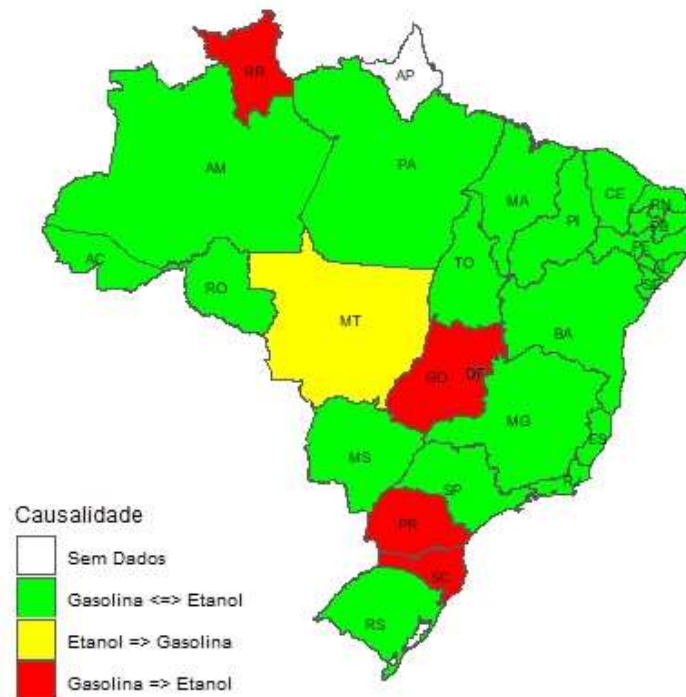
4. Resultados para os estados brasileiros

Em primeiro lugar, foi possível identificar que todas as séries de combustíveis são não estacionárias. Desta forma, as 52 séries possuem raiz unitária, com base nos testes de Dick Fuller Aumentado (1981) e Phillips Perron (1988). Como um dos requisitos principais do teste de causalidade de Granger consiste na estacionariedade das séries, será necessário a diferenciação das séries para a realização do teste de Granger. Com base na Figura 1, observa-se os estados brasileiros que apresentaram relação bidirecional para etanol e gasolina (\leftrightarrow), unidirecional, tanto o etanol \rightarrow quanto a gasolina e vice-versa, representados pela legenda Causalidade.

A partir dos resultados da Figura 1, observa-se que, entre os 26 estados analisados, em geral, 20 estados indicaram que tanto o etanol quanto a gasolina possuem causalidade entre si. Logo, os resultados destacam uma relação bidirecional, isto é, um combustível afeta o preço do outro e vice-versa. Enquanto os 6 estados restantes (Mato Grosso, Goiás, Distrito Federal, Santa Catarina, Paraná e Roraima), apresentaram apenas uma relação unidirecional de causalidade entre ambos os combustíveis. Ademais, observou-se que a defasagem (ou seja, o atraso

considerado para verificar se há alguma causalidade entre os preços) foi notável. Desse modo, os resultados indicam que, em média, leva-se cerca de 10 meses para que ambos os combustíveis possam ter alguma relação entre ambos, seja bidirecional ou unidirecional. Com base neste resultado, é possível afirmar que existe uma relação de dependência entre os preços dos combustíveis, embora a defasagem seja menor que um ano.

Figura 1- Relações de Causalidade para os estados Brasileiros em relação a gasolina e etanol



Fonte: Elaborado pelos autores. As defasagens para cada estado foram as seguintes: São Paulo (SP) 12 defasagens, Rio de Janeiro (RJ) 9 defasagens, Minas Gerais (MG) 9 defasagens, Espírito Santo (ES) 11 defasagens, Paraná (PR) 9 defasagens, Santa Catarina (SC) 8 defasagens, Rio Grande do Sul (RS) 11 defasagens, Mato Grosso (MT) 12 defasagens, Mato Grosso do Sul (MS) 9 defasagens, Goiás (GO) 8 defasagens, Distrito Federal (DF) 9 defasagens, Amazonas (AM) 8 defasagens, Pará (PA) 11 defasagens, Roraima (RR) 3 defasagens, Rondônia (RO) 10 defasagens, Acre (AC) 12 defasagens, Tocantins (TO) 8 defasagens, Paraíba (PB) 12 defasagens, Bahia (BA) 9 defasagens, Maranhão (MA) 11 defasagens, Piauí (PI) 12 defasagens, Pernambuco (PE) 11 defasagens, Alagoas (AL) 11 defasagens, Sergipe (SE) 12 defasagens, Rio Grande do Norte (RN) 12 defasagens e Ceará (CE) 12 defasagens. As relações de causalidade consideraram um nível de pelo menos 10% de significância.

Entretanto, apesar da média das defasagens ser de 10 meses, a literatura indica que a defasagem é alta. Fernandes e Braga (2012) analisaram a relação etanol/gasolina por região brasileira, onde a média de defasagens foi igual a 2 meses para que os combustíveis tenham uma relação causal de preços. Merrit e Barragán-Ocaña (2023) encontraram uma defasagem de 4 meses no caso dos Estados Unidos com base na relação causal entre o etano e a gasolina. Dessa maneira, mesmo que haja um choque no preço de algum dos combustíveis (etanol ou gasolina) demorará 10 meses para ter algum efeito, nos estados brasileiros. Nesse sentido, mesmo que um estado inicie a produção de etanol visando impactar no preço da gasolina demorará quase um ano para que o etanol tenha algum efeito sobre o preço da gasolina.

Vale ressaltar que o tempo de resposta observado, do ponto de vista da ecoeficiência, é um fator negativo para a produção sucroalcooleira no estado. Com base na definição de ecoeficiência apresentada anteriormente por Huppés e Ishikawa (2009), Levidow et al. (2016)

e Lacka e Brzezicki (2022), um produto/bem para ser ecoeficiente precisa reduzir o impacto ecológico que ele gera sobre os recursos naturais. Sendo assim, o resultado do tempo de resposta de 10 meses impactará em um uso extensivo de recursos ambientais para que, no final do processo produtivo, obtenha-se o etanol e seus derivados. Dessa maneira, a resposta de quase 1 ano entre a dependência do etanol/gasolina, além de provocar potenciais efeitos sobre o meio ambiente, pode sofrer pressões mercadológicas, assim como nos preços (KAMMERER, 2009).

É oportuno ressaltar que entre as defasagens empregadas, o estado de Roraima possui apenas uma defasagem de 3 meses. Entre os resultados, Roraima destaca-se pelo valor inferior de menor defasagem em relação aos outros estados, que foi em média de 8 meses. O resultado supracitado pode ter sido afetado pela fronteira com a Venezuela, grande produtor de petróleo e gasolina. Rodrigues (2006) pontua que há muito trânsito de mercadorias, contrabando de combustível ilegal e outras atividades comerciais na fronteira Venezuela-Roraima, que poderia favorecer a menor defasagem temporal. Ademais, o estado de Roraima é parcamente povoado com poucos centros urbanos e bastante isolado do resto do Brasil, assim a população possui fácil acesso para a Venezuela (IBGE Cidades, 2024). Tal fato, resulta em um teste de causalidade de Granger com apenas uma relação unidirecional, em que a gasolina afeta o etanol. Como a defasagem observada seria apenas de 3 meses, um choque no preço da gasolina precisa de 3 meses para afetar o preço do etanol.

Considerando os 6 estados com relação unidirecional (Mato Grosso, Goiás, Distrito Federal, Santa Catarina, Paraná e Roraima), o estado de Mato Grosso apresentou um resultado distinto entre os demais em que o preço do etanol afeta o preço da gasolina. Nesse caso, o estado não possui refinarias de combustível, além de ter um acesso por vias rodoviárias deficitárias, nas quais dificultam a chegada de combustível (SINFRA, 2023). Ademais, o estado é um grande produtor de cana de açúcar e de etanol, obtendo um preço inferior ao restante do País (IBGE, 2017). No estado de Goiás e na capital Distrito Federal, apenas a gasolina impacta no preço do etanol, consistindo em uma relação unidirecional. No caso do Distrito Federal, por representar o menor território da amostra, a capital recebe todos os seus combustíveis por outros estados. Em relação a Goiás, é interessante destacar que o estado é um grande produtor de cana de açúcar, com 41 usinas de produção de açúcar e etanol além de uma produção de 70 milhões de toneladas (NovaCana, 2024). Além disso, os valores de ICMS (Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços) sobre os combustíveis gasolina e etanol, causam alterações nos preços que são relativamente próximos, sendo 25% para o etanol e 30% para gasolina (Fecombustíveis, 2022). Como resultado, o estado possui um grande polo petroquímico na cidade de Senador Canedo, apresentando uma indústria petroquímica forte (IBGE Cidades, 2024; Conab, 2024). Destarte, o estado de Goiás não é um caso isolado no país. O estado do Paraná apresenta a mesma relação unidirecional em favor da gasolina. O Paraná produz grande quantidade de cana de açúcar, aproximadamente 30 milhões de toneladas (2024). Além da proximidade com o estado São Paulo (principal eixo econômico do Brasil) que também é um grande produtor de cana de açúcar e etanol. Vale ressaltar que o Paraná tem 29 usinas de açúcar e etanol, e possui uma questão tributária favorável, sendo o ICMS do etanol 18% e gasolina 29% (Fecombustíveis, 2022). O estado também refina petróleo e possui um setor petroquímico forte, o que justifica o resultado do teste de causalidade pois a gasolina consegue ter um efeito causal sobre o etanol. Em contrapartida, o estado de Santa Catarina não possui plantação de cana de açúcar, o que ajuda a explicar a relação unidirecional em favor da gasolina. Quanto a questão fiscal catarinense, observa-se que ela é igual para ambos os combustíveis. Todavia, em Santa Catarina possui uma forte indústria petroquímica, principalmente na região leste do estado, onde há refinarias de petróleo para diversos fins. Destaca-se que o estado de Santa Catarina ainda utiliza outras fontes de energia não renovável, como o carvão mineral, proveniente da cidade de Criciúma, impactando negativamente o meio ambiente (Fecombustíveis, 2022; IBGE Cidades, 2024; Conab, 2024).

Para os demais 20 estados que obtiveram relação causal, é importante salientar que nove estados se concentram na região Nordeste. A região sob análise destaca-se pelas vantagens históricas do cultivo de cana de açúcar, tendo seu auge no chamado ciclo da cana de açúcar entre os séculos XVI até o XVIII (Carvalho *et al.* 2013). Ademais, todos os estados nordestinos possuem usinas de etanol e açúcar provenientes de cana de açúcar, totalizando 74 usinas apenas na região Nordeste (NovaCana, 2024). Destaca-se o estado de Alagoas com o maior número de usinas (26 usinas) e Pernambuco com o segundo maior número (17 usinas) (Novacana, 2024). Com base nos resultados, observa-se que os estados do Nordeste têm um amplo potencial de gerar combustível renovável, tal qual o etanol. A grande vantagem dos estados do Nordeste, além de sua capacidade na produção do combustível verde, concentra-se na própria solução frente às pressões regulatórias ambientais, pela produção de energia mais limpas Del Río Gonzalez (2005). Em geral, a produção de etanol no Brasil com origem na cana de açúcar é comprovadamente sustentável. Dessa maneira, incentivar a produção de etanol no Nordeste brasileiro, contribuirá não somente com o desenvolvimento da região, como também impulsionar e atrair firmas ecoinovadoras e incentivar as demais regiões do Brasil em prol da produção do combustível verde (Chum *et al.*, 2013).

Quanto aos cinco estados do Norte do Brasil (Amazonas, Pará, Rondônia, Acre e Tocantins), os resultados do teste de Causalidade de Granger, apresentam uma relação bidirecional onde tanto a gasolina e tanto o etanol se afetam na formação de seu preço a um nível de significância de 5% (Tabela 1). Três estados se destacam pela produção de etanol, como: Amazonas, Pará e Tocantins, sendo o Tocantins o maior produtor com 180 mil metros cúbicos de etanol produzidos em 2013. Entretanto, é interessante notar que em Rondônia e no Acre, mesmo não produzindo etanol e sem plantações de cana de açúcar, o etanol consegue influenciar no preço da gasolina nestes estados. Tal resultado pode ser influenciado pelas boas conexões rodoviárias existentes com o estado de Mato Grosso, que é um importante produtor de etanol permitindo o escoamento do combustível nesses estados. Além disso, Rondônia e Acre têm conexões portuárias fluviais, como o Porto fluvial de Porto Velho, em Rondônia. Deste modo, a infraestrutura de transporte fluvial permite a chegada de etanol de outros estados e de outros combustíveis, como o óleo diesel e a gasolina (Novabio, 2023; Ministério dos Transportes, 2024), e justifica a relação bidirecional de causalidade pelo teste de Granger, existente tanto pelo etanol quanto pela gasolina.

Os últimos seis estados a serem analisados são: Rio de Janeiro, São Paulo, Minas Gerais, Espírito Santo, Mato Grosso do Sul e Rio Grande do Sul. Entre os 4 estados da região Sudeste do país (São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais, Espírito Santo) observou-se uma relação bidirecional de causalidade do preço do etanol e da gasolina. Em todos os 4 estados existem usinas de produção de açúcar e etanol, sendo que São Paulo e Minas Gerais são detentoras de uma ampla área de plantação de cana de açúcar. Mais especificamente, São Paulo é o maior produtor de cana de açúcar e etanol do país (Novacana, 2024; Conab, 2024). No caso do estado do Rio de Janeiro, que é um grande produtor de petróleo no país, os resultados seriam afetados pela proximidade com o estado de São Paulo e pelas boas condições de infraestrutura rodoviárias e alta demanda (elevada densidade populacional) em ambos os estados. Além disso, o estado do Rio de Janeiro tem um grande licenciamento de carros novos, sendo muitos deles com motores *flex* (Anfavea, 2023). O Espírito Santo possui 6 usinas de etanol, de acordo com Nova Cana (2024), porém, em virtude de ser um estado do sudeste brasileiro, as conexões rodoviárias ajudam no transporte de combustíveis facilitando o amplo acesso tanto de gasolina quanto etanol, proveniente de outros estados. Sob o aspecto do estado do Rio Grande do Sul observa-se que além dele não possuir plantação de cana de açúcar, ele é dependente do etanol vindo de outros estados, o que também vale para a gasolina. Entretanto, o estado possui uma questão fiscal rígida sobre os combustíveis, com uma cobrança de 25% de ICMS sobre a gasolina e etanol, no ano de 2022 (Fecombustíveis, 2022). Nesse caso, ainda que o combustível

seja originado de outros estados, a questão fiscal eleva os preços dos combustíveis, o que parece desencadear a relação bidirecional de causalidade nos preços de ambos, visto que a tributação encarece o combustível. Por fim, para o Mato Grosso do Sul, o estado produz elevada quantidade de cana de açúcar com muitas usinas de etanol. Logo, o preço do etanol tem uma competitividade maior em relação a gasolina que é proveniente de outros estados como São Paulo, em função da proximidade e da troca comercial de combustíveis entre os estados.

5. Discussão

5.1 – Contribuição a teoria

Através do estudo empírico entre a relação de mercado entre o etanol e a gasolina, o trabalho enriquece a discussão teórica ao apresentar o etanol comoecoinovação e a sua relação com a ecoeficiência. Com base nos resultados encontrados neste trabalho, observa-se que o etanol é competitivo com a gasolina, sobretudo em estados onde há existência da produção de etanol por meio da cana de açúcar. Entretanto em estados sem plantação de cana de açúcar, e considerando que o tempo médio de resposta para o etanol afetar o preço da gasolina, notou-se que a produção de etanol terá uma queda na sua ecoeficiência, sendo tal fator um entrave para o etanol competir com a gasolina nesses estados. Assim, há uma necessidade governamental de explorar políticas públicas que satisfaçam as condições desses estados para que o etanol seja competitivo. Ademais, este trabalho explora a dinâmica estadual de preços entre o etanol e a gasolina no Brasil, fornecendo uma nova perspectiva sobre a discussão, sobretudo na dualidade combustível verde/combustível fóssil.

5.2- Contribuição para a prática

O trabalho explora a relação entre os preços do etanol e gasolina e como um afeta o outro em termos estaduais no Brasil, visando identificar em qual o estado o etanol consegue ser competitivo frente a gasolina. O trabalho apresenta um panorama em termos estaduais mostrando quais estados o etanol impacta no preço da gasolina, com objetivo de mostrar que é um combustível verde substituto para a gasolina. Além disso, a análise contempla os estados onde há a gasolina impacta no preço do etanol, porém não ocorre o contrário. Ao identificar estado por estado e sua relação etanol/gasolina, o trabalho fornece um caminho pensante para que políticas públicas possam ser implementadas visando tornar o etanol um substituto para a gasolina em todo território nacional. Podendo assim, ter em todo território nacional um combustível para veículos automotores que emita menos poluentes e contribua para amenizar o impacto das mudanças climáticas no mundo.

5.3 – Limitações

Este trabalho possui algumas limitações. A primeira limitação é a ausência do estado do Amapá, em virtude de dados faltantes no período de análise de 2001 a 2023. A segunda limitação, o artigo investiga apenas a relação de causalidade entre os preços etanol e gasolina, através do Teste de Causalidade de Granger. A terceira e última limitação, o artigo não abordou cada uma das mudanças nos programas de incentivo para a produção de etanol no Brasil, uma vez que estava fora do escopo da pesquisa.

5.4 – Futuras pesquisas

As pesquisas futuras podem explorar a real dimensão do impacto do etanol no preço da gasolina. Seria benéfico utilizar outras variáveis ao nível estadual e incluir as políticas de incentivos ao etanol presentes em cada estado a fim de identificar em quais estados o etanol é realmente competitivo frente a gasolina. Uma possível abordagem metodológica seria a inferência causal que poderia dar um direcionamento correto para futuras políticas públicas de produção e uso do etanol no Brasil como um combustível verde. Além disso, seria importante explorar o papel do milho na produção de etanol no Brasil, inclusive o etanol de segunda e terceira gerações e ver qual ecoeficientes esses outros insumos podem ser na produção de etanol no país.

6. Considerações Finais e recomendações de políticas

Utilizando os dados disponíveis sobre preços mensais de etanol e gasolina presentes na ANP, este trabalho analisa a relação de preços etanol/gasolina e como ambos se afetam. Os resultados mostraram que o etanol consegue afetar o preço da gasolina na maioria dos estados brasileiros (20 estados), tornando-se assim uma opção competitiva de combustível verde frente a gasolina. Essa opção de utilizar o etanol como substituto da gasolina contribui significativamente para a redução na emissão de poluentes provenientes do uso desses combustíveis em motores à combustão. Mostrando assim que o etanol é um aliado no combate as mudanças climáticas presentes no mundo.

Este trabalho propõe duas políticas públicas que podem ajudar o etanol a ser competitivo em todos os estados brasileiros. Em primeiro lugar, nos estados onde não há plantação de cana de açúcar (insumo base do etanol) é necessário investir em tecnologias capazes de produzir o etanol de segunda e terceira geração. Tal tecnologia expandiria o conceito do etanol comoecoinovação, além de apresentar um ganho na ecoeficiência uma vez que o etanol de segunda geração pode ser produzido a partir de resíduos da criação de animais, vinhaças e bagaço da cana. Tal solução é ideal para estados como Santa Catarina (grande produtor de animais: suínos e aves). Em estados da região nordeste, o etanol de segunda geração pode ser útil a fim de melhorar a ecoeficiência da produção, pois produziria tanto etanol diretamente da garapa quanto do bagaço.

A segunda política seria uma aproximação da indústria automotiva brasileira por parte do governo a fim de investir em novas misturas de diesel, combinando etanol e diesel. O Brasil já possui um teor de etanol na gasolina e poderia ter um teor de etanol no diesel. Tal mistura ajudaria a reduzir as emissões de poluentes provenientes do diesel. Dessa maneira, a indústria automobilística nacional estaria contribuindo para reduzir a emissão de gases estufa no país, além de ter mais um combustível para adicionar ao diesel. Isso tornará o etanol mais relevante no cenário nacional.

Referencias

- ABEBE, M. **History of Ethanol**. Journalism and Mass Communications, College of media, University of Nebraska, 2008.
- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Série histórica do levantamento de preços**, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/precos-e-defesa-da-concorrencia/precos/precos-revenda-e-de-distribuicao-combustiveis/serie-historica-do-levantamento-de-precos>. Acessado em: 21/01/2024.
- AGUNG, I. **Time series data analysis using EViews**. John Wiley & Sons, Singapura, 2009.
- ALMEIDA, V.; LONGHI, G.; SANTOS, L. **Etanol: 40 anos de evolução do mercado de combustíveis e automóveis no Brasil**. Teoria e Evidência Econômica - Ano 23, N. 49, p. 462-484, jul./dez. 2017.
- AMATAYAKUL, W.; BERNDES, G. **Fuel ethanol program in Thailand: energy, agricultural, and environmental trade-offs and prospects for CO2 abatement**. Energy for Sustainable Development, V.11, N. 3, 2007.
- ANDRADE, E.; CARVALHO, S.; SOUZA, L. **PROGRAMA DO PROÁLCOOL E O ETANOL NO BRASIL**. ENGEVISTA, V. 11, N. 2, p. 127-136, 2009.
- ANSUATEGI, A.; ESCAPA, M. **Economic growth and greenhouse gas emissions**. Ecological Economics, V.40, P. 23-37, 2002.
- ARSAWAN, I.W.E.; KOVAL, V.; RAJIANI, I.; RUSTIARINI, N.W.; SUPARTHA, W.G.; SURYANTINI, N.P.S. **Leveraging knowledge sharing and innovation culture into SMEs sustainable competitive advantage**. Int. J. Prod. Perform. Manag., V. 71, N. 2., p. 405-428, 2022.
- ASSOCIAÇÃO DE PRODUTORES DE AÇÚCAR, ETANOL E BIOENERGIA. **Estatísticas da produção**, 2023. Disponível em: <https://novabio.org/estatisticas/>. Acessado em: 26/01/2024.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES. **Anuário da indústria automobilística Brasileira**, 2023. Disponível em: <https://anfavea.com.br/site/anuarios/>. Acessado em 24/01/2024.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES. **O que foi o Proálcool?**, 2024. Disponível em: <https://anfavea.com.br/site/o-que-foi-o-proalcool/>. Acessado em 20/01/2024.
- BEARD, S.; HOLT, L.; TZACHOR, A.; KEMP, L. **Assessing climate change's contribution to global catastrophic risk**. Futures V.127, 2021.
- BOSSLE, M. B.; BARCELLOS, M. D.; VIEIRA, L. M.; SAUVÉE, L. **The drivers for adoption of eco-innovation**. Journal of Cleaner Production, V. 113, p. 861-872, 2016.
- BROHMANN, B., HEINZLE, S., RENNINGS, K., SCHLEICH, J., WÜSTENHAGEN, R. **What's driving sustainable energy consumption? A survey of the empirical literature**. ZEW Discussion Paper 09–013. Centre for European Economic Research (ZEW), 2009.
- CANON DE FRANCA, J., GARCES-AYERBE, C., RAMIREZ-ALESON, M. **Are more innovative firms less vulnerable to new environmental regulation?**. Environmental and Resource Economics, V.36, p.295–311, 2007.
- CARVALHO, L.; BUENO, R.; CARVALHO, M.; FAVORETO, A.; GODOY, A. **Cana-de-açúcar e álcool combustível: histórico, sustentabilidade e segurança energética**. ENCICLOPÉDIA BIOSFERA, Centro Científico Conhecer, V.9, N.16, p. 530, 2013.
- CHUM, H.; WARNER, E.; SEABRA, J.; MACEDO, I. **A comparison of commercial ethanol production systems from Brazilian sugarcane and US corn**. Biofuels, Bioproducts & Biorefining, V.8, p.205- 223, 2014.

CLEFF, T., RENNINGS, K. **Determinants of environmental product and process innovation— evidence from the Mannheim innovation panel and a follow-up telephone survey.** *European Environment*, V.9, N.5, p.191–201, 1999.

COLOMBO, L. A.; PANSERA, M.; OWEN, R. **The discourse of eco-innovation in the European Union: An analysis of the Eco-Innovation Action Plan and Horizon 2020.** *Journal of Cleaner Production*, V. 214, p. 653-665, 2019.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira**, 2024. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras>. Acessado em: 25/01/2024.

CRUZ, M.; GUERREIRO, E.; RAIHER, A. **A Evolução da Produção de Etanol no Brasil, no Período de 1975 a 2009.** *Revista Econômica do Nordeste*, V. 43, N. 4, 2012.

DEL RIO GONZALEZ, P. **Analysing the factors influencing clean technology adoption: a study of the Spanish pulp and paper industry.** *Business Strategy and the Environment*, V.14, p. 20–37, 2005.

DIAS DE OLIVEIRA, M.; VAUGHAN, B.; RYKIEL JR, E. **Ethanol as Fuel: Energy, Carbon Dioxide Balances, and Ecological Footprint.** *BioScience*, V.55, N.7, 2005.

DICKEY, D. A.; FULLER, W. A. **Likelihood ratio statistics for autoregressive time series with a unit root.** *Econometrica*, V.49, N. 4, p.1057–1072,1981.

EDLER, J., DÖHRN, R., ROTHGANG, M. **Internationalisierung industrieller Forschung und grenzüberschreitendes Wissensmanagement.** PhysicaVerlag, 2003.

FARRAUTO, R.; DEEBA, M.; ALERASOOL, S. **Gasoline automobile catalysis and its historical journey to cleaner air.** *Nature Catalysis*, V. 2, p. 603-613, 2019.

FEDERAÇÃO NACIONAL DO COMÉRCIO DE COMBUSTÍVEIS E DE LUBRIFICANTES. **Tributação**, 2022. Disponível em: [Tributação - Federação Nacional do Comércio de Combustíveis e de Lubrificantes \(fecombustiveis.org.br\)](https://tributacao.fecombustiveis.org.br). Acessado em: 25/01/2024.

FERNANDES, R.; BRAGA, M. **Delimitação de mercado relevante de gasolina comum e álcool hidratado nas regiões brasileiras: uma análise via testes econométricos.** *Revista de Economia e Administração*, V.11, N.3, p.364-385, 2012.

GEE, S.; McMEEKIN, A. **Eco-Innovation Systems and Problem Sequences: The Contrasting Cases of US and Brazilian Biofuels.** *Industry and Innovation*, V.18, N. 3, p. 301-315, 2011.

GRANGER, C.W.J. **Some recent development in a concept of causality.** *Jou Econmtres*, V. 39, N.1,p.199–211, 1988.

GRANGER, J. **Investigating causal relations by econometric models and cross-spectral methods.** *Econometrica*, V. 37, p. 424–438, 1969.

GREEN, K., MCMEEKIN, A., IRWIN, A. **Technological trajectories and R&D for environmental innovation in UK firms.** *Futures*, V.26, p.1047–1059, 1994.

GUARIEIRO, L.; TORRES, E.; ANDRADE, J. **Energia Verde.** *Ciência Hoje*, V. 48, N. 285, 2011.

HAINES, A.; SMITH, K.; ANDERSON, D.; EPSTEIN, P.; MCMICHAEL, A.; ROBERTS, I.; WILKINSON, P.; WOODCOCK, J.; WOODS, J. **Policies for accelerating access to clean energy, improving health, advancing development, and mitigating climate change.** *Lancet*, V. 370, p. 1264-1281, 2007.

HART, S.L. **A natural resource-based view of the firm.** *The Academy of Management Review*, V.20, N.4, p.986–1014, 1995.

HOANG, A. T.; PANDEY, A.; HUANG, Z.; NIZETIC, S.; LE, A. T.; NGUYEN, X. P. **Biofuels an option for agro-waste management.** In: HAKEEN, K.; BANDH, S.; MALLA, F.; MEHMOOD, M (org.). *Environmental sustainability of biofuels: Prospects and challenges.* Ed. Elsevier, Amsterdam, 2022.

HORBACH, J.; RAMMER, C.; RENNINGS, K. **Determinants of eco-innovations by type of environmental impact — The role of regulatory push/pull, technology push and market pull.** *Ecological Economics*, V.78, p. 112-122, 2012.

HUPPES, G.; ISHIKAWA, M. **Eco-efficiency guiding micro-level actions towards sustainability: Ten basic steps for analysis.** *Ecological Economics*, V. 68, p. 1687–1700, 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA CIDADES. **Panorama de Roraima**, 2024. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rr/panorama>. Acessado em: 28/01/2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Agropecuário de 2017**. Disponível em: <https://censoagro2017.ibge.gov.br/>. Acessado em: 25/01/2024.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário de 2017**. Disponível em: https://censoagro2017.ibge.gov.br/templates/censo_agro/resultadosagro/pecuaria.html?localidade=0&tema=75677. Acessado em: 18/07/2024.

IPEADATA. **Commodities – Petroleo - Cotação internacional**, 2024. Disponível em: Ipeadata. Acessado em 26/01/2024.

IYKE, B. N. **Climate change, energy security risk, and clean energy investment.** *Energy Economics*, V. 129, 2024.

JOHNSON, F.; SILVEIRA, S. **Pioneer countries in the transition to alternative transport fuels: Comparison of ethanol programmes and policies in Brazil, Malawi and Sweden.** *Environmental Innovation and Societal Transitions*, V.11, p. 1-24, 2013.

KAMMERER, D. **The effects of customer benefit and regulation on environmental product innovation. Empirical evidence from appliance manufacturers in Germany.** *Ecological Economics*. V.68, p.2285–2295, 2009.

KARP, S.; MEDINA, J.; LETTI, L.; WOICIECHOWSKI, A.; CARVALHO, J.; SCHMITT, C.; PENHA, R.; KUMLENH, G.; SOCCOL, C. **Bioeconomy and biofuels: the case of sugarcane ethanol in Brazil.** *Biofuels, Bioprod. Bioref.*, V.15, p. 899–912, 2021.

KARTHIK, V.; PERIYASAMY, S.; VARALAKSHMI, V.; PAULINE, J. M. N.; SUGANYA, R. **Biofuel: A prime eco-innovation for sustainability.** In: HAKEEN, K.; BANDH, S.; MALLA, F.; MEHMOOD, M (org.). *Environmental sustainability of biofuels: Prospects and challenges*. Ed. Elsevier, Amsterdam, 2022.

KHANNA, M., DELTAS, G., HARRINGTON, D.R. **Adoption of pollution prevention techniques: the role of management systems and regulatory pressures.** *Environmental and Resource Economics*, V. 44, p.85–106, 2009.

KILIAN, L.; LUTKEPOHL, H. **Themes in modern econometrics: Structural vector autoregressive analysis.** Cambridge University press, Estados Unidos, 2017.

KOELLER, P.; MIRANDA, P.; LUSTOSA, M.; PODCAMENI, M. **EcoInovação: Revisitando o conceito.** Texto para discussão: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2020.

KOZINA, A.; RADICA, G.; NIZETIC, S. **Analysis of methods towards reduction of harmful pollutants from diesel engines.** *Journal of Cleaner Production*, V. 262, 2020.

KUMAR, M.; KUMAR, C.; DAS, U. K.; SARASWAT, P.; RANA, K. B. **A Bibliometric Review of Alcohol–Diesel Blend in CI Engines.** In: SHUKLA, P. C.; BELGIORNO, G.; DI BLASIO, G.; AGARWAL, A. K. (org.). *Renewable fuels for sustainable mobility*. Ed. Springer, Singapura, 2023.

LACKA, I.; BRZEZICKI, L. **Joint analysis of national eco-efficiency, eco-innovation and sds in europe: dea approach.** *Technological and Economic Development of Economy*, V. 28, p. 1739-1767, 2022.

LEITE, R.; LEAL, M. **O biocombustível do Brasil.** *Novos Estudos*, V.78, 2007.

LEVIDOW, L.; LINDGAARD-JØRGENSEN, P.; NILSSON, A.; SKENHALL, S. A.; ASSIMACOPOULOS, D. **Process eco-innovation: assessing meso-level eco-efficiency in industrial water-service systems**. *Journal of Cleaner Production*, V. 110, p. 54-65, 2016.

LIRA, F. **Análise experimental do consumo de um veículo flex operando com diferentes misturas de gasolina/etanol em tráfego urbano**. Dissertação (Mestre em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-graduação em engenharia mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, p. 70. 2015.

MADY, Khalid et al. **Linking internal environmental capabilities to sustainable competitive advantage in manufacturing SMEs: The mediating role of eco-innovation**. *Journal of Cleaner Production*, V. 417, 2023.

MANOCHIO, C.; ANDRADE, B. R.; RODRIGUEZ, R.; MORAES, B. **Ethanol from biomass: A comparative overview**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, V. 80, p. 743–755, 2017.

MAVI, R. K.; SAEN, R. F.; GOH, M. **Joint analysis of eco-efficiency and eco-innovation with common weights in two-stage network DEA: A big data approach**. *Technological Forecasting & Social Change*, V.144, p. 553–562, 2019.

MELO, A.; SAMPAIO, Y. **Impactos dos preços da gasolina e do etanol sobre a demanda de etanol no Brasil**. *Revista de Economia Contemporânea*, V.18, N.1, p. 56-83, 2014.

MERRIT, H.; BARRANGÁN-OCANÑA, A. **The impact of market factors on the development of eco-friendly energy technologies: the case of bioethanol**. *Clean Technologies and Environmental Policy*, V.25, p.313-321, 2023.

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES. **Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes- hidrovía do rio madeira**, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/aquaviario/old/hidrovía-do-madeira>. Acessado em: 28/01/2024.

MORAES, M.; BACCHI, M. **Etanol: Do início às fases atuais de produção**. *Revista de Política Agrícola*, ano XXIII, N. 4, 2014.

MORETTIN, P.; TOLOI, C. **Análise de séries temporais**. Editora Edgar Blucher 2ª edição, São Paulo, 2006.

NIVEN, R. **Ethanol in gasoline: environmental impacts and sustainability review article**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, V.9, p.535-555, 2005.

NOVACANA. **Mapa das usinas de etanol e açúcar do Brasil**, 2024. Disponível em: https://www.novacana.com/usinas_brasil/mapa. Acessado em: 25/01/2024.

PAPADIMITRIOU, V. **Prospective Primary Teachers’ Understanding of Climate Change, Greenhouse Effect, and Ozone Layer Depletion**. *Journal of Science Education and Technology*, V.13, N.2, 2004.

PARISH, E.; KLINE, K.; DALE, V.; EFROYMSON, R.; McBRIDE, A.; JOHNSON, T.; HILLIARD, M.; BIELICKI, J. **Comparing Scales of Environmental Effects from Gasoline and Ethanol Production**. *Environmental Management*, V. 51, p.307–338, 2013.

PARK, H. S.; BEHERA, S. K. **Methodological aspects of applying eco-efficiency indicators to industrial symbiosis networks**. *Journal of Cleaner Production*, V. 64, p. 478-485, 2014.

PHILLIPS, P.C.B.; PERRON, P. **Testing for a unit root in time series regression**. *Biometrika*, V.75, N.2, p.335–346, 1988.

PORTER, M.E., VAN DER LINDE, C. **Toward a new conception of the environment competitiveness relationship**. *The Journal of Economic Perspectives*, V.9, N.4, p.97–118, 1995.

REHFELD, K., RENNINGS, K., ZIEGLER, A. **Determinants of environmental product innovations and the role of integrated product policy — an empirical analysis**. *Ecological Economics*, V.61, p.91–100, 2007.

REICHERT, B.; SOUZA A. M. **Previsão e interação dos preços da celulose brasileira nos mercados interno e externo.** *Ciência Florestal*, Santa Maria, V. 30, n. 2, p. 501-515, abr./jun. 2020.

RENNINGS, K. **Redefining innovation — eco-innovation research and the contribution from ecological economics.** *Ecological Economics*, V.32, p. 319-332, 2000.

RENNINGS, K., ZIEGLER, A., ANKELE, K., HOFFMANN, E. **The Influence of different characteristics of the EU environmental management and auditing scheme on technical environmental innovations and economic performance.** *Ecological Economics*, V.57, N.1, p.45–59, 2006.

RENNINGS, K., ZWICK, T. **The employment impact of cleaner production on the firm level — empirical evidence from a survey in five European countries.** *International Journal of Innovation Management (IJIM)*, Special Issue on “The Management of Innovation for Environmental Sustainability”, V.6, N.3, p.319–342, 2002.

RODRIGUES, F. Migração transfronteiriça na Venezuela. *Estudos avançados*, V.20, N.57, 2006.

SANCHEZ-PLANELLES, J.; SEGARRA-OÑA, M.; Peiro-Signes, A. **Identifying different sustainable practices to help companies to contribute to the sustainable development: holistic sustainability, sustainable business and operations models.** *Corp. Soc. Responsib. Environ. Manag.*, V.29, N. 4, p. 904-917, 2022.

SECRETARIA DE ESTADO DE INFRAESTRUTURA E LOGÍSTICA. **Mapas e concessão de rodovias no estado de Mato Grosso**, 2023. Disponível em: <https://www.sinfra.mt.gov.br/mapas-e-estradas-concessionadas>. Acessado em: 26/01/2024.

SEEG BRASIL- SISTEMA DE ESTIMATIVAS DE EMISSÕES E REMOÇÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA. **Emissões totais por estado**, 2024. Disponível em: SEEG - Sistema de Estimativa de Emissão de Gases. Acessado em 03/02/2024.

SHRIVASTAVA, Paul. **Environmental technologies and competitive advantage.** In: *Business Ethics and Strategy*, Volumes I and II. Routledge, p. 317-334, 2018.

SINDICATO DA INDUSTRIA DO AÇÚCAR NO ESTADO DE PERNAMBUCO. **Produtos**, 2023. Disponível em: <https://www.sindicucar.com.br/produtos/>. Acessado em 27/01/2024.

SOARES, L.; ALVES, B.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. **Mitigação das emissões de gases do efeito estufa pelo uso do etanol da cana de açúcar produzido no Brasil.** Embrapa Agrobiologia, 2009.

SOMANATHAN, E.; BLUFFSTONE, R. **Biogas: Clean Energy Access with Low-Cost Mitigation of Climate Change.** *Environmental and Resources Economics*, V.62, p. 265-277, 2015.

STATISTA. **Breakdown of global car sales in 2019 and 2030, by fuel technology**, 2019. Disponível em: <https://www.statista.com/statistics/827460/global-car-sales-by-fuel-technology/>. Acessado em: 24/01/2024.

THOMSEN, A. B., MEDINA, C., AHRING, B. K. **Biotechnology in ethanol production.** In H. Larsen, J. Kossmann, & L. Sønderberg Petersen (Eds.), *Risø energy report 2. New and emerging bioenergy technologies*, p. 40-44, 2003.

TULIO, B.; LIMA, L. **Percentual de etanol anidro na gasolina c: possíveis impactos no preço do etanol hidratado no estado de São Paulo.** *Revista de Economia e Agronegócio*, V.12, 2014.

TWIGG, M. **Roles of catalytic oxidation in control of vehicle exhaust emissions.** *Catalysis Today*, V. 117, P. 407-418, 2006.

VAN DEN BERGH, J.C.J.M. **Environmental regulation of households: an empirical review of economic and psychological factors.** *Ecological Economics*, V.66, p. 559–574, 2008.

VANDERBERGHE, L. P. S.; VALLADARES-DIESTRA, K. K.; BITTENCOURT, G. A.; TORRES, L.; VIERIA, S.; KARP, S.; SYDNEY, E.; CARVALHO, J.; SOCCOL, V.; SOCCOL, C. **Beyond sugar and ethanol: The future of sugarcane biorefineries in Brazil.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, V.167, 2022.

VIDAL, M. **Agroindústria – Etanol.** Caderno setorial ETENE, V.7, N. 237, 2022.

WAGNER, M. **Empirical influence of environmental management on innovation: evidence from Europe.** Ecological Economics V.66, N. 2–3, p.392–402, 2008.

WAGNER, M. **Erfolgsfaktoren für Nachhaltigkeitsinnovationen: qualitative und quantitative Befunde.** Zeitschrift für Umweltpolitik und Umweltrecht (ZfU), V. 2, N. 2009, p.179–198, 2009.

YORO, K.; DARAMOLA, M. **CO2 emission sources, greenhouse gases, and the global warming effect.** Advances in Carbon Capture, 2020.

ZAKIA, M.; PINTO, L. **Guia para aplicação da nova lei florestal em propriedades rurais.** Imaflora, 2013.